

GFZ

Helmholtz-Zentrum
POTS DAM

HELMHOLTZ-ZENTRUM POTSDAM

**DEUTSCHES
GEOFORSCHUNGSZENTRUM**

Carsten Neumann, Gabriele Weiß, Sibylle Itzerott,
Matthias Kühling, Jörg Fürstenow, Laura Luft,
Peter Nitschke

Entwicklung und Erprobung eines innovativen, natur- schutzfachlichen Monitoring- verfahrens auf der Basis von Fernerkundungsdaten am Beispiel der Döberitzer Heide, Brandenburg

Scientific Technical Report STR13/02

Imprint

HELMHOLTZ CENTRE POTSDAM
**GFZ GERMAN RESEARCH CENTRE
FOR GEOSCIENCES**

Telegrafenberg
D-14473 Potsdam

Printed in Potsdam, Germany
March 2013

ISSN 1610-0956

DOI: 10.2312/GFZ.b103-13024
URN: urn:nbn:de:kobv:b103-13024

This work is published in the GFZ series
Scientific Technical Report (STR)
and electronically available at GFZ website
www.gfz-potsdam.de > News > GFZ Publications

Carsten Neumann, Gabriele Weiß, Sibylle Itzerott,
Matthias Kühling, Jörg Fürstenow, Laura Luft,
Peter Nitschke

Entwicklung und Erprobung eines innovativen, natur- schutzfachlichen Monitoring- verfahrens auf der Basis von Fernerkundungsdaten am Beispiel der Döberitzer Heide, Brandenburg

Abschlussbericht

Scientific Technical Report STR13/02

Titel	Entwicklung und Erprobung eines innovativen, naturschutzfachlichen Monitoringverfahrens auf der Basis von Fernerkundungsdaten am Beispiel der Döberitzer Heide, Brandenburg		
Kurztitel	Monitoring in der Döberitzer Heide (Vegetation und Fernerkundung)		
Laufzeit	Projektphase 1	01.07.2008 bis 28.02.2010	20 Monate
	Projektphase 2	01.03.2010 bis 30.06.2011	16 Monate
	Verlängerung	01.07.2011 bis 30.09.2011	3 Monate
	Gesamtlaufzeit	01.07.2008 bis 30.09.2011	39 Monate
Förderung	Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)		
Förderbereich	Naturschutz		
Projektkennzeichen	26257 - 33/0		



Autoren: Carsten Neumann, Gabriele Weiß, Sibylle Itzerott, Matthias Kühling,
Jörg Fürstenow, Laura Luft, Peter Nitschke

Inhaltsverzeichnis ¹

Titelblatt	i
Projektkennblatt	ii
Inhaltsverzeichnis, Anlagen	iii
Zusammenfassung	iv
1. Anlass und Zielsetzung des Projektes	1
1.1 Anlass und verpflichtende Zielsetzung zum Projektbeginn	1
1.2 Wissenschaftliche Problemdefinition	3
2. Arbeitsschritte und angewandte Methoden	5
2.1 Arbeitsplanung	5
2.2 Vorgehensweise zum fernerkundungsbasierten Monitoring	6
2.3 Zusammenarbeit mit themennahen Projekten	7
3. Ergebnisse	9
3.1 Einleitung	9
<i>Fernerkundung für Monitoring</i>	
<i>Untersuchungsgebiet</i>	
3.2 Methodik des Monitorings von trockenen Offenlandstandorten mit Hyperspektralfernerkundung	28
3.2.1 Einführung in die ökologische Modellbildung	28
<i>Konzepte zur Betrachtung natürlicher Vegetationsstrukturen</i>	
<i>Die ökologische Gradientenanalyse als Mittel zur Abbildung des Vegetationskontinuums</i>	
3.2.2 Ablauf der Methodenentwicklung	31
3.2.3 Terrestrische Untersuchungen & Erhebungsdesign	32
<i>Auswahl von Dauerbeobachtungsflächen</i>	
<i>Vegetationsaufnahmen und Vegetationskartierungen</i>	
<i>Geländeaufnahmen spektraler Signaturen</i>	
3.2.4 Datenanalyse	40
<i>Auswertung der Vegetationsaufnahmen und Zuordnung zu Kartiereinheiten</i>	
<i>Darstellung der Vegetation als kontinuierlicher Artenraum mittels Ordination</i>	
<i>Der Entwurf von Interpretationsräumen</i>	
3.2.5 Spektrale Modellbildung	42
<i>Spektrale Differenzierung natürlicher Vegetationsstrukturen</i>	
<i>Analyse der hierarchischen spektralen Differenzierbarkeit von Vegetationsstrukturen</i>	
<i>Spektrale Vorhersage des Vegetationskontinuums</i>	
<i>Prozessierung hyperspektraler Bilddaten zur räumlichen Abbildung des Vegetationskontinuums</i>	
3.3 Ergebnisse: Monitoring des Vegetationskontinuums	57
3.3.1 Darstellung der Vegetation als kontinuierlicher Arten- bzw. Spektralraum	57
<i>Gesamtartenraum</i>	
<i>Artenraum der trockenen Offenlandstandorte</i>	

¹ Die Gliederung des Abschlussberichtes entspricht den Förderleitlinien der DBU, den „Verfahrensbestimmungen zu den Förderleitlinien der DBU“ (Kapitel XI, Abschnitt 2) sowie den „Hinweisen zur Gestaltung von Berichten für die Vorlage bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt“.

3.3.2	Räumliche Abbildung des Vegetationskontinuums unter Anwendung des spektralen Modells	62
3.3.3	Methodik der Quantifizierung und Aggregierung im Ordinationsraum zur Ableitung diskreter Klassen z.B. von Lebensraumtypen	64
3.3.4	Methodik des Verfahrens zur Bewertung von FFH Lebensraumtypen	71
	<i>Analyse des terrestrischen Verfahrens zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen</i>	
	<i>Spektrales Bewertungsverfahren von FFH-Lebensraumtypen</i>	
3.3.5	Anwendungsbeispiele zur Abgrenzung von FFH-Lebensraumtypen	78
	<i>Räumliche Vorhersage von „Offenen Grasfluren mit Corynephorus und Agrostis auf Binnendünen (= Silbergrasfluren) - LRT 2330</i>	
	<i>Räumliche Vorhersage von Sandtrockenrasen und „Basenreichen Sandtrockenrasen“ – LRT 6120</i>	
	<i>Räumliche Vorhersage von Trockenen Europäischen Heiden – LRT 4030</i>	
	<i>Zusammenfassung</i>	
3.3.6	Anwendungsbeispiele zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen	94
	<i>Spektrale Bewertung und räumliche Vorhersage des Erhaltungszustandes von LRT-233</i>	
	<i>Spektrale Bewertung und räumliche Vorhersage des Erhaltungszustandes von LRT-6120</i>	
	<i>Spektrale Bewertung und räumliche Vorhersage des Erhaltungszustandes von LRT-4030</i>	
	<i>Zusammenfassung und externe Validierung</i>	
3.3.7	Veränderungsanalyse durch Wildtierbesatz aus hyperspektralen Zeitreihendaten	111
3.3.8	Hyperspektraler Klassifikationsalgorithmus zur Abbildung hierarchischer Vegetationseinheiten	114
3.4	Methodik des Monitorings von feuchten Offenlandstandorten mit Hyperspektralfernerkundung	123
3.5	Methodik und Ergebnisse des Monitorings von Waldstandorten mit Multispektralfernerkundung	128
3.6	Veränderungsanalyse 2004/2010 mit erprobter SARA04-Methodik	141
3.7	Habitatanalysen von Tierarten	150
3.8	Abschätzung der Folgekosten im Routinebetrieb	153
3.9	Infrastrukturelle Projektergebnisse	154
3.9.1	Messtechnik, Hard- und Software, Geodaten	154
3.9.2	Geographisches Informationssystem	155
3.9.3	Spektralbibliothek	155
3.9.4	Literaturdatenbank	160
4.	Diskussion	161
5.	Öffentlichkeitsarbeit	166
6.	Fazit	169
7.	Literatur	170

Anlagen

- K1 Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide (24.01.2012, 1 Seite)
- K2 Karte der Untersuchungsflächen im Projekt (30.01.2012, 1 Seite, A3)

- SNL1 Informationen zum Projektgebiet und zum Wildnis-Großprojekt (28.01.2012, 4 Seiten)
- SNL2 Anforderungen an ein Monitoring (30.01.2012, 4 Seiten)

- V1 Biotoptypen- und Lebensraumtypenliste (21.12.2009, 7 Seiten)
- V2 Vegetationseinheiten im Offenland (21.12.2009, 2 Seiten)
- V3.1 Vegetationsaufnahme „Frische bis nasse Gras- und Staudenfluren“ (18.12.2009, 4 S., A3)
- V3.2 Vegetationsaufnahme „Trockene Gras- und Staudenfluren“ (18.12.2009, 1 Seite, A3)
- VEG1 Vegetationstabelle „Silbergrasreiche Pionierfluren“ (30.1.2012, 2 Seiten)
- VEG2 Vegetationstabelle „Sandtrockenrasen“ (30.1.2012, 2 Seiten)
- VEG3 Vegetationstabelle „Heidekrautheiden“ (30.1.2012, 2 Seiten)
- BEW1 Bewertungstabelle der Vegetationsaufnahmen LRT 2330 (30.1.2012, 2 Seiten)
- BEW2 Bewertungstabelle der Vegetationsaufnahmen LRT 6120 (30.1.2012, 2 Seiten)
- BEW3 Bewertungstabelle der Vegetationsaufnahmen LRT 4030 (30.1.2012, 2 Seiten)
- WLD Waldklassifizierung (27.01.2012, Format A3, 1 Seite, A3)

- SP1 Spektraldatenbank SPECLIB und der SPECLIB-Client, neu (30.01.2012, 1 Seite)
- SP2 Datenmodell Spektralbibliothek "SPECLIB", neue Version (27.01.2012, 1 Seite, A3)
- SP3 Aufnahmetermine mit dem Feldspektrometer (31.01.2012, 3 Seiten)

- PERS Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter (29.01.2012, 1 Seite)
- QUAL Promotionsvorhaben (30.01.2012, 2 Seiten)
- ATR Übersicht der Arbeitstreffen und Workshops (29.01.2012, 1 Seite)
- PR1a Tagungsbesuche und -beiträge (30.01.2012, 2 Seiten)
- PR1b Faltblatt (29.01.2012, 1 Seite)
- PR2 Veröffentlichungen (31.01.2012, 1 Seite)
- PR3 Fachtagung „Monitoring in der Döberitzer Heide“ (29.01.2012, 1 Seite)
- PR4 TV-Produktion (29.01.2012, 1 Seite)

Zusammenfassung

1. Die Fertigstellung der Zaunanlage und die Entlassung der ersten Großsäuger (Wisente, Przewalski-Pferde, Rothirsche) in die Wildniskernzone der Döberitzer Heide (Frühjahr 2010) stellte einen bedeutenden Entwicklungsabschnitt des Vorhabens „Wildnisgroßprojekt Döberitzer Heide“ der Heinz Sielmann Stiftung dar. Die systematische Beobachtung des Gebietes (Monitoring) steht damit auch vor neuen Herausforderungen.
2. Das DBU-Projekt 26257 „Entwicklung und Erprobung eines innovativen, naturschutzfachlichen Monitoringverfahrens auf der Basis von Fernerkundungsdaten am Beispiel der Döberitzer Heide, Brandenburg“ wurde umfangreich in das Teilvorhaben „Monitoring in der Döberitzer Heide“ eingebettet.
3. Die im DBU-Projekt 26257 tätigen Partner (Sielmann's Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH, Deutsches Geoforschungszentrum Potsdam, Universität Potsdam) arbeiten seit dem Projektbeginn im Juli 2008 erfolgreich zusammen. Routinearbeiten und Teilauswertungen wurden von der Natur & Text in Brandenburg GmbH (Rangsdorf) bzw. von der ecostrat GmbH (Berlin) als Nachauftragnehmerinnen durchgeführt. Das DBU-Projekt 26257 hat sich mit thematisch eng verwandten Arbeitsgruppen der Projekte SARA-EnMAP und CAREX sowie mit dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg vernetzt. Mit der Projektkoordination von DeCOVER wurde Kontakt aufgenommen und trotz der klaren methodischen Unterschiede ein Informationsaustausch durchgeführt.
4. Die Teilung des Projektes in zwei Phasen wurde bei der Feinplanung der Abläufe berücksichtigt.
5. Die vorhandene Infrastruktur wurde an die Bedürfnisse des Projektes angepasst; die darüber hinaus erforderlichen Beschaffungen bzw. Lizenzvereinbarungen (Hard- und Software, Geodaten) sind erfolgt. Es steht ein umfangreicher Satz von Luftbild- und Satellitendaten für die weitere Auswertung zur Verfügung. Die raumbezogenen Informationen über die Döberitzer Heide wurden in einer zentralen GIS-Datenbank (Geografisches Informationssystem) zusammengefasst. In Zusammenarbeit mit der Humboldt-Universität zu Berlin und den thematisch verwandten Arbeitsgruppen wurde eine Spektralbibliothek erstellt. Die relevanten bibliographischen Informationen wurden in einer zentralen Literaturdatenbank verwaltet.
6. Unter Berücksichtigung der bisherigen Untersuchungsflächen sowie in Abstimmung mit der Gebiets-eigentümerin und den zuständigen Fachbehörden (Betreten der Schutzgebiete) wurden zahlreiche Probeflächen eingerichtet. Die Auswahl folgte klar definierten, fachlichen Kriterien. Für die Überprüfung und Optimierung der spektralen Vorhersagen (Genauigkeit des Verfahrens) wurden kleine Gebiete ausgewiesen, die als Referenz für die halbautomatische spektrale Zuordnung dienen. Die Flächen wurden so ausgewählt, dass sie einige der größeren Offenflächen der Döberitzer Heide mit einem möglichst weiten Spektrum an Pflanzenbeständen abdecken. Die Vegetationsaufnahmen wurden in getrennte Flächen x Arten-Matrizen bzw. -Tabellen überführt (Pflanzenbestände der frischen bis nassen Standorte bzw. Pflanzenbestände der trockenen Standorte). Diese Tabellen wurden durch unvollständige Artenlisten aus dem Projekt SARA-EnMAP (Untersuchungsjahre 2007 bis 2009) ergänzt. Die Auftrennung von Vegetationseinheiten aufgrund der Ähnlichkeit des Arteninventars wurde zuerst durch lineare Ordinationen (Canoco) vorstrukturiert und anschließend

manuell zu unterschiedlichen, hierarchisch strukturierten Klassen (Vegetationsgruppen auf bis zu sechs Leveln) zusammengestellt. Diese a priori Klassifikation wurde durch eine dreidimensionale NMS-Ordination (Non-metric Multi-dimensional Scaling) mit der Software PC-ORD (Version 1.5) überprüft und (falls nötig) nochmals angepasst. Die Deckungswerte der Arten wurden log-transformiert verwendet. Ausgewählte Ergebnisse zu den Vegetationseinheiten des Offenlandes und der Trockenstandorte in der Döberitzer Heide werden ebenso mitgeteilt, wie Aussagen zu den möglichen Einflüssen der großen Pflanzenfresser auf die Vegetation.

7. Der erste Ansatzpunkt zur Erkennung von Vegetationseinheiten im Hinblick auf ein flächendeckendes Monitoring mittels digitalen Bilddaten beinhaltete die Anwendung einer linearen spektralen Entmischungsanalyse. Aufgrund hoher Ungenauigkeiten in der resultierenden Abbildung von Repräsentativspektren (Endmember) einer HyMap Szene von 2008 wurde das Verfahren der dreidimensionalen NMS-Ordination zur Gliederung des komplexen Vegetationsgefüges übernommen. Daraus konnten zwei Vorgehensweisen zur Abbildung von Vegetation in diskreten Klassen und als Kontinuum mittels Bildspektren entwickelt werden. Als Trainingsdaten finden statistisch gesicherte Informationen der im Gelände erhobenen spektralen Eigenschaften Verwendung. Am Beispiel der trockenen Offenlandstandorte wurden auf verschiedenen Ebenen der Analyse (Methoden-, Multitemporal- und Artentrennbarkeits-Ebene) mittels des nicht parametrischen Mann-Whitney-U Tests statistisch signifikante Unterscheidungsmerkmale nachgewiesen. Dabei wurden für sämtliche Messtermine wellenlängenabhängige Verfahren der Spektralanalyse und Verfahren zur Ableitung struktureller Parameter von Reflexionsspektren eingesetzt. Mit Hilfe der auf diese Weise generierten spektralen Variablen konnte das Vegetationskontinuum in einem ökologischen Ordinationsraum eindeutig beschrieben und flächenhaft auf hyperspektrale Bilddaten vorhergesagt werden. Ein neues hyperspektrales Aggregierungs- und FFH-Bewertungsverfahren wurde unter Synthese von geostatistischen, ökologischen und spektralen Modellen entwickelt und zur räumlichen Ableitung von FFH-Lebensraumtypen und deren Erhaltungszustandsbewertungen eingesetzt. Im Gegensatz zu existierenden Fernerkundungsverfahren werden dabei keine diskreten Klassen, sondern Abundanzen für Pflanzenarten, Anteile von Strukturparametern und Vorkommenwahrscheinlichkeiten für aggregierte Vegetationseinheiten in ihrer Gesamtheit für jedes Bildelement ausgegeben. Die erzielten Ergebnisse wurden hinsichtlich ihrer Eignung in einem Monitoringkonzept überprüft sowie den Vorhersagen aus den Levelklassifikationen maschineller Lernsysteme vergleichend gegenübergestellt. Die Validität der erzeugten Modelle sowie der räumlichen Vorhersagen konnte nachgewiesen werden. Die Potentiale für zukünftige Anwendungen und ein erweiterter Forschungsbedarf wurden aufgezeigt.
8. Die Öffentlichkeitsarbeit des DBU-Projektes 26257 wurde als abgestuftes und mit dem Projektfortschritt wachsendes Kommunikationssystem betrachtet. Aufgrund des interdisziplinären Charakters und der heterogenen Zusammensetzung der verschiedenen Akteure wurden verschiedene Kommunikationsformen, Themenfelder, Anspruchsebenen und Zielgruppen berücksichtigt. Die Öffentlichkeitsarbeit erfolgt im Interesse der Vernetzung und der fachlichen Zusammenarbeit mit thematisch verwandten Projekten, Ingenieurbüros, Naturschutzverbänden und -stiftungen, Unternehmen der Geoinformationswirtschaft, fachlich relevanten Behörden und wissenschaftlichen Einrichtungen - zur Unterstützung einer umfassenden Informationsbeschaffung sowie zur Befriedigung des generellen Informationsbedürfnisses der Öffentlichkeit.

9. Das Vorhaben wurde nach kostenneutraler Verlängerung im geplanten Umfang abgeschlossen.

1. Anlass und Zielsetzung des Projektes

1.1. Anlass und verpflichtende Zielsetzung zum Projektbeginn ¹

Mit dem Erwerb großer Teile des ehemaligen Truppenübungsplatzes Döberitz schuf die Heinz Sielmann Stiftung die Grundlagen für ein bemerkenswertes Wildnis-Großprojekt. Ganz im Sinne des am 6. Oktober 2006 verstorbenen Tierfilmers und engagierten Naturschützers Heinz Sielmann zielt es auf die Entwicklung eines großflächigen und unzerschnittenen Naturschutzgebietes am Rande der Metropole Berlin.

Das Umsetzungskonzept sieht einen zentralen Bereich in der Größe von etwa 25 Quadratkilometern vor, in dem sich die weitere Landschaftsentwicklung weitgehend ungestört vom Menschen sowie unter dem Einfluss großer, pflanzenfressender Wildtiere (Wisent, Przewalski-Pferd, Rothirsch) vollzieht. Diese Kernzone, die Wildniszone, wird ringförmig von einer Naturerlebniszone umgeben, in der das Naturerleben der Bevölkerung, die Umweltbildung und traditionelle Formen der Landschaftspflege im Mittelpunkt stehen.

Mit der Eröffnung des Schaugeheges (2006) und des Eingewöhnungsgatters (2007) wurden bereits die ersten Maßnahmen des Wildnis-Großprojektes umgesetzt. Im Verlauf der weiteren Ausbaustufen soll die gesamte Wildniszone, spätestens bis zum Jahr 2011, eingerichtet und mit den oben genannten Wildtieren besetzt werden.²

Das Projektvorhaben ist eine wichtige Grundlage für die Dokumentation des Erhaltungszustandes der Kernzone vor dem Einsetzen der Beweidung mit Wildtieren und für die naturschutzfachliche Begleitung der künftigen Gebietsentwicklung. Dieses Monitoring ermöglicht, die Erfüllung der gesetzten Entwicklungsziele auf wissenschaftlicher Basis zu überprüfen. Die Notwendigkeit für ein Monitoring ergibt sich auch aus der Bedeutung, welche den Erhaltungs- und Entwicklungszielen aus nationaler und internationaler Ebene zuerkannt wurde.

Für den Träger des Wildnis-Großprojektes besteht Verantwortung gegenüber

- der Europäischen Kommission und der Bundesrepublik Deutschland (hinsichtlich der Bewahrung des Naturerbes),
- dem Land Brandenburg (hinsichtlich des Erhaltes und der Entwicklung der ausgewiesenen Schutzgebiete),
- der Öffentlichkeit und allen Geldgebern (hinsichtlich der Verwendung öffentlicher Mittel, Spenden und Zuwendungen).

Die Realisierung dieses Monitorings stellt aufgrund der Flächengröße und der Wehrhaftigkeit der Wildtiere eine besondere Herausforderung dar, die nur durch die Kombination von anerkannten Methoden der Vegetationskunde mit innovativen Fernerkundungsmethoden angenommen werden kann.

¹ Übernahme aus dem Antragstext (02.2008) sowie aus dem Zwischenbericht (12.2009), geringfügig geändert. Auf die im Zwischenbericht enthaltenen Fußnoten wurde hier verzichtet. Alle Informationen erscheinen in den entsprechenden Kapiteln des Abschlußberichtes.

² Die Wildniskernzone wurde zwischenzeitlich eingerichtet.

Aktuelle Projekte der Grundlagenforschung im Bereich Geoinformatik / Geofernerkundung lieferten sowohl die apparativen als auch die methodischen Voraussetzungen für den Einsatz dieses kombinierten Verfahrens. Die großflächige Anwendung im Projektgebiet ist jedoch bisher nicht möglich.

Um dieses Ziel zu erreichen, bildete sich eine Arbeitsgemeinschaft, zusammengesetzt aus zwei Forschungseinrichtungen und einem gemeinnützigen Unternehmen.

Herausragende Zielstellungen des Projektes sind die Dokumentation des Ist-Zustandes der Vegetation vor Beginn der Beweidung mit Megaherbivoren und die Schaffung der methodischen Grundlagen für das künftige Monitoring des Wildnisentwicklungsgebietes. Die Aufgabe des Monitorings besteht darin, die Gebietsentwicklung und den Erfolg der eingesetzten Methoden der Landschaftspflege zu dokumentieren, zu bewerten und Vorschläge für das weitere Vorgehen abzuleiten (naturschutzfachliche Erfolgskontrolle). Dieses Fachverfahren soll weitgehend flächendeckend und auf der Basis reproduzierbarer Methoden der Fernerkundung angewandt werden. Die hier abgeleiteten Erkenntnisse werden durch punktuelle Erhebungen am Boden untersetzt und durch vegetationskundliche Details ergänzt.

Mit dieser Vorgehensweise werden folgende Erwartungen für das Wildnisgroßprojekt und für das Monitoring in der Döberitzer Heide verbunden:

- Herstellung eines einheitlichen Flächenbezuges für alle weiteren Stufen des Monitorings
Aufgrund der erfolgten Flächenabgrenzung und deren detaillierter Beschreibung können in späteren Projektphasen die Veränderungen sowohl qualitativ als auch quantitativ und flächenscharf dargestellt werden. Die Auswahl von Untersuchungsflächen für die übrigen Elemente des Monitorings wird maßgeblich unterstützt.
- Methodenetablierung
Der für die Entwicklung der Methode benötigte Aufwand fällt nur einmalig an. In späteren Phasen des Monitorings kann die Methodik in identischer Form angewandt werden. Ihr Einsatz führt zur Verringerung der zeit- und kostenintensiven Kartierung im Gelände, zur Verbesserung der räumlichen Abgrenzung von Vegetationseinheiten bzw. Vegetationsstrukturen und damit zur Optimierung des Monitoringverfahrens.
- Eindeutigkeit der Ergebnisse des Monitorings

Durch eine Datenerhebung vor der Inbetriebnahme der Wildniszone im Kernbereich der Liegenschaft können die künftig von den Großsäugern ausgehenden Effekte besser von anderen Wirkungsfaktoren unterschieden werden. Die Standardisierung der eingesetzten Methoden sichert die Vergleichbarkeit der zu unterschiedlichen Zeitpunkten abgeleiteten Aussagen.

- Hinweise für eine optimale Gestaltung der Wildniskernzone und der Landschaftspflege
Aus den Ergebnissen des beantragten Projektes können in Verbindung mit dem vorhandenem Wissen über die Biologie der eingesetzten Arten wichtige Hinweise für die Einrichtung der Wildniskernzone abgeleitet werden, insbesondere für die Auswahl bestimmter Areale oder die Notwendigkeit vorübergehender oder dauerhafter zusätzlicher Pflegemaßnahmen.

Angestrebte Projektergebnisse:

- Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen
- Vegetationsaufnahmen/-kartierungen für ausgewählte Teilbereiche

- Spektrale Signaturen für die relevanten Vegetationseinheiten der Döberitzer Heide (Spektralbibliothek)
- Daten zur räumlichen und zeitlichen Struktur der relevanten Vegetationseinheiten der Döberitzer Heide (Heterogenität, Phänologie)
- Tool zur Visualisierung (GIS, Internet) der Ergebnisse
- Flächendeckende Vegetations(struktur)karten auf der Grundlage der Klassifikation von Fernerkundungsdaten für die Zeitpunkte 2004/2005 und 2009/2010
- Methodenbeschreibung im Zwischenbericht und im Abschlussbericht
- Workshops und Abschlusstagung, um die weitere Anwendung in der Praxis zu befördern

Die Ergebnisse des Projektes sind nachnutzungsfähiges Allgemeingut.

Die gebietsbezogenen Daten werden bei der Heinz Sielmann Stiftung vorgehalten und genutzt. Sie können von Landes- und Bundesbehörden genutzt werden, zum Beispiel im Rahmen von naturschutzfachlichen Analysen und staatlichen Berichtspflichten.

Für die Nachnutzung der methodischen Ergebnisse und der Signaturen der Spektralbibliothek dürfte ein bundesweites Interesse bestehen. Die Heinz Sielmann Stiftung wird das Know-How für das Monitoring weiterer „Sielmanns Naturlandschaften“ einsetzen. Erhebliches Interesse besteht zum Beispiel auch beim Land Brandenburg, bedingt durch die eingeleitete Naturentwicklung auf zahlreichen Truppenübungsplätzen (größte Dichte ehemaliger militärischer Liegenschaften in Deutschland) sowie in Teilen der Bergbaufolgelandschaft.

1.2. Wissenschaftliche Problemdefinition ³

Die sandigen Offenlandbereiche des pleistozänen Tieflands in Mitteleuropa gelten als Lebensräume von besonderem naturschutzfachlichem Wert. Dabei sind gerade solche Lebensräume bedeutend, die nicht bebaut und auch nicht landwirtschaftlich genutzt werden. Solche Landschaftsgefüge mit geringem Hemerobiegrad befinden sich häufig auf militärischen Übungsplätzen, da unter anhaltender Störwirkung von direkter (Befahrung, Sprengung) und indirekter (Brände) menschlicher Einflussnahme typische Offenlandbereiche gebildet und erhalten werden konnten. Nach Aufgabe der militärischen Nutzung unterliegen diese Landschaften dem Prozess der natürlichen Sukzession und werden somit zu Waldgesellschaften transformiert.

Obwohl dieser Vorgang zur Ausbildung der potentiellen natürlichen Vegetation führt und zusätzlich von einem wissenschaftlichen Eigenwert (Prozessschutz) geprägt ist, geht man heutzutage aus zwei wichtigen Gründen zum Erhalt des status quo über. Der erste Grund beinhaltet die Akzeptanz der Rolle des Menschen als Gestalter der Umwelt, in dem er ganz bewusst ein bedrohtes Arteninventar erhalten und entwickeln möchte. Ein bedeutender weiterer und in dieser Arbeit verfolgter Grund ist die Annahme, dass die natürliche Umwelt sich keineswegs als geschlossene Waldgesellschaft darstellte, sondern von Megaherbivoren in eine offene Parklandschaft überführt.

Im ehemaligen Truppenübungsplatz Döberitzer Heide, wie auch in vielen anderen Projekten kann der Effekt von frei lebenden Wildtieren auf die Offenhaltung der Naturlandschaft, ohne des Einflusses vom Menschen beobachtet werden. Neben dem ökonomischen Faktor eines kostengünstigen Erhalts und Pflege dieser naturschutzfachlich wertvollen Bereiche der Landschaft bietet der Einsatz von

³ Übernahme aus der Diplomarbeit von Carsten Neumann (Neumann 2010, Kapitel 1). Die Literaturzitate wurden hier entfernt.

Großherbivoren zur Landschaftsgestaltung ein unschätzbares Potential für die wissenschaftliche Analyse zoologischer Faktoren historischer und gegenwärtiger Formen der Landschaftsentstehung.

Zur qualitativen und quantitativen Analyse der Landschaftsentwicklung eines Gebietes großer Ausdehnung müssen zur Abdeckung der räumlichen und zeitlichen Dimension Fernerkundungssysteme genutzt werden. Diese ermöglichen ein Monitoring faunistischer Merkmale der Oberfläche, indem ein hinreichend großer Raumausschnitt mittels einheitlichen Interpretationsschlüsseln bezogen auf spektrale Reflexionseigenschaften von Vegetation in Informationen eingeteilt werden kann.

Diese informationelle Einteilung kann dann zu ausgewählten Zeitpunkten erneut generiert werden und stellt den Bezugsrahmen für Veränderungsanalysen dar. Nun sind gerade die offenen Sandlandschaften auf Truppenübungsplätzen in ihrer Vegetationsstruktur sehr heterogen. Kleine Veränderungen in den abiotischen Rahmenbedingungen können im Gegensatz zu Waldstandorten zu stärkeren Differenzierungen im Artengefüge führen. Je nach Ausprägung und Abfolge ökologischer Gradienten stellt sich die Artenzusammensetzung unterschiedlich dar. Ziel dieser Arbeit soll es sein, das heterogene Arteninventar eines ehemaligen militärischen Übungsplatzes mit Hilfe von Fernerkundungsdaten räumlich explizit abzubilden.

Dabei soll der entworfene Interpretationsschlüssel eben nicht Informationsklassen von Vegetationstypen definieren, sondern das real existierende Vegetationskontinuum entlang von natürlichen Gradienten erklären und darstellen. Die potentielle Kombinationsmöglichkeit von spektralen Pflanzencharakteristika und ökologischer Gradientenanalyse konnte hinreichend bewiesen und zur Vorhersage von floristischen Gradienten in Waldgesellschaften erfolgreich angewandt werden. Die ersten wertvollen Ansätze zur Vorhersage kleinskaliger Pflanzenstrukturen mittels hyperspektralen Bilddaten wurden in Feuchtgebieten in Südbayern verwirklicht. Dennoch müssen die bereits bestehenden Methodiken für das Monitoring großflächiger Offenlandbereiche auf Truppenübungsplätzen überprüft, angepasst und erweitert werden.

Die dafür notwendigen und in einem Monitoring neu zu berücksichtigen Kriterien sind dabei:

1. Die ausschließliche Nutzung von im Gelände erhobenen und beliebig erweiterbaren spektralen Pflanzenmerkmalen
2. Die Abbildung von auf kleiner Skala hoch variablen Vegetationsstrukturen über einen großen Raumausschnitt
3. Die Integration von in der Fernerkundung anerkannten Zusatzmerkmalen, die sich durch mathematische Transformationen aus den Rückstrahlsignalen ableiten lassen.

Diese Kriterien sind in den über dieses Thema vorliegenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen nicht berücksichtigt worden, stellen aber wesentliche Voraussetzungen für ein flächendeckendes Monitoring dar bzw. beinhalten ergänzende Methodenbausteine.

Die Abbildung des Vegetationskontinuums zum Monitoring naturschutzfachlich bedeutender Offenlandschaften unter Einbeziehung der definierten Kriterien soll Ziel [der Diplomarbeit] sein. Dabei wird [...] die **grundsätzliche Forschungsfrage** beantwortet: Lassen sich ökologische Gradientenanalyse und hyperspektrale Fernerkundung zum Monitoring von Vegetationsstrukturen offener Sandlandschaften verknüpfen?

Es soll damit ein Beitrag zum besseren Verständnis über die Verteilung von Pflanzenarten in der Landschaft geleistet werden um, so einer Analyse von Landschaftsentwicklung unter dem Einsatz von Großherbivoren wertvolle Informationen aus Fernerkundungsdaten zur Verfügung zu stellen.

2. Arbeitsschritte und angewandte Methoden

2.1 Arbeitsplanung

Die Arbeitsschritte bzw. Arbeitsbereiche (AB) des Projektvorhabens

- AB 1 Feinplanung der Feldarbeiten
- AB 2 Floristische, vegetationskundliche und blütenökologische Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen
- AB 3 Feldspektrometer-Beobachtung an Dauerbeobachtungsflächen zur Erfassung der spektralen Variation der Bestände im Verlaufe der Vegetationsperiode
- AB 4 Untersuchungen zum Potential hyperspektraler Fernerkundungsinformationen zur Differenzierung des Arteninventars: Flugzeugbefliegung mit Hyperspektralsensor zu zwei geeigneten Zeitpunkten innerhalb einer Vegetationsperiode. Auswertung der Daten der Flugzeugbefliegung und der fortlaufenden Feldspektrometer-Beobachtungen
- AB 5 Übernahme der FFH-Ersterfassung aus SARA'04 und erneute flächenhafte Erfassung des Vegetationsmusters nach der erweiterten SARA-Methode nach Vervollkommnung durch Einbeziehung anderer phänologischer Zeitpunkte aus dem Frühjahr/Frühsummer (räumlich höchst auflösende Satellitendaten) und Hyperspektraldaten
- AB 6 Entwicklung eines Tools zur Visualisierung (GIS, Internet) der Ergebnisse
- AB 7 Workshops und Abschlusstagung
- AB 8 Zwischenbericht und Abschlussbericht

wurden erstmalig im Projektantrag beschrieben.⁴

Jedem Arbeitsbereich wurden die ausführenden Projektpartner und die jeweilige Hauptverantwortung zugeordnet. Der zeitliche Ablauf erschien in einem Zeitplan auf Quartalsbasis.

Der Zeitplan bedurfte, trotz der anschließenden Unterteilung des Ablaufes in zwei Projektphasen,⁵ keiner gravierenden Änderungen. Die projektinterne Feinplanung (als Voraussetzung für eine zielführende Umsetzung der Vorhaben) musste diesen Umstand allerdings in weitaus stärkerem Umfang berücksichtigen. Im Zwischenbericht zum Ende der Projektphase 1 wurden eine aktualisierte Fassung des Zeitplanes und die Schwerpunkte in der Projektphase 2 mitgeteilt.⁶

Der Erfüllungsstand der einzelnen Arbeitsschritte wurde regelmäßig (im halbjährlichen Abstand vor Beginn und nach Abschluss der Vegetationsperiode) im Rahmen von projektinternen Workshops präsentiert und umfassend diskutiert. In diesen Rhythmus ordneten sich die von der DBU geforderten Berichterstattungen (Zwischenbericht, Sachstandsbericht) mit den zugehörigen Präsentations- und Diskussionsveranstaltungen (Statusseminar am 04.02.2010, Kleiner Workshop am 17.03.2011) nahtlos ein (Anlage ATR).

⁴ Vorlage: 29.02.2008, Kapitel 2.3, Seiten 24-25.

⁵ Bewilligungsschreiben der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vom 03.06.2008.

⁶ Vorlage: 21.12.2009, Kapitel 4, Tabelle 4 / Seiten 37-38.

2.2 Vorgehensweise zum fernerkundungsbasierten Monitoring

Die im DBU-Projekt 26257 eingesetzten Methoden sind, wie bereits im Antrag formuliert, eine Kombination aus modernen Methoden der Vegetationsaufnahme und der Klassifikation / Ordination auf der einen Seite sowie der Spektralanalyse und des maschinellen Lernens auf der anderen Seite.

Zur Erarbeitung der im Gesamtprojekt gesetzten Zielstellung wurde ein konzeptionelles Modell über die Integration der verwendeten Methoden und Datensätze entworfen (Abbildung 2.2a). Die Grundstruktur der darin beschriebenen Vorgehensweise wurde im Verlauf der projektinternen Arbeiten auf Grundlage sich verändernder Erkenntnisstände angepasst (vgl. Zwischenbericht).

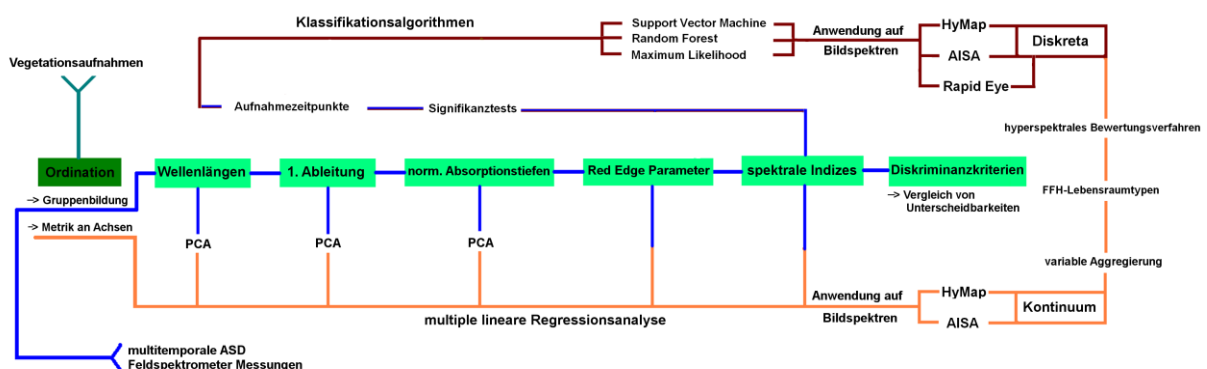


Abbildung 2.2a: Konzeptionelles Modell zur Anwendung fernerkundlicher Analysemethoden (grün: abgeleitete Unterscheidungsmerkmale auf Methodenebene; braun: Herangehensweisen zur Klassifikation von Vegetationseinheiten, orange: Herangehensweise zur Vorhersage und Bewertung des Vegetationskontinuums, blau: Daten aus der Feldmesskampagne)

Ausgangspunkt bilden die im Gelände vegetationskundlich erfassten Informationen über den Zustand der Vegetation und dessen Projektion und anschließende Beschreibung in multidimensionale Ordinationsräume. Im Ergebnis wurden unter Ausschluss einer a priori Definition von Vegetationseinheiten zum einen Vegetationsstrukturen in hierarchisch geordnete Komplexitätsebenen überführt, zum anderen abstrakte Umweltgradienten zur räumlichen Quantifizierung von Vegetationsparametern abgeleitet. Aus den erzielten Ordinationsergebnissen konnten zwei potentielle Herangehensweisen zur Abbildung von Vegetationseinheiten und Vegetationsparametern als Diskreta und in einem Kontinuum mittels Bildspektren spezifiziert werden. Beide Formen der flächenhaften Beschreibung von Vegetationszuständen und darin angewandte bzw. neu entwickelte Methodenbausteine sind im Rahmen dieses Projektes eingehend für die Anwendung in einem Monitoring von Offenlandschaften untersucht worden (Abbildung 2.2a orange/braun).

Die Grundlage der erfolgten Methodenentwicklung bilden die im Gelände erhobenen spektralen Signaturen der erfassten Vegetationsbestände. Diese wurden als Trainingsdaten sämtlicher auf die Bilddatensätze angewandter Algorithmen nach statistischen Kriterien in unterschiedlichen Ebenen analysiert (Abbildung 2.2a blau). Auf der Methoden-, Multitemporal- und Artentrennbarkeits-Ebene konnten Tests zur Identifikation statistisch signifikanter Unterscheidungsmerkmale durchgeführt und spektrale Variablen als Eingangsgrößen zur Kalibrierung spektraler Modelle identifiziert werden. Dazu wurden aus verschiedenen Literaturquellen Verfahren der Spektralanalyse zusammengetragen und auf ausgewählte Aspekte der multivariaten Vegetationsanalyse angewendet.

Im ersten Teil des entworfenen Arbeitsschemas (vgl. Abbildung 2.2a braun) wurden anschließend herkömmliche (Maximum Likelihood) sowie neuere Klassifikationsverfahren maschineller Lernsysteme (Random Forest, Support Vector Machine) zur räumlichen Abbildung von Vegetationseinheiten des trockenen Offenlandes und von Waldstandorten angewendet. Anhand hyperspektraler Bilddaten sollte die Differenzierbarkeit unterschiedlicher Komplexitätsebenen von Vegetationseinheiten überprüft und in räumliche Darstellungen überführt werden. Erstmals wurden ebenfalls die Potentiale der aktuellen RapidEye Satellitenmission im Hinblick auf multitemporale Klassifikationsansätze zur Abbildung von Waldstandorten eruiert. Des Weiteren konnten bestehende Ansätze multispektraler Verfahren auf die Möglichkeiten einer Bereitstellung von Zusatzinformationen in einer Veränderungsanalyse genutzt werden.

Im zweiten Teil des Arbeitsprozesses (vgl. Abbildung 2.2a orange) wurden multivariate Regressionsansätze (PLS_Regression) genutzt, um mit den aus Feldmessungen abgeleiteten spektralen Variablen die Eignung von hyperspektralen Sensoren zur Vorhersage des Vegetationskontinuums nachzuweisen. Zu diesem Zweck sind die im Gelände aufgenommenen Informationen über den Zustand von Vegetationsbeständen in eine ökologische Gradientenanalyse (Non-Metric-Multidimensional Scaling) überführt worden. Die daraus abgeleitete detaillierte Beschreibung von Vegetationszuständen im trockenen Offenland des Untersuchungsraumes wurde mittels einer innovativen Synthese mit geostatistischen Verfahren zu quantitativen Vegetationsparametern aggregiert. Ein neues Verfahren zur Abgrenzung und Bewertung von typischen FFH-Lebensraumtypen der trockenen Offenländer wurde auf Basis von hyperspektralen, flugzeuggetragenen Sensoren entwickelt. Neben der räumlichen Vorhersage und Interpretation von Vegetationseigenschaften mittels Quantifizierung des Kontinuumkonzeptes konnte auf diese Weise eine automatisierte Vorgehensweise zur räumlichen Extraktion und Bewertung der Erhaltungszustände von im Untersuchungsgebiet vorkommenden FFH-Lebensraumtypen erreicht werden.

Sowohl die unter Anwendung von Klassifikations- und Regressionsverfahren abgeleiteten räumlichen Vorhersagen von Vegetationseigenschaften, als auch die Bewertungskategorien aus dem hyperspektralen Bewertungsverfahren wurden abschließend vergleichend gegenübergestellt. Am Ende einer jeden methodischen Prozessierungskette steht demzufolge die Synthese von diskreten Vegetationseinheiten und kontinuierlichen Vegetationsparametern. Die Vor- und Nachteile einer jeden Methodik konnten auf diese Weise bezüglich der Eignung in einem Monitoringkonzept identifiziert und Hinweise zur Fehlerbetrachtung und Optimierungsvorschläge angegeben werden.

2.3 Zusammenarbeit mit themennahen Projekten ^{7 8}

In der Startphase musste zunächst die Situation geklärt werden, welche sich aus den inhaltlichen Schnittmengen des DBU-Projektes 26257 mit dem laufenden Projekt SARA-EnMAP ergab. Dieses Projekt der Geoinformationswirtschaft in der Region Berlin-Brandenburg (LUP GmbH) verfolgt kommerzielle Interessen und wird von der Wirtschaftsförderung des Landes Brandenburg gefördert. Die dem Projektantrag vorausgegangene Kommunikation erwies sich als unzureichend; es ging dabei insbesondere um Fragen des Urheberrechtes (Nutzung von geschützten Klassifikationsalgorithmen aus den SARA-

⁷ Übernahme von Textabschnitten / Hinweisen aus dem Zwischenbericht (12.2009) und aus dem Sachstandsbericht (12.2010), überarbeitet und aktualisiert.

⁸ Die umfassende naturschutzfachliche Zusammenarbeit der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH wird hier nicht im Detail dargestellt.

Projekten). Der erfolgreiche Klärungsprozess war vom guten Willen beider Seiten gekennzeichnet und wurde vom Deutschen Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ), ausgewiesener Projektpartner in beiden Projekten, moderiert. Im Ergebnis wurde eine Kooperationsvereinbarung geschlossen, welche von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt bereits schriftlich zur Kenntnis genommen wurde.

Mit dem Projekt SARA-EnMAP und mit dem Projekt CARE-X der Arbeitsgruppe von Prof. Birgit Kleinschmit (Technische Universität Berlin) entwickelte sich eine umfassende Zusammenarbeit. Mit beiden Projekten erfolgte eine Optimierung von Geländebegehungszeiten für Spektralmessungen durch Flächentausch, in dessen Folge Untersuchungsflächen in räumlicher Nähe zueinander projektübergreifend in den Messvorgang und die anschließende Datenvorverarbeitung einbezogen wurden.

Seit dem Jahr 2010 wurde in Kooperation mit dem CARE-X Projekt (Dr. Michael Förster) eine Datenvorprozessierung von multispektralen RapidEye-Satellitenbildern durchgeführt, wobei Wissen und Erfahrungen im Umgang mit den erst seit 2009 zur Verfügung stehenden Bilddaten ausgetauscht und einer breiten Gemeinschaft von Wissenschaftlern der Fernerkundung zugänglich gemacht wurden. Im Rahmen der Klassifikation von Vegetationsbeständen aus multispektralen RapidEye Daten wurden die Potentiale von Zeitreihenanalysen in Kooperation mit dem Projekt CARE-X untersucht.

Einen Transfer von Erfahrungen und Wissen in Bezug auf die Ableitung von spektral unterscheidbaren Vegetationseinheiten in trockenen Offenlandstandorten und die Anwendung von maschinellen Lernsystemen zur Klassifikation auf Bildebene wurde im Rahmen einer Diplomarbeit in der Betreuung von Prof. Cornelia Gläßer (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg) verwirklicht. Hierbei sind die Erkenntnisse der fernerkundlichen Analysen und die daraus ableitbaren floristischen Bedingungen in der Döberitzer Heide mit denen auf Tagebaurekultivierungsflächen im Untersuchungsgebiet Goitzsche / Muldenaue (Mitteldeutschland) verglichen worden.

Das DBU-Projekt 26257 nahm Kontakt mit der Projektkoordination von DeCOVER auf und sprach mit den Herren MÜTERTHIES und BUCK (EFTAS) hinsichtlich inhaltlicher/methodischer Überschneidungen zwischen DeCOVER und dem DBU-Projekt 26257. Ziel des 2006 gestarteten Projektes DeCOVER ist es, Methoden zur Aktualisierung und Erweiterung bestehender Landbedeckungsinformationen für den Informationsbedarf nationaler und regionaler Fachbehörden zu entwickeln. Die Ergebnisse der 1. Projektphase wurden publiziert (EFTAS 2008). Im Mittelpunkt der 2. Phase (Start 2009) steht die Optimierung der Integrationsfähigkeit der entwickelten Aktualisierungsverfahren in bestehende Fachprozesse sowie die thematische Erweiterung bestehender Landbedeckungsdatensätze für Anforderungen aus den Bereichen Landwirtschaft und Naturschutz. Im Bereich Naturschutz sollen Aufgaben des FFH-Monitorings im Offenland unter Nutzung der neuen Satellitensysteme TerraSAR-X und RapidEye unterstützt werden, wobei insbesondere *change detection* Verfahren eingesetzt werden sollen. Dagegen liegt der methodische Schwerpunkt des DBU-Projektes "Döberitzer Heide" auf der Untersuchung des Potentials hyperspektraler Sensoren für das Monitoring von FFH-Gebieten auf der Ebene von Pflanzengesellschaften. Es gibt also klare methodische Unterschiede zwischen beiden Projekten, aber durchaus inhaltliche Überschneidungen.

3. Ergebnisse

3.1. Einleitung

Die Entwicklung von Fernerkundungsmethoden zur flächenhaften und langfristigen Beobachtung von Veränderungen im Landschaftsraum erhält in den Umweltwissenschaften einen immer größeren Stellenwert. Dabei sind die Anforderungen an die Detailliertheit der Ergebnisse je nach Ausrichtung der Monitoringaufgabe sehr verschieden. In der Zusammenschau der häufig benannten Ansprüche sollen Fernerkundungsdaten möglichst:

- große Flächen zeitgleich abdecken,
- im Bildpunkt nur kleine Flächen vereinen,
- die gleiche Fläche oft wiederholt abbilden,
- die Rückstrahlung in viele Spektralbänder aufgelöst aufzeichnen.

Auch wenn es Fernerkundungsdaten in verschiedener räumlicher, spektraler, radiometrischer und zeitlicher Auflösung gibt, die jeweils einzelne der Anforderungen erfüllen, ein Datensystem, das alle Forderungen gleichzeitig erfüllt, existiert bisher nicht. Zwei Faktoren wirken sich immer noch beschränkend aus. Einerseits verschlechtert sich das Verhältnis von echtem Signal und dem Rauschen zunehmend, wenn die aufgezeichnete einzelne Strahlungsmenge je Sensorelement zu klein wird, was besonders durch die Kombination von schmalen Spektralbändern mit möglichst kleinen Bildpunkten (Kombination aus hoher spektraler und hoher räumlicher Auflösung) gefördert wird. Andererseits stellt die Datenspeicherung und -weiterverarbeitung, insbesondere bei Satelliten auch die Übertragung zur Erde, bei sehr großen Datenmengen ein Problem dar. Deshalb können bisher nach wie vor nur Teilkombinationen aus den oben genannten Forderungen technisch umgesetzt werden. Es ist also notwendig, für die jeweilige Monitoringaufgabe den geeigneten Datensatz auszuwählen oder durch Fusion der Informationen aus verschiedenen Datenquellen ein Optimum zu nutzen.

Welchen Einfluss die Detailliertheit der spektralen Auflösung auf das interpretierbare Signal hat, zeigt Abbildung 3.1a. Hier wird am Beispiel der Rückstrahlkurven von Einzelarten einer zum LRT 4030 gehörenden Heidkrautheide gezeigt, wie einzelne Banden der Kurve für die Interpretation des Zustandes des Objektes (Pflanzenbestand) genutzt werden können.

Die typischen Kurveneintiefungen, hervorgerufen von Chlorophyll, Wasser, Stärke, Zellulose und Lignin lassen Rückschlüsse auf die phänologische Situation der Pflanzen oder im Falle des Bodens auf die Bodenfeuchte zu. So ist deutlich ist zu erkennen, dass jede der beteiligten Arten ein charakteristisches Spektrum hat, das insbesondere im Bereich des grünen (520 – 600 nm) und des roten (630 – 690 nm) Lichtes, aber auch im infraroten Licht, eine Differenzierung erlaubt.

Diese Differenzierung ist jedoch nur möglich, wenn (wie beim Feldspektrometer) zahlreiche Spektralbänder (hyperspektral) mit möglichst geringer Breite über den gesamten Wellenlängenbereich von 400 nm bis 2.500 nm aufgezeichnet werden. Demgegenüber sind die mit multispektralen Satellitensensoren ermittelbaren Charakteristika der Einheiten (Abb. 3.1a Zwergstrauchheide, Gras- und Staudenflur) wenig detailliert. Einerseits bilden sie nur einen Ausschnitt des Gesamtspektrums ab, lassen also die Informationen aus dem Wellenlängenbereich ab 900 nm unberücksichtigt. Andererseits zeigt die Abbildung, dass die Breite der Spektralbänder des Satelliten die Informationsgenauigkeit verschlechtert, weil auch die Rückstrahlung außerhalb der eigentlichen Bande das Signal mitbestimmt.

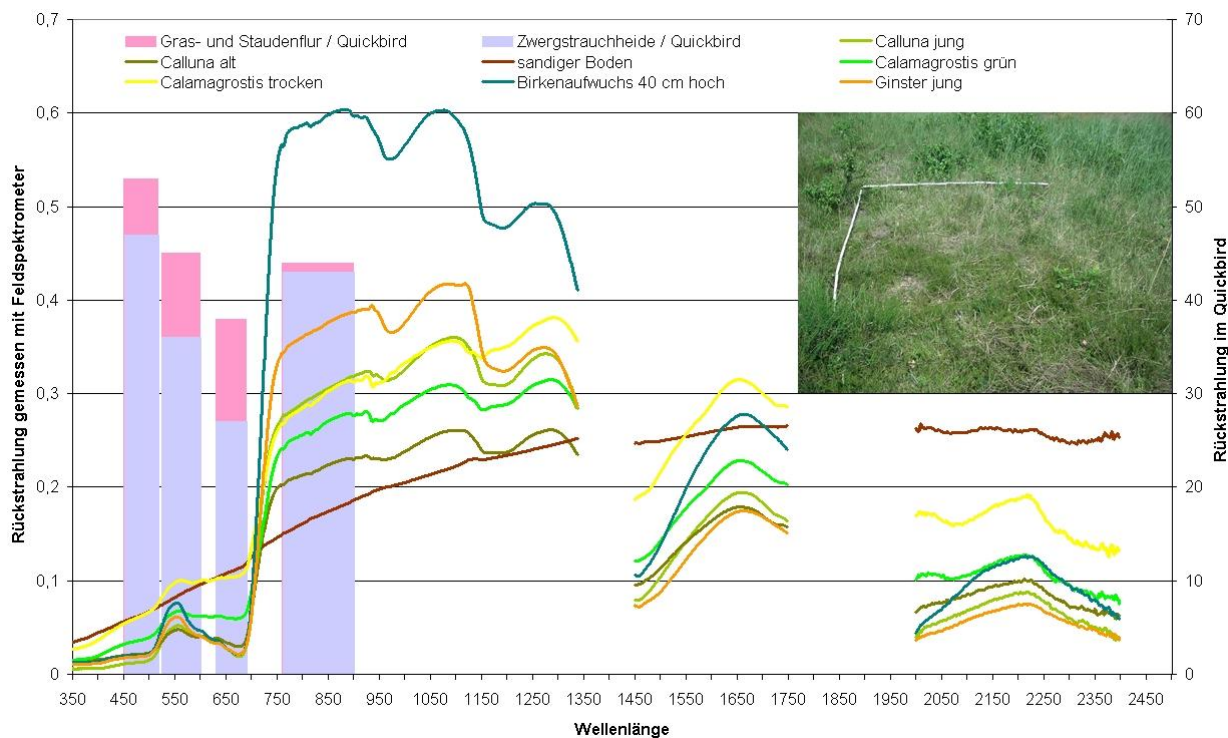


Abbildung 3.1a: Vergleich der terrestrischen Spektralkurven (Feldspektrometer) von Einzelarten (Linien) einer Heidekrautheide (LRT 4030) und Quickbird-Fernerkundungsspektralwerten (aus SARA04) von Zwergstrauchheide (grau) bzw. Gras- und Staudenfluren (Rosa), Messung der Feldspektren: 8. August

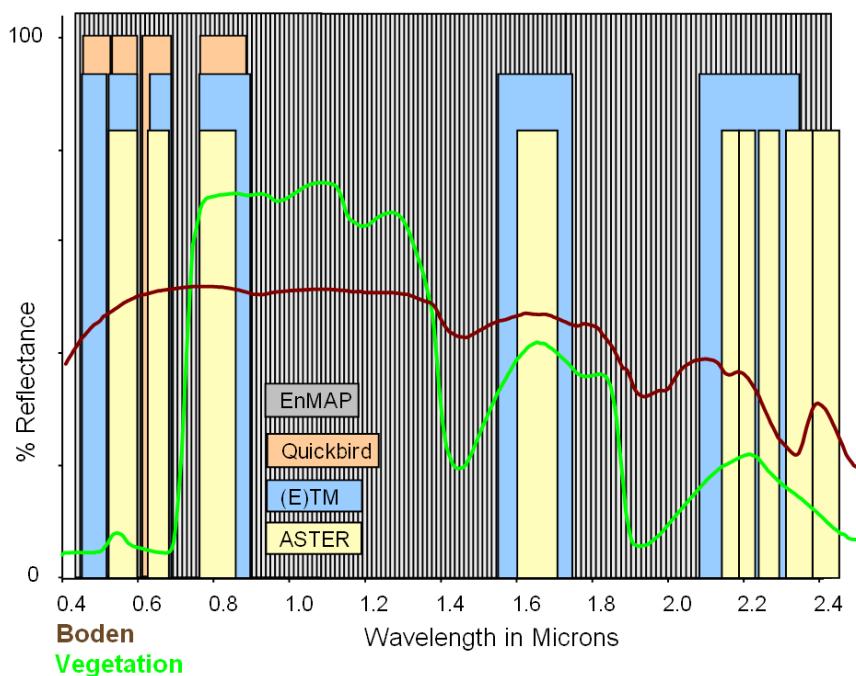


Abbildung 3.1b: Vergleich der Erfassbarkeit der Rückstrahlkurven von „Offenem Boden“ und „Vegetation“ mit verschiedenen Satellitensystemen mit unterschiedlicher Anzahl von Spektralbändern

Am Beispiel der Strukturmerkmale „Offener Boden“ und „Vegetation“ wird in Abbildung 3.1b am Vergleich von Satellitensensoren gezeigt, wie sich die unterschiedliche Ausstattung mit Spektralbändern auf die Erfassung des Rückstrahlverhaltens der beiden Objekte auswirkt. Es wird deutlich, dass der zukünftige Satellit EnMAP, dessen Start für 2015 geplant ist, mit mehr als 240 Kanälen den Gang der Spektralkurve über den gesamten Wellenlängenbereich perfekt erfasst, dafür aber eine wesentlich geringere Flächenauflösung haben wird als andere Systeme. ASTER ist für die Erfassung der Kurvencharakteristik von Pflanzen und Boden im Wellenlängenbereich ab 2100 nm gut geeignet, mehrere schmalbandige Kanäle erlauben hier die Differenzierung von Pflanzen- und Bodenbestandteilen. Die Satelliten der Landsat (E)TM-Reihe erlauben schon seit mehr als 30 Jahren bei relativ geringer Spektral- (7 Bänder) und mittlerer Raumauflösung (Bildpunktgröße 30m), aber gleichbleibender Sensorcharakteristik eine Langzeitbeobachtung von Flächen. Die hohe räumliche Auflösung von Quickbird (1-2m) gleicht in gewissem Sinne die fehlende spektrale Auflösung aus, sind doch hier nur die Bereiche des sichtbaren Lichtes und des nahen Infrarot analysierbar.

In Abbildung 3.1c wird die hohe spektrale Auflösung von Hyperspektraldaten sichtbar. Dank der 125 Bildkanäle von HyMap lässt sich die unterschiedliche Vitalität der vier Meßpunkte an zwei Aufnahmeterminen darstellen. So verdeutlichen die Banden der Sandtrockenrasen (Wegsaum) am 7. August 2008 einen höheren Gehalt an Wasser und Chlorophyll und geringere Mengen an Zellulose als ein Jahr später. Auch der Ginster ist im August 2008 vitaler. Dagegen zeigen die Laubbäume der Baumgruppe durch die weniger eingetieften Banden für Chlorophyll und Wasser einen schlechteren Vitalitätszustand als 2009.

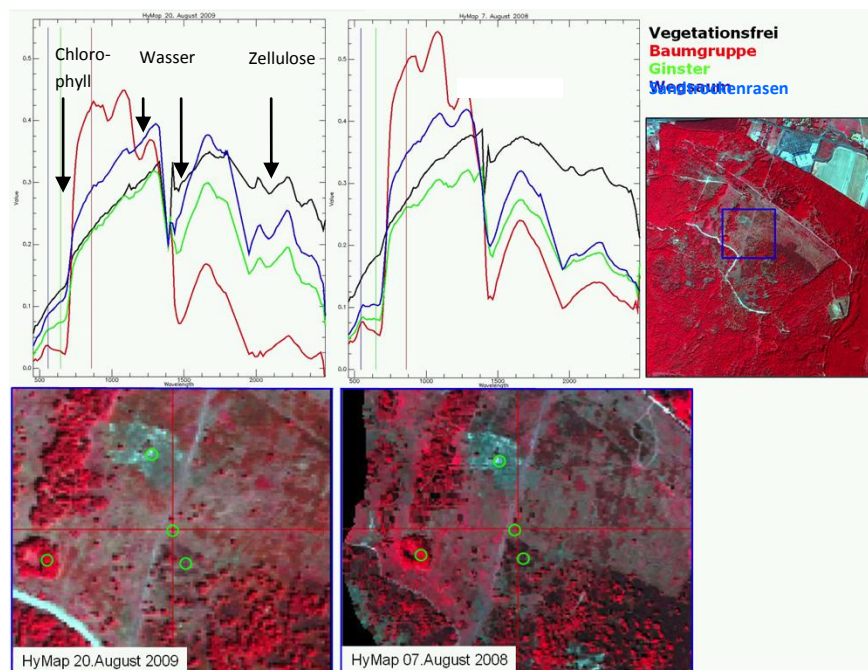


Abbildung 3.1c: Vergleich der Spektralkurven von vier Kartiereinheiten an zwei Aufnahmeterminen im Teilgebiet Hasenheide

Um sowohl die in der Döberitzer Heide schnell ablaufenden Sukzessionsprozesse als auch die Bemühungen zur Offenhaltung beobachten zu können, bietet sich wie bei allen von Vegetation dominierten Arealen ein multitemporale Betrachtung besonders an. Damit können die im Laufe der

Vegetationsperiode stattfindenden Veränderungen abgebildet werden. Aber auch Aufnahmen einzelner Termine lassen sich im Sinne des Flächenmonitorings wirkungsvoll einsetzen, um den Fortgang der Vegetationsentwicklung zu dokumentieren. Am günstigsten wird dabei die Analyse von Daten mit unterschiedlichen Eigenschaften sein.

Im Rahmen verschiedener Fernerkundungsprojekte, die nur zum Teil die Döberitzer Heide zum direkten Gegenstand hatten, ist eine breite Basis an Fernerkundungsdaten zusammengetragen worden, die für ein Monitoring der Landschaftsveränderungen im Untersuchungsgebiet zur Verfügung stehen (Tabelle 3.1a). Prinzipiell teilen sie sich in drei große Gruppen: Klassische Luftbilder, Multispektraldaten und Hyperspektraldaten, beide in den Aufnahmeversionen aus Flugzeug oder Satellit.

Tabelle 3.1a: Übersicht über die für die Döberitzer Heide zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten (Fett: Datensätze sind wesentliche Datengrundlage des Forschungsprojektes)

Aufnahme-system	Zeitpunkt	Gebiets-abdeckung	Spektrale Auflösung	Räumliche Auflösung	Wissenschaftlicher Untersuchungsansatz
Klassische Luftbilder					
CIR-Luftbilder	Sommer 1992 Sommer 2003 Sommer 2009	vollflächig	VNIR (3 Bänder)	50cm	Veränderung der Vegetationsbedeckung im Zeitraum seit Nutzungsende als TÜP
SW-Luftbilder	06/07/1996 18/05/1999 31/07/1999 2001	vollflächig	VIS (1 Band)	5m	Dokumentation des Gebietszustandes zum jeweiligen Flugzeitpunkt
Farb-Luftbilder	verschiedene Termine	Ausschnitte	VIS (3 Bänder)	5m	Zustandsdokumentation von Gebietsausschnitten zum jeweiligen Flugzeitpunkt
Multispektraldaten aus Flugzeug und Satellit					
DAEDALUS	02/08/2001	zwei Streifen	VNIR, SWIR1/2, TIR, (11 Bänder)	2m	Dokumentation des Gebietszustandes zum Flugzeitpunkt in besserer Auflösung
RapidEye	Je 5 bzw. 6 Aufnahmen der Vegetationsperioden 2009, 2010 und 2011	vollflächig	VNIR (5 Bänder)	6m	Häufig wiederholte Abbildung der Flächen innerhalb eines Jahres zur Beschreibung des phänologischen Verlaufes, Datenbasis der Baumartenklassifizierung
WorldView/ Quickbird	29/07/2004 19/08/2009 26/05/2010	vollflächig	Pan/ VNIR (1/3 Bänder)	1m	Zentrale Quelle flächenhafter hochaufgelöster Bildinformation in geringer spektraler Auflösung; potentielle Grundlage zur Methodenentwicklung (Fusion mit simulierten EnMAP-Daten) Datengrundlage der im SARA04-Projekt gewonnenen Biotoptypen/LRT-Kartierung
IRS	1999	vollflächig	Pan/ VNIR (3 Bänder)	5m	Dokumentation des Gebietszustandes zum Überflugzeitpunkt

Landsat-TM/ETM	35 Aufnahmen 1987 bis 2002	vollflächig	VNIR, SWIR1/2 (7 Bänder)	30m	Langfristige Gebietsentwicklung von TÜP bis 8 Jahre nach Nutzungsaufgabe 2002, fortsetzbar
Hyperspektraldaten aus Flugzeug (und Satellit)					
HyMap	07/07/2004 07/08/2008 20/08/2009	Ausschnitt vollflächig zwei Streifen mit Testflächen	450-2490 (126 Bänder)	5m	Zentrale Quelle flächenhafter Hyperspektralinformation, Methodikgrundlage Datengrundlage zur Simulation von erst nach dem Start des Satelliten gewinnbaren EnMAP-Daten Vergleich des Entwicklungszustandes der Pflanzengesellschaften zu verschiedenen Aufnahmezeitpunkten
AISA E AISA E+H AISA E+H	19/08/2009 03/10/2010 29/06/2011	vollflächig mit Testflächen (vgl.HyMAP)	400-970 nm (244 Bänder) 400-2500 nm (450 Bänder)	2m	Vergleich der Eignung für Untersuchungsansatz mit HyMAP- Daten
APEX	30/09/2011	vollflächig mit Testflächen	400-2500 nm (450 Bänder)	2m	Vergleich der Eignung für Untersuchungsansatz mit HyMAP- Daten
Chris Proba	26/07/08	vollflächig	400 – 1050 nm (18 Bänder)	20m	Vergleich des superspektralen Satellitensystems mit Flugzeugsystem AISA

Klassische CIR-Luftbilder, die aus den 90er Jahren zunächst analog, heute auch digital vorliegen, lassen bei recht hoher räumlicher Auflösung eine Veränderungsanalyse der Vegetationsverbreitung seit dem Wegfall der militärischen Nutzung zu, ohne eine Differenzierung einzelner Arten oder Artengruppen vornehmen zu können. Sie werden überwiegend genutzt, um auf analogem Weg Flächen gleicher Charakteristik (Biotoptypen) abzugrenzen und diese als GIS-Datensatz weiterzuverarbeiten.

Abbildung 3.1d zeigt einen Ausschnitt von der Großen Wüste an den drei zeitschnitten 1992, 2003 und 2009. Die Flüge wurden unter anderem im Auftrag des LUGV und der Universität Cottbus durchgeführt. Deutlich sichtbar ist der hohe Anteil an offenen Sandarealen im letzten Jahr der militärischen Nutzung 1992. Neun Jahre später waren große Flächen davon bereits von niedrigwüchsiger Vegetation bedeckt, in Teilen ist eine beträchtliche Verbuschung erkennbar. Diese Tendenz setzt sich bis zur Aufnahme von 2009 fort. Deutlich ist die in der Wüste zum Zwecke von Sukzessionsstudien erneut freigeräumte Fläche als helles Rechteck erkennbar.

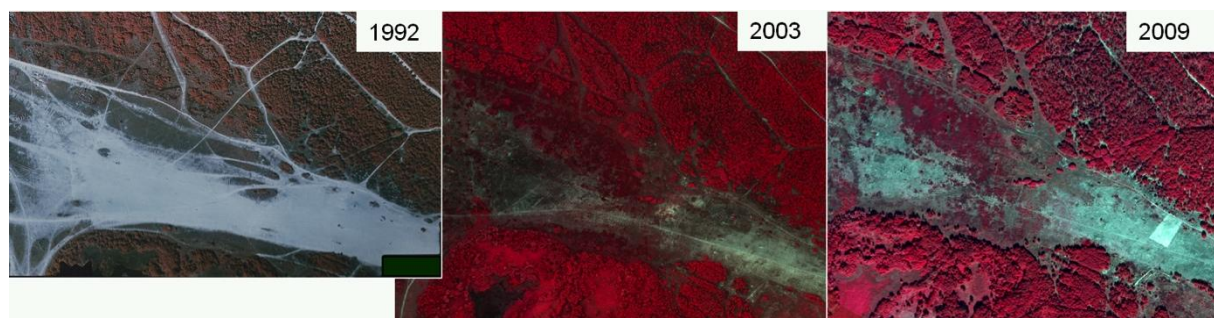


Abbildung 3.1d: CIR-Luftbildausschnitte der Großen Wüste.

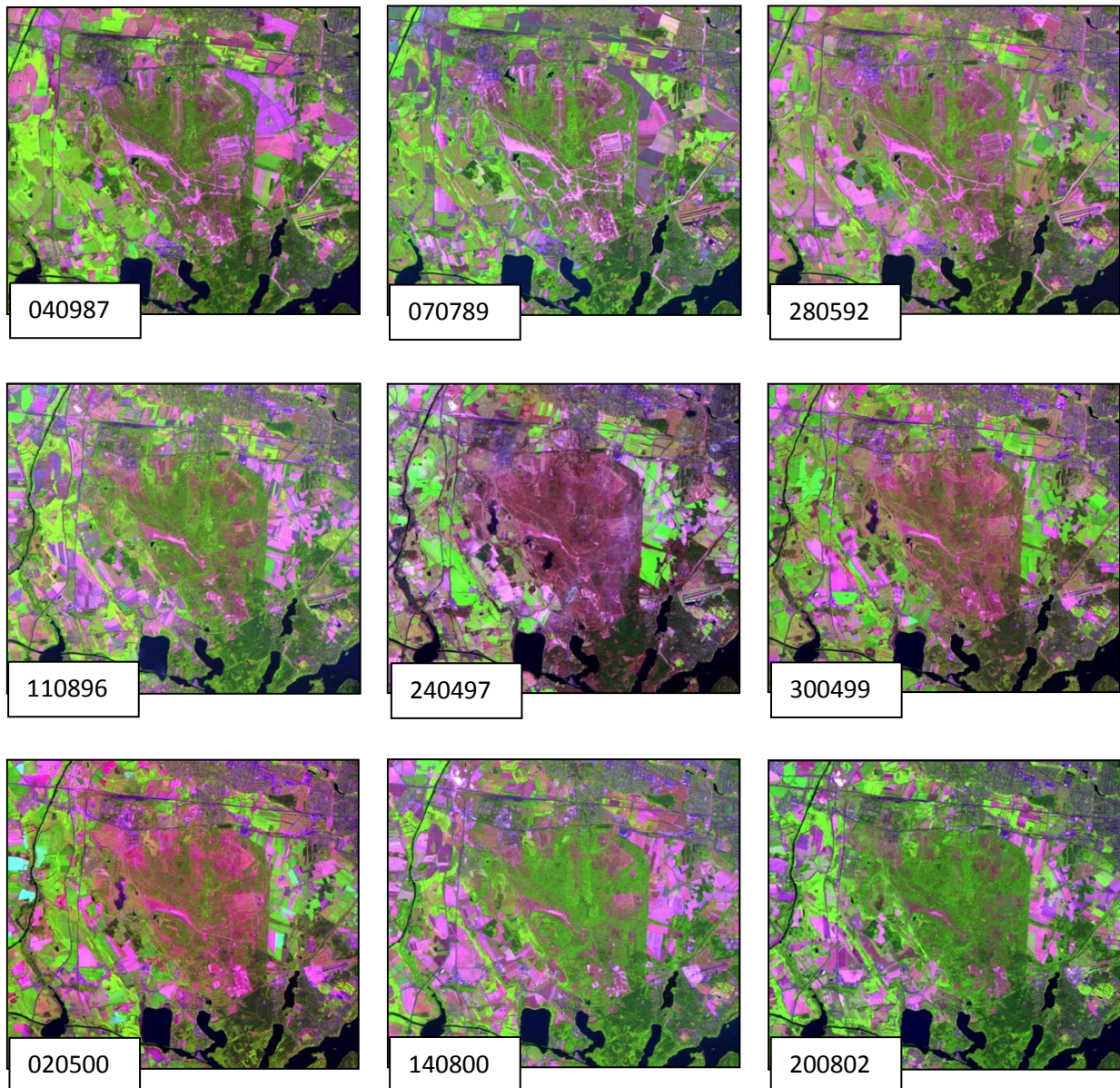


Abbildung 3.1e: Die Döberitzer Heide in einer Landsat-Zeitreihe von 1987 bis 2002 (RGB-K5,K4,K3).

Multispektralaufnahmen aus Flugzeugen und Satelliten weisen bei gleichem Sensortyp doch deutliche Unterschiede bei der Wiederholrate und Bodenauflösung auf. Wenn es, wie in Abbildung 3.1e demonstriert, gelingt, eine lange Zeitreihe aus Daten der gleichen Sensor-Reihe (hier Landsat-(E)TM) aufzubauen, dann können sowohl langfristige Prozesse der Landschaftsentwicklung als auch Phänomene der wechselnden Unterscheidbarkeit von Landschaftseinheiten im Laufe der Vegetationsperiode analysiert werden.

Die Zeitreihe von 35 Aufnahmen aus 15 Jahren (1987 bis 2002) lässt klar erkennen (Abb. 3.1e, ausgewählte Bilder), wie sich die Anteile von offenem Boden, feuchten und trockenen Gras- und Staudenfluren, Wasserflächen und Waldbereichen verändert haben. Während sich unbedeckte Areale (leere Äcker, Offenbereiche auf dem Übungsplatz) wegen der Sichtbarkeit des offenen Bodens in hellen Rosatönen zeigen, stellen sich Gewässer in Dunkelblau und die begrünte Vegetation der Äcker und

Wiesen in leuchtendem Grün dar. Die weniger dichte natürliche Vegetation auf dem Truppenübungsplatz zeigt eine Vermischung von Rosa- und Grüntönen. Gut erkennbar ist auch die Differenzierung von Laub- und Nadelwald durch den Vergleich im mittleren Bild. Während die weiten Bereiche des Laub(misch)waldes durch die fehlende Belaubung im April in dunklen Rosatönen erscheinen, lässt die dunkelgrüne Färbung durch die Benadelung der Kiefernareale im Südosten des Bildausschnittes an der Bundesstraße 2 eine eindeutige Abgrenzung von den Laubwaldbereichen zu.

Die vorgestellten Beispiele weisen nach, dass der Fundus an Fernerkundungsdaten für die Döberitzer Heide in seiner Vielfalt eine hervorragende Datenbasis für das Monitoring des Landschaftswandels in dem ehemaligen Truppenübungsplatz darstellt. Sowohl Fragen des langfristigen Wandels als auch bisherige Unbestimmtheiten über die Pflanzenentwicklung innerhalb des Jahres und die darauf beruhenden Möglichkeiten der Unterscheidung von Einheiten lassen sich an ihnen erforschen.

Erfassung der Flächenanteile der Hauptbedeckungsklassen

Zur Abschätzung der Veränderung der Flächenanteile der Hauptbedeckungsklassen wurde eine Klassifizierung der Zeitreihendaten von Landsat durchgeführt. Zur Ergänzung konnten für das Jahr 2009 RapidEye-Daten herangezogen werden. Dabei wurde für die Jahre, in denen mindestens eine Aufnahme aus der Vegetationsperiode und eine Aufnahme zur Zeit der Vegetationsruhe vorlagen, eine Trennung in 6 Klassen vorgenommen. Die spektralen und räumlichen Eigenschaften der Bilddaten ließ eine detailliertere Differenzierung von Klassen nicht zu. Während Wasserflächen, offener Boden und Nadelwald leicht abzutrennen sind, ist eine exakte Untergliederung der restlichen Vegetationseinheiten schwierig. Sie alle sind durch eine ansteigende Begrünung im Frühjahr und das Verschwinden von Chlorophyllsignalen im Spätsommer/Herbst gekennzeichnet. Diese Tatsache ist gleichzeitig eine mögliche Fehlerquelle für die Zuordnung einzelner Bildpunkte. Auch die prinzipiell unterschiedliche Feuchtesituation in der Witterung einzelner Aufnahmen und Jahre kann dazu führen, dass entgegen der Tendenz des Rückgangs von Wasser- und Feuchtflächen aufgrund der ansteigenden Gebietsevapotranspiration und sinkender Grundwasserstände in Einzelergebnissen der späten Jahre vergrößerte Flächen ausgewiesen werden. Letzte erwähnenswerte Ursache für Zuordnungsfehler zu den Klassen können einzelne Wolken und ihre Schatten sein. Obwohl die Aufnahmen weitgehend wolkenfrei sind, lässt sich nicht ausschließen, dass vereinzelt Wolken auftreten.

Tabelle 3.1b: *Prozentualer Anteile der Hauptbedeckungsklassen in der Satellitenbildanalyse der Döberitzer Heide in der Zeit von 1987 bis 2009*

	1987/88	1989	1991/92	1994	1997	1998	1999	2000	2009
Wasser	0,68	0,61	0,46	0,11	0,12	0,04	0,17	0,05	0,05
Vegetationsbedecktes Offenland (feucht)	12,55	7,50	7,50	11,80	6,80	9,90	6,10	8,50	12,17
Vegetationsbedecktes Offenland (trocken)	43,17	44,60	41,50	33,60	32,30	40,00	29,30	34,30	28,90
Offener Boden	6,01	3,07	4,90	2,90	2,50	1,90	1,50	1,50	2,10
Laubwald, Vorwald, Verbuschung	27,51	34,00	36,50	42,80	49,10	40,70	52,00	44,30	48,85
Nadelwald	10,00	10,30	9,10	8,80	9,20	7,50	11,00	11,30	9,90

Trotz dieser Unzulänglichkeiten der Daten und Ungenauigkeiten der daraus entstandenen Ergebnisse (Abb. 3.1.f) lässt sich ganz klar der Trend ablesen, dass der prozentuale Anteil der Klassen Wasser, offener Boden und vegetationsbedecktes Offenland kontinuierlich zurückgeht (Tabelle 3.1b). 1987 bis 1992 (obere Reihe), unter intensiver Nutzung als Truppenübungsplatz, sind nicht nur in der Großen Wüste, sondern auch in den Offenländern an der Hasenheide, am Plettenberg, in der Nordheide und auf den Flächen an den heutigen Standorten von Naturschutzzentrum, Schaugehege und Standortübungsplatz die Bereiche zu sehen, auf denen Befahren mit schweren Fahrzeugen und Schießübungen Vegetationsaufwuchs unterdrücken, so dass sie der Klasse des offenen Bodens (Große Wüste) oder vegetationsbedecktes Offenland (orange) zugeordnet werden. Schon bald nach Einstellung der militärischen Nutzung im Jahr 1992 beginnt die Sukzession, so dass ab den Aufnahmen der 2. Reihe (1996 bis 1999) wie im Luftbild von 2003 (Abb. 3.1d) ein sichtbarer Rückgang der unbedeckten Areale zu verzeichnen ist. Deutlich wird auch, dass die Wasser- und Feuchtflächen in ihrer Erkennbarkeit saisonal stark variieren, auf jeden Fall ihr Anteil im Laufe der Zeit zurückgeht. Das steht im Zusammenhang mit dem veränderten Landschaftswasserhaushalt durch die stärkere Verdunstung von den nun vegetationsbedeckten Flächen. Entsprechend nimmt der Anteil von Laub-/Mischwald, Vorwald und Verbuschungsflächen immer weiter zu.

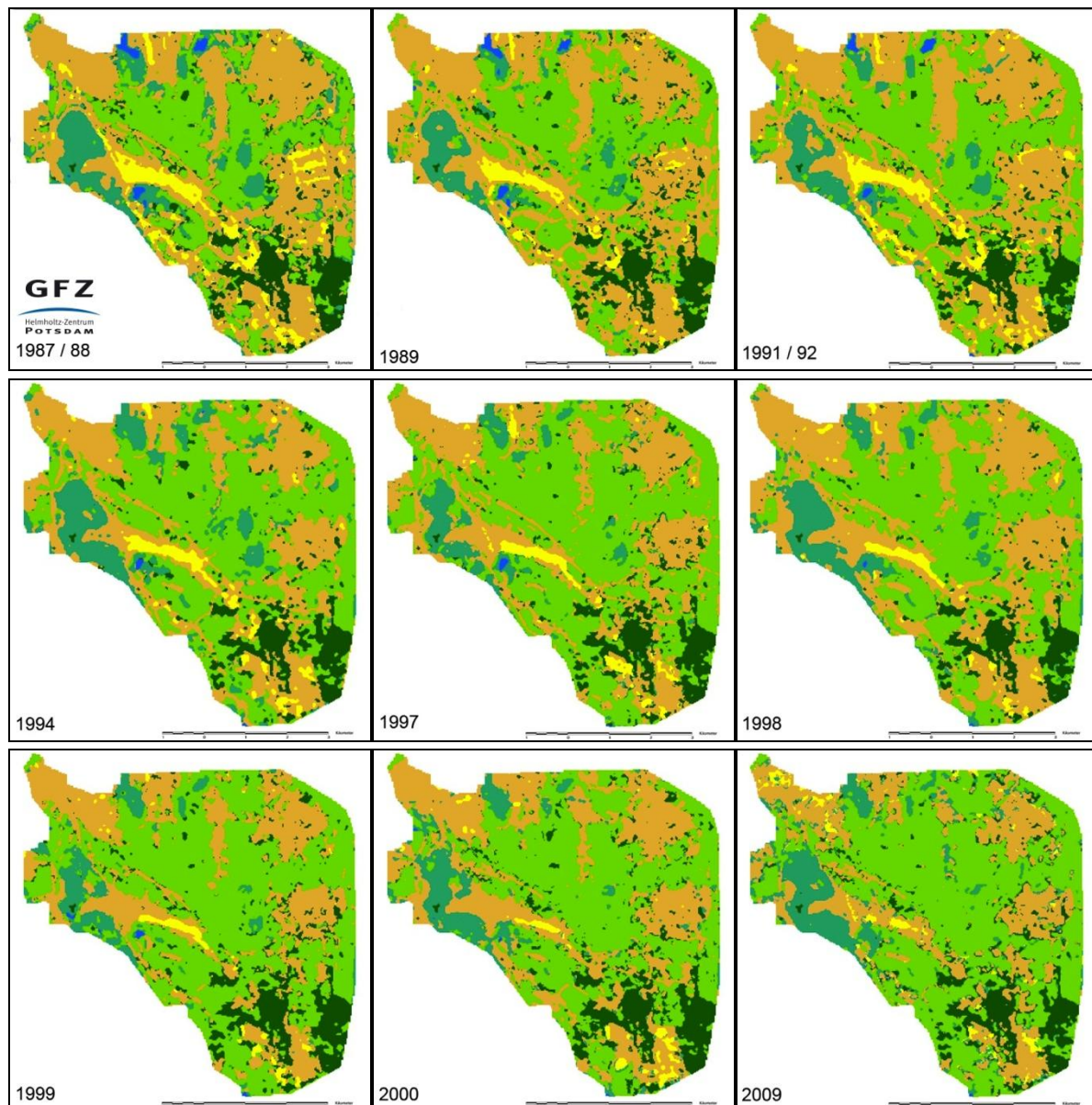
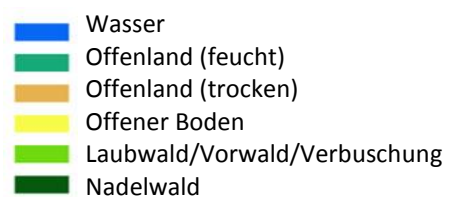


Abbildung 3.1f: Veränderung der Flächenanteile der Hauptbedeckungsklassen in der Döberitzer Heide in der Zeit von 1987 bis 2009, ermittelt aus Satellitendaten



Auswahl der Verfahren zum fernerkundlichen Monitoring der Hauptbedeckungsklassen

Vor dem Hintergrund der im Gebiet stattfindenden Veränderung der Flächenanteile der Hauptbedeckungsklassen und ihrer Bestandseigenschaften ergab sich die Notwendigkeit, unterschiedliche Vorgehensweisen für das fernerkundliche Monitoring auszuwählen. Die nachfolgende Tabelle stellt die Ursachen und Schlussfolgerungen für diese Überlegungen dar.

Tabelle 3.1c: Analyse der Gebietscharakteristik zur Ableitung der optimalen Fernerkundungsmethodik

	Langjährige Entwicklung des Anteils der Klasse im Gebiet	Homogenität des Bestandes auf Raum- und Zeitskala	Eignung der Flächen zur Vegetationskartierung und Erfassung von Spektralmerkmalen im Gelände	Prämissen für die Ableitung der Methodik
Wald- und Gehölzstrukturen	<ul style="list-style-type: none"> Anteil der Klasse nimmt durch fehlenden Nutzungsdruck langfristig zu Anteil der Flächen im Gebiet ist hoch, Bedarf nach Bearbeitung großer Datenmengen 	<ul style="list-style-type: none"> In gewachsenen ungenutzten Beständen bleibt das in Fernerkundungsdaten sichtbare Artenmuster langjährig stabil Die Art wechselt in Mischbeständen in der Dimension der Baumkronengröße, in Dominanzbeständen auf noch größerer Ebene In Jungwüchsen (Bestand lückig, kleine Kronen) ist das Fernerkundungssignal neben der Baumart sehr stark auch von den Arten der Gras- und Strauchschicht bestimmt 	<ul style="list-style-type: none"> Begehrbarkeit großer Teile des Waldbestandes ist durch Munitionsbelastung und wehrhafte Großtiere sehr stark eingeschränkt Vegetationskartierung durch Geländebegehung kann nicht die Kronenflächenanteile der im Fernerkundungsbild sichtbaren Arten erfassen Erfassung der Arten des Unterwuchses und ihrer Phänologie spielt eine Rolle in Phasen nicht geschlossenen Kronenraums Spektralmerkmale der Kronenblätter können nur unter hohem logistischen Aufwand erhoben werden 	<ul style="list-style-type: none"> Die Stabilität des Artenmusters erlaubt unter Berücksichtigung der Witterungseinflüsse des jeweiligen Jahres die Verknüpfung von Aufnahmen verschiedener Jahre zur Datenbasis Das zur Artdifferenzierung im Fernerkundungsdatensatz notwendige Spekttralsignal kann nicht aus Geländeerhebungen gewonnen werden, die Spektralinformation muß aus den Bilddaten selbst entnommen werden Bearbeitung großer Flächen erfordert Verzicht auf große Datenmengen wie bei Hyperspektraldaten, die Dimension des Artwechsels in Mischbeständen erlaubt räumlich mittel aufgelöste Daten Hyperspektraldaten liegen nicht in ausreichender zeitlicher Dichte vor, Multispektraldaten sind ausreichend differenzierend
Offenland trockener Prägung	<ul style="list-style-type: none"> Anteil der Klasse nimmt bei fehlendem Nutzungsdruck voraussichtlich ab Anteil der Fläche im Gebiet ist bedeutend 	<ul style="list-style-type: none"> Bereits auf kleiner räumlicher Skala (Quadratmeter) sind zahlreiche Arten in Mustern vertreten Witterungs- und Nutzungseinflüsse können in kurzer zeitlicher Skala zu Änderungen im Bestandsmuster führen 	<ul style="list-style-type: none"> In der Vegetationskartierung sind zur Vereinfachung und Vereinheitlichung des Vorgehens Klassen und Typen eingeführt, die jeweils breitere Skalen von in der Realität vorkommenden Mustern vereinen 	<ul style="list-style-type: none"> Kleinskalige Muster der Artengruppierung und ihre spektrale Ähnlichkeit erfordern hyperspektrale Daten zur Differenzierung Wiederholte Abbildung verbessert die Möglichkeit, Arten und Artenmuster zu differenzieren Spektralmessungen aus der Geländebegehung sind als Eingangsdaten nutzbar Gegenüber einer a-priori-Klassifizierung mit subjektiver Grenzenfestlegung ist die Ermittlung von Vegetationskontinua mit der Möglichkeit der a-posteriori-Klassifizierung vorzuziehen
Offenland feuchter Prägung	<ul style="list-style-type: none"> Anteil der Klasse nimmt durch erhöhte Gebietsverdunstung bei fehlendem Nutzungsdruck voraussichtlich ab Anteil der Fläche im Gebiet ist gering 	<ul style="list-style-type: none"> Bereits auf kleiner räumlicher Skala (Quadratmeter) sind zahlreiche Arten in Mustern vertreten Witterungs- und Nutzungseinflüsse können in kurzer zeitlicher Skala zu Änderungen im Bestandsmuster führen 	<ul style="list-style-type: none"> Begehrbarkeit der Flächen zur Kartierung und Spektralaufnahme ist gegeben außer bei hohem Wasserstand und in Phasen großer Bestandeshöhe (Phragmites) In der Vegetationskartierung sind zur Vereinfachung und Vereinheitlichung des Vorgehens Klassen und Typen eingeführt, die jeweils breitere Skalen von in der Realität vorkommenden Mustern vereinen 	<ul style="list-style-type: none"> Kleinskalige Muster der Artengruppierung und ihre spektrale Ähnlichkeit erfordern hyperspektrale Daten zur Differenzierung Wiederholte Abbildung verbessert die Möglichkeit, Arten und Artenmuster zu differenzieren Spektralmessungen aus der Geländebegehung sind weitgehend als Eingangsdaten nutzbar Gegenüber einer a-priori-Klassifizierung mit subjektiver Grenzenfestlegung ist die Ermittlung von Vegetationskontinua mit der Möglichkeit der a-posteriori-Klassifizierung vorzuziehen

Um die Anteile der drei Gruppen an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes nochmals detailliert zu erfassen, wurde eine erneute Klassifizierung – ähnlich der oben beschriebenen der Landsat-Daten – vorgenommen. Jetzt allerdings kamen räumlich höher aufgelöste Daten der RapidEye-Reihe (6.5m Pixel gegenüber 30m-Pixel bei Landsat) und es wurden 9 Aufnahmen aus den Jahren 2009 bis 2011 verwendet. Die nachfolgende Abbildung 3.1g zeigt in Rottönen die von Wald bestandenen Flächen. Einheitlich gelb gefärbt sind offene Sandbereiche, blau sind feuchte Offenländer, grün trockene Offenländer dargestellt. Es fällt auf, dass deutlich weniger vegetationsbedecktes Offenland erkannt wurde als in der Klassifizierung der 30m-Landsatdaten (vg. Tab. 3.1b). Teile der dort noch dazugehörenden Flächen werden jetzt als Wald identifiziert, zwei Einheiten, die recht ähnliche Kurvenverläufe der Vegetationsentwicklung aufweisen. Die Ursache dafür liegt in zwei Fakten: einerseits bietet die höhere räumlich Auflösung eine exaktere Möglichkeit der Abgrenzung und weniger Mischpixel, deren Klassenzuweisung schwierig ist. Andererseits wird durch die Verwendung von mehr Aufnahmen die Spezifik der Spektralkurven der verschiedenen Klassen stabiler unterscheidbar, Fehlzugeweisungen durch zu große Ähnlichkeit der Spektraleigenschaften entstehen seltener.

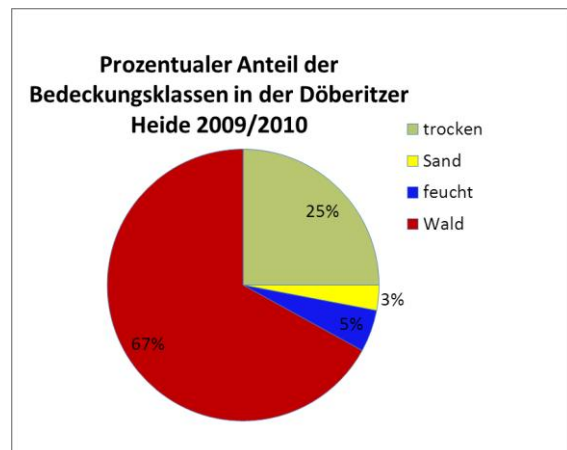
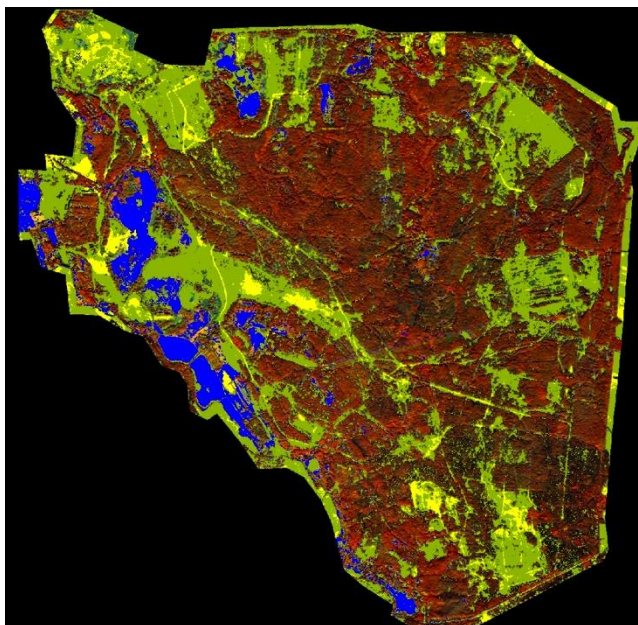


Abbildung 3.1g: *Bedeckungsklassen in der Döberitzer Heide 2009/2010.*

In der Weiterbearbeitung der Daten wurden die Gruppen Sand und trockene Offenländer zusammengefasst und für die drei großen Anteilsgruppen die letztliche Strategie für das naturschutzfachliche Monitoring festgelegt (Tabelle 3.1c).

Für die Wald- und Vorwaldareale wurde eine multitemporale Klassifizierung von RapidEye-Daten für aussagekräftige Termine hauptsächlich des Frühjahrs und Herbst an Hand von Bildspektren genutzt, um die Unterscheidung der dominierenden Baumarten vorzunehmen.

Für die Bereiche der trockenen Offenländer wurde eine Strategie zur Kombination aus ökologischer Gradientenanalyse und Hyperspektraldatenanalyse entwickelt, die auf die Vorhersage des Vegetationskontinuums zwischen den Vegetationseinheiten (und Lebensraumtypen) der Trockenstandorte ausgerichtet ist und ihren Beeinträchtigungsgrad im Sinne des FFH-Monitorings erfasst. Die Methodik wurde an zwei Hyperspektraldatensätzen verschiedener Zeitpunkte getestet, eine

Verknüpfung beider oder mehr Termine zu einer gemeinsamen Informationsnutzung konnte trotz hoher Erfolgswahrscheinlichkeit aus Zeitgründen im Rahmen des Projektes nicht mehr realisiert werden. Für die feuchten Offenlandbereiche wurde keine eigene Strategie entwickelt, diese Tatsache ist dem hohen Arbeitsaufwand für die Analyse der trockenen Standorte geschuldet. Es wird hier auf die Methodik aus dem Projekt SARA-EnMAP verwiesen (LUP, 2010), die in Kapitel 3.4 kurz beschrieben wird. Mit der Methodenkombination besteht die Möglichkeit, alle im Projektgebiet vorkommenden Vegetationseinheiten an Hand von Fernerkundungsdaten zu analysieren und damit die für das Monitoring bestehende Problematik der weitgehenden Unbegehrbarkeit der Flächen auf Grund der großflächigen Beweidung mit Megaherbivoren im weiteren Verlauf des Wildnisprojektes und der Munitionsbelastung größerer Gebiete weitgehend zu entschärfen.

Bedeckungsklasse	Fernerkundungsmethode
Veränderung der Anteile der Bedeckungsklassen	Multitemporale Multispektraldatenanalyse (9 Aufnahmen RapidEye aus dem Verlauf der Vegetationsperioden der Jahre 2009 bis 2011), Maximum-Likelihood mit den Bändern 2 bis 5
Wald: Baumarten	Multitemporale Multispektraldatenanalyse des Wald/Baum/Gehölzanteiles aus 1 (7 Aufnahmen RapidEye der Jahre 2009 bis 2011): Maximum-Likelihood mit den Bändern 1 bis 5 an Hand von Bildspektren
Feuchtflächen: Vegetationseinheiten, LRT, Beeinträchtigung	Hyperspektral-Flugzeugdaten (einterminig) in Kombination mit räumlich hochauflösenden Satellitendaten: Ensemble Klassifikation aus Maximum Likelihood, Spectral Angular Mapper, Linear Spectral Unmixing, Mixture Tuned Matched Filtering und Regressionsbaumklassifikatoren auf Basis der Spektralbibliothek, Nachfolgeklassifikation mit Bildspektren für 16 Klassen (Methodik: SARA EnMAP)
Trockene Standorte: vegetationseinheiten, LRT, Beeinträchtigung	Hyperspektral-Flugzeugdaten (einterminig): Ökologische Gradientenanalyse, Vorhersage des Vegetationskontinuums und der Beeinträchtigung aus den Informationen der Spektralbibliothek, a-posteriori Klassifikation von Vegetationseinheiten/LRT, Bewertung der LRT

Untersuchungsgebiet

Administrative Gliederung

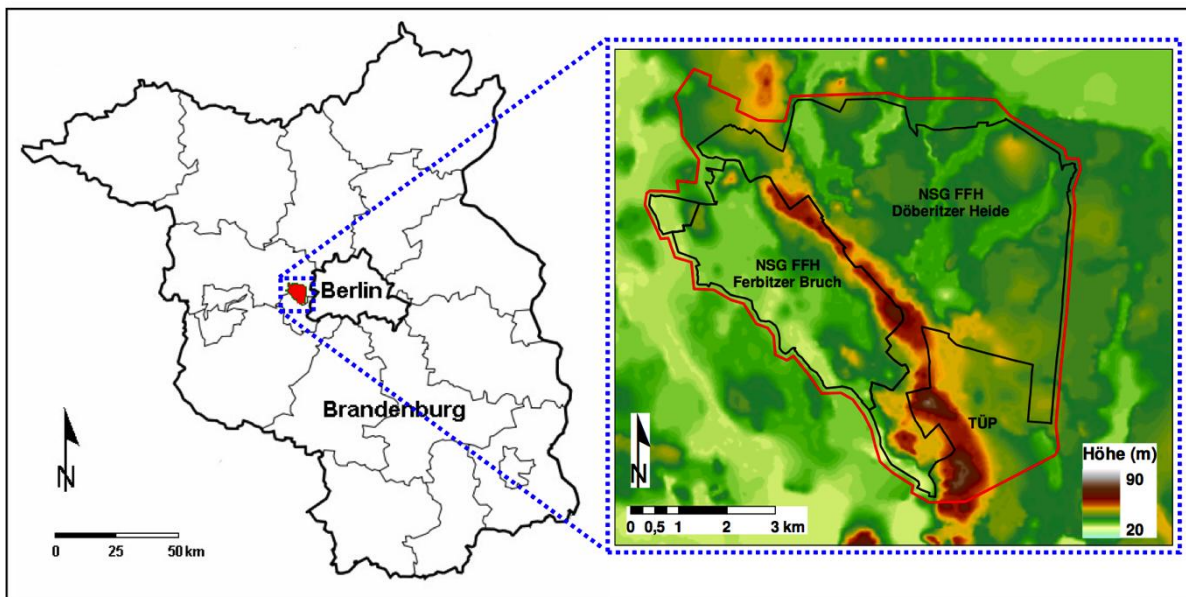


Abbildung 3.1h: Lage des Untersuchungsgebietes Döberitzer Heide in Brandenburg (Quelle: Statistisches Bundesamt), Schwarze Linie: Abgrenzung der Naturschutzgebiete (NSG), Flora-Fauna-Habitat Gebiete (FFH), Rote Linie: ehemaliger Truppenübungsplatz (TÜP) (Quelle: Landesvermessungsamt Brandenburg)

Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb der Grenzen des ehemaligen, 5206 ha großen Truppenübungsplatzes Döberitz (Abbildung 3.1h, rote Umrandung). Es ist dem brandenburgischen Landkreis Havelland zuzuordnen und liegt darin im Osten an der Grenze zu Berlin. Die Lokalisierung im östlichen Bereich des ehemaligen Truppenübungsplatzes wird durch die Festlegung der Grenzen des Naturschutzgebietes und Natura 2000 Gebietes Döberitzer Heide vorgenommen (Abbildung 3.1h, schwarze Umrandung). Im Norden wird es vom Verlauf der Bundesstraße 5 zwischen den Orten Elstal und Dallgow-Döberitz begrenzt. Die südliche Begrenzung wird zum einen durch einen angrenzenden Truppenübungsplatz der Bundeswehr, zum anderen durch die Bundesstraße 2 zwischen den Orten Krampnitz und Groß Glienicke bestimmt. An der östlichen Grenze befindet sich die Gemarkung Seeburg, im Westen grenzt die Döberitzer Heide an das Naturschutzgebiet und Natura 2000 Gebiet „Ferbitzer Bruch“, sowie zu Teilen an die Gemarkung Fahrland. Die Döberitzer Heide umfasst eine Fläche von 3415 ha und ist in das Landschaftsschutzgebiet „Königswald mit Havelseen und Seeburger Agrarlandschaft“ im Norden von Potsdam eingegliedert.

Nutzungsgeschichte

Nach dem Rückgang der Vergletscherung im ausgehenden Weichsel-Glazial vor 12000 Jahren muss die natürliche Landschaftsentwicklung im Bereich des Untersuchungsgebietes unter Berücksichtigung zweier Hypothesen betrachtet werden. Zum einen könnte das Überleben von Großherbivoren, dessen Bestände durch Bejagung vom Menschen bereits dezimiert worden waren, verantwortlich sein für die Ausprägung einer parkartigen Weidelandschaft aus einem Mosaik von Grasfluren, Dornsträuchern und Bäumen (Drücke et al., 2001; Geiser, 1992; Vera, 1999). Geschlossene Waldbestände existierten dem-

nach ausschließlich an schwer zugänglichen oder nährstoffarmen Standorten. Zum anderen wird angenommen, dass eine kontinuierliche Besiedlung von Gehölzen 5000 Jahre nach dem Ende des Pleistozäns einsetzte, und ein Verschwinden von Großherbivoren aufgrund klimatischer Ursachen die Bildung von Wald-Klimaxgesellschaften ermöglichte (Brande, 1993; Ellenberg, 1996). Eine eindeutige Bestätigung der Walddichten im frühen Holozän mittels Pollenanalysen kann aus methodischen Gründen bezweifelt werden (Küster, 1992).

Die ersten anthropogenen Einflüsse auf die Flora und Fauna im Bereich des Untersuchungsgebietes können durch eine erste Besiedlungsphase von Jäger-Sammler-Gruppen im Neolithikum vermutet werden (Wolters, 2001). Eine Erhöhung der Siedlungsdichten ist anschließend in mittel- und spätslawischer Zeit für das 9. bis 10. Jahrhundert nachgewiesen (Kersting, 2000). Ein gravierender Landschaftswandel tritt im Hochmittelalter als Folge der Konversion von Wald zu ackerbaulich genutzten Flächen in Erscheinung. Nach dem Ende dieser von einer hohen Siedlungsintensität geprägten Phase setzte ab dem 15. Jahrhundert eine von vorwiegend extensiver Schafbeweidung geprägte Wüstungsphase ein. Im 16. Jahrhundert gewann der Ackerbau erneut an Bedeutung und koexistierte mit der Viehzucht von Schafen und Rindern (Stix, 1997). Ferner wurden erste waldbauliche Maßnahmen unternommen, die abgesehen von der natürlichen Sukzession von Waldgesellschaften, zu einer Erhöhung des Waldanteils aus überwiegend Kiefern im Untersuchungsgebiet führten (Brande, 1993).

Die Nutzung der Döberitzer Heide als militärischer Übungsplatz wurde mit der Organisation preußischer Truppenübungen in den Jahren 1713 und 1753 eingeleitet. Nach der Enteignung von Gut und Dorf Döberitz im Jahr 1895 wurde unter Kaiser Wilhelm II. die Döberitzer Heide offiziell als Truppenübungsplatz ausgebaut. Die militärische Nutzung dauerte bis ins Jahr 1991, wobei ab 1945 Truppen der Sowjetarmee auf dem Gelände stationiert waren. Zu Beginn der militärischen Nutzung wurden große Waldgebiete auf dem Gelände der Döberitzer Heide abgeholzt und unter anhaltender Störwirkung von Kettenfahrzeugen oder Kampfmitteldetonationen offen gehalten. Noch bis zum Jahr 1957 wurde das Gelände durch Neubauern land- und forstwirtschaftlich genutzt, blieb jedoch in den Jahren danach für die Öffentlichkeit unzugänglich. Ein Nutzungsüberlassungsvertrag erlaubte es ab 1996 dem Naturschutzförderverein Teile der Döberitzer Heide bis zum heutigen Zeitpunkt aktiv zu gestalten und durch das Anlegen von Wanderwegen für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Es wurden erstmals Maßnahmen eingeführt, die zum Erhalt und der Pflege der entstandenen Landschaftsstruktur beitragen. Dazu zählen der Einsatz von Heidschnucken und Galloway Rindern zur Beweidung und die regelmäßige Anwendung von Entbuschungsmaßnahmen. Ab dem Jahr 2004 erwarb die Heinz Sielmann Stiftung 3600 ha des ehemaligen Truppenübungsplatzes und übertrug die Verwaltung der neu gegründeten Sielmanns Naturlandschaften gemeinnützige GmbH. Neben dem Erhalt naturschutzfachlich bedeutsamer Wildnisflächen mittels frei lebender Großherbivoren, der Erforschung diverser nachhaltiger Nutzungskonzepte, soll die Döberitzer Heide zu einem wildnisähnlichem Naherholungsgebiet entwickelt werden (Heinz Sielmann Stiftung, 2010).

Naturräumliche Ausstattung

Das Untersuchungsgebiet soll im Folgenden anhand eines Geofaktorenkomplexes beschrieben und in den Naturraum eingeordnet werden. Zu diesem Zweck werden die Geofaktoren Relief und Oberflächenform, geologische und pedologische Verhältnisse, hydrographische und hydrologische Verhältnisse, klimatische Verhältnisse und lokale floristische Ausprägungsformen betrachtet.

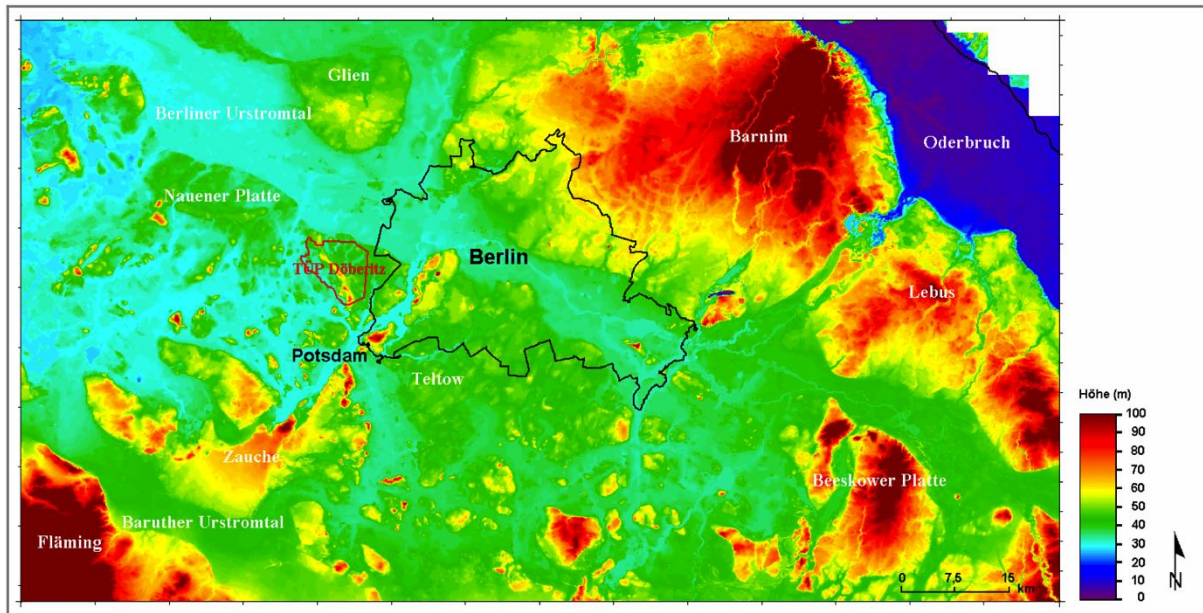


Abbildung 3.1i: Morphologische Einheiten Mittelbrandenburgs anhand eines digitalen Höhenmodells (Quelle: Landesvermessungsamt).

Der Truppenübungsplatz Döberitz befindet sich im Osten einer ebenen bis flachwelligen Grundmoränenlandschaft, der Nauenener Platte. Er ist gekennzeichnet durch eine Variation geomorphologischer Abfolgen, welche ihren Ursprung im Brandenburger Stadium des Weichsel-Glazial haben. Darin wechseln sich Grundmoränenplatten, Stauchendmoränen, Sander- und Talsandflächen, sowie Niederungen und flache Schmelzwasserrinnen in großer Formenvielfalt ab (Schoknecht, 1993, Schroeder, 2001). Bei einer mittleren Höhe des gesamten Untersuchungsgebietes von 45 Meter ü. NN, bildet der in Süd-Ost nach Nord-West verlaufende Krampnitzer Stauchmoränenkomplex mit seinen höchsten Erhebungen, dem Krampnitzberg (88,4 m) und den Hitzbergen (89,8 m), eine markante Relieffkante aus (Abbildung 3.1i). Diese wird von einer periglazialen Rinne, dem heutigen Kienfenn, durchbrochen und setzt sich in einem eisstatisch gepressten Kernkames fort (Schroeder, 2001). Im Westen dieses Höhenzuges grenzt eine flache Schmelzwasserrinne an und definiert in ihrer Ausdehnung die Grenzen des NSG- und FFH-Gebietes „Ferbitzer Bruch“. Weitere Schmelzwasserrinnen und glaziale Hohlformen befinden sich im NSG Döberitzer Heide und werden im Norden durch die Niederungen des Havelländischen Luchs innerhalb des Berliner Urstromtals begrenzt. Im Süden gehen die charakteristischen Geländeformen in die Seenlandschaft des Brandenburg-Potsdamer Havelgebiets über (Abbildung 3.1i). In der von Scholz, 1962 entworfenen naturräumlichen Gliederung Brandenburgs, ist der Truppenübungsplatz Döberitz in die naturräumliche Einheit der mittelbrandenburgischen Platten und Niederungen einzuordnen.

Die Lithologie des Untersuchungsgebietes wird durch postvariszische Sedimentgesteine der Norddeutschen Senke bestimmt. Mit einer mittleren Mächtigkeit von 150 Metern bilden pleistozäne und holozäne Sedimente den Abschluss einer sedimentären Abfolge, die bis in den geologischen Zeitabschnitt des Oberkarbons reicht (Stackebrandt & Beer, 2001).

Die pedologischen Verhältnisse werden durch die Art der glazialen, periglazialen und holozänen Sedimente, sowie den Prozessen der Bodenbildung bestimmt. Auf den mit Decksanden überlagerten Geschiebemergelflächen der Grundmoränen der Döberitzer Heide kommen unter anhydromorphen Verhältnissen vorwiegend Braunerden vor. Bei Verringerung der variablen Decksandmächtigkeit treten als

Folge von Entkalkung und gleichzeitig einsetzenden Lessivierungsprozessen Parabraunerden auf, die vereinzelt in lehmig-sandigen Bodensubstraten zu Fahlerden entwickelt sein können. Die stark sandigen Bereiche der Stauchendmoränen und Kameshügel sind durch Podsol-Braunerden, Podsole, sowie an den Oberhängen durch Regosole gekennzeichnet. In semihydromorphen Bereichen der periglazialen Rinnen erscheinen unter dem Einfluss von Staunässe in sandig-lehmigen Substraten Pseudogleye und in sandig-kiesigen Substraten glazifluviatiler Sedimente Braunerde-Gleye. In Gebieten mit lang anhaltenden Grundwasserständen in Flurnähe, wie dem Ferbitzer Bruch, kommt es zur Ausbildung von Humus-, Nass- und Anmoorgleyen (Knothe, 2001; Wolters, 2001). Diese Bodentypen sind kleinräumig vor allem in geschlossenen Kleinsenken vorhanden und verteilen sich punktuell über weite Bereiche der Grundmoräne im Untersuchungsgebiet.

Der Geofaktor Klima wird für den Bereich von Brandenburg zusammenfassend dargestellt und mittels Daten der Säkularstation Potsdam (52° 23' N. 13° 04' E. 81 m ü. NN) belegt. Nach der ökophysiologischen Klimaklassifikation von Lauer und Frankenberg, 1988 befindet sich das Untersuchungsgebiet in einem Übergangsbereich zwischen maritimen, semihumiden, warmgemäßigten Mittelbreitenklima (Ci3sh) und dessen kontinentaler Ausprägungsform (Ci2sh). Der Charakter eines maritim-kontinentalen Übergangsklimas kann aus den Windrichtungsverhältnissen in Verbindung mit der geographischen Lage in relativer Nähe zu einem Ozean abgeleitet werden. Dabei besitzen Luftströmungen aus dem Westquadranten die größte Häufigkeit (Abbildung 3.1j) und führen einerseits zu einer übernormalen Wasserdampfzufuhr im Sommer, andererseits zu gemäßigten Temperaturen im Winter. Die zweithäufigste Windrichtung fällt auf den Ostquadranten (Abbildung 3.1j) und ist für positive Abweichung von mittleren Sommertemperaturen und für negative Abweichungen von mittleren Wintertemperaturen verantwortlich (Hendl, 1996).

In den vergangenen 116 Jahren konnten Jahresmitteltemperaturen in einem Bereich von 6,9 bis 10,5 °C aufgezeichnet werden. Es ist ein deutlicher Jahresgang mit einem Maximum in den Sommermonaten ausgeprägt. Die jährlichen Niederschlagssummen können im selben Betrachtungszeitraum Werte zwischen 374 und 825 mm annehmen, wobei es ebenfalls zur Ausbildung eines Maximums im Sommer kommt (Abbildung 3.1j. Vergleicht man das Niederschlagsdiagramm des Untersuchungszeitraumes mit den langjährigen Mittelwerten, so fällt der besonders warme und niederschlagsarme Monat April auf. Des Weiteren ist die Niederschlagsmenge im Monat Mai und in den Herbstmonaten überdurchschnittlich hoch, in den Monaten August und September hingegen unterdurchschnittlich (Abbildung 3.1j).

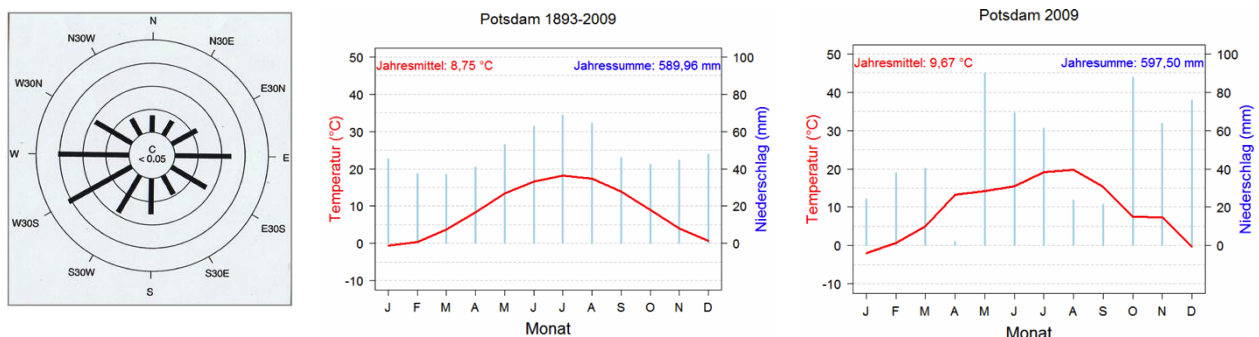


Abbildung 3.1j: links: Mittlere Windrichtungshäufigkeit aus Hendl, 1996; Einteilung in 30° Sektoren, Kreise geben nach außen in 5 % Stufen die Jahreshäufigkeiten von Windrichtungen aus Stundenmittelwerten an (Säkularstation Potsdam 1956-1970); Klimadiagramme für Potsdam für langjährige Klimazeitreihe (Mitte) und das Jahr 2009 (rechts)

Abgesehen von den makroklimatischen Verhältnissen bestimmen lokalklimatische Bedingungen das thermische Klima im Untersuchungsraum. So entstehen in den Niederungen und glazigenen Hohlformen Kaltluftammelgebiete, welche das Auftreten von Früh- und Spätfrösten begünstigen. Im Gegensatz dazu sind die südexponierten Hänge der Kamesrücken und Endmoränen strahlungsbegünstigt, so dass sich vergleichsweise hohe Temperaturen einstellen (Scholz, 1992). Bei geringer Vegetationsbedeckung auf grundwasserfernen Standorten entstehen vereinzelt trockenheiße Sandinseln, welche durch Temperaturschwankungen im Tag- Nachtrhythmus von bis zu 60 °C gekennzeichnet sind (Fürstenow & Hinrichsen, 2001).

Entsprechend den klimatischen und pedologischen Verhältnissen werden für die Döberitzer Heide als potentiell natürliche Vegetation Straußgras-Traubeneichen-Buchenwälder auf den mit Decksanden überlagerten Grundmoränenflächen angenommen. Im Norden und Osten haben sich Hainrispengras-Hainbuchen-Buchenwald-Gesellschaften angeschlossen. Die sandigen und trockenen Hochlagen der Stauchendmoräne und des Kamesrücken wurden von Straußgras-Traubeneichen-Buchenwäldern im Komplex mit Schafschwingel-Eichenwäldern bedeckt. In den vermoorten Schmelzwasserrinnen und glazigenen Hohlformen entstanden Schwarzerlen-Sumpf- und Bruchwälder im Komplex mit Schwarzerlen-Niederungswäldern. Diese können im Untersuchungsgebiet in verschiedenen Übergangsstadien zu Moorbirken-Bruchwäldern vorliegen. (Hofmann & Pommer, 2005)

Das gegenwärtige floristische Erscheinungsbild in der Döberitzer Heide kann durch das Zusammenwirken der ca. 96 Jahre währenden ausschließlichen militärischen Nutzung mit einem Mosaik variabler Standortverhältnisse erklärt werden. Als Folge von Rodungen, mechanischer Belastung durch Kettenfahrzeuge und häufiger Brände, verbunden mit windbedingten Stoffverlagerungen, konnten sich neben Mooren und Wäldern meso- bis oligotrophe Offenlandbiotop entwickeln (Schoknecht, 1992). Als Referenz für die aktuelle Biotopausstattung des NSG Döberitzer Heide dient die 2001 anhand von CIR-Luftbildauswertung und Geländeerhebungen aktualisierte Biotoptypenkartierung des Landesumweltamtes (Abbildung 3.1k), (Fürstenow & Hinrichsen, 2001).

Offene Sandflächen und Silbergrasfluren (*Corynephorretalia canescentis*) kamen 2001 nur noch vereinzelt auf kleinen, humusfreien Flächen vor, da sie von Gräsern, Sträuchern und Bäumen mit fortschreitender Sukzession verdrängt wurden. An die Silbergrasrasen schlossen sich bei einem Narbenschluss von meist über 50 % Sandtrockenrasen (*Festuco-Sedetalia*) an. Auf Störflächen und z.T. erhöhtem Nährstoffangebot breitete sich das hochwüchsige Land-Reitgras (*Calamagrostis epigejos*) aus. In enger räumlicher Nähe zu Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen existierten die Zwergstrauchheiden (*Calluno-Ulicetea*). Diese befanden sich vorwiegend auf den weiten Offenflächen im Norden und Osten der Döberitzer Heide und wurden durch die Monodominanz von Heidekraut (*Calluna vulgaris*) geprägt. Als Vorstufe zum Vorwaldstadium traten Verbuschungen und Ginsterheiden (*Betulo-Franguletea*, *Urtico-Sambucetea*) in fast allen Offenlandbiotopen saumartig entlang von Wegen, aber auch großflächig auf sandig-lehmigen Böden, in Erscheinung. Dabei kennzeichnete neben Besenginster (*Sarothamnus scoparius*) der Aufwuchs von Hängebirke (*Betula pendula*) und Zitterpappel (*Populus tremula*) die einsetzende Wiederbewaldung. Als weiterer Biototyp der Offenlandflächen waren ruderale Staudenfluren (*Chenopodietea*, *Artemisieteae*, *Agropyreteae repentis*) auf ehemaligen Fahrstrecken entwickelt, Sie waren durch Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) geprägt.

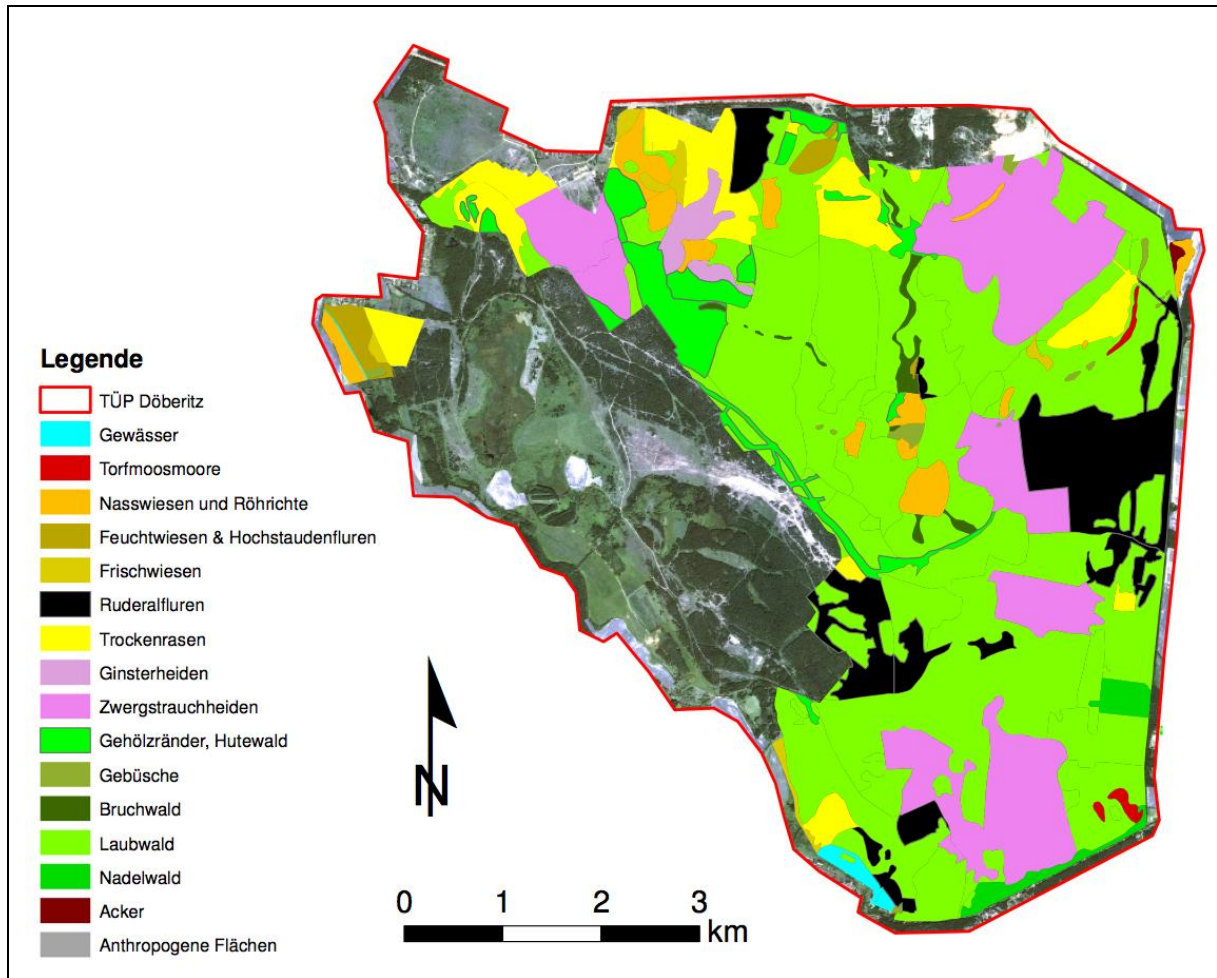


Abbildung 3.1k: Biotopausstattung des NSG Döberitzer Heide und des TüP der Bundeswehr 2001 nach Fürstenow & Hinrichsen, 2001.

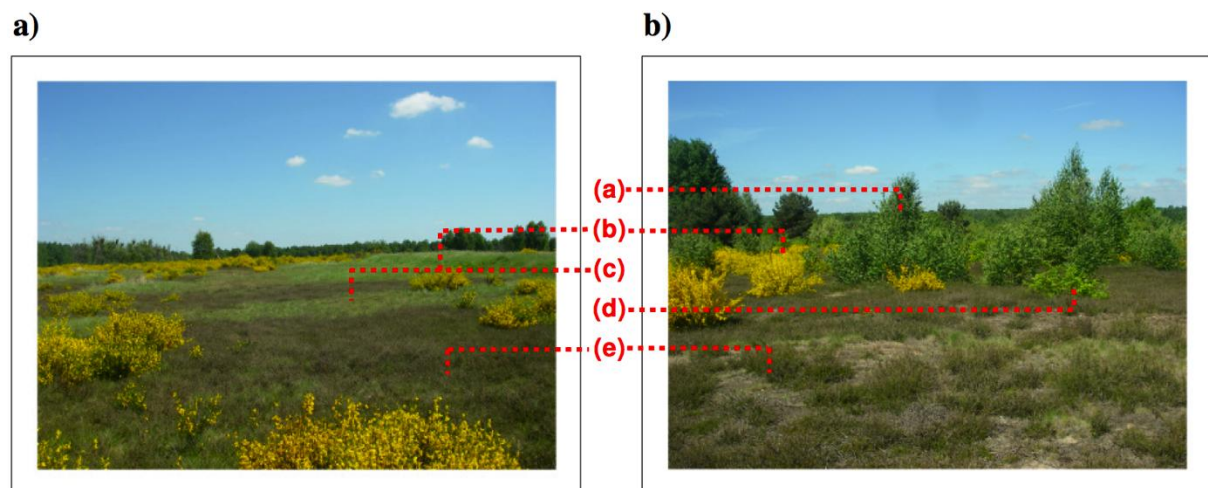


Abbildung 3.1l: Typische Ausbildung von a) Vegetationskomplexen und b) Sukzessionsabfolgen, Abk.: Rot gekennzeichnet: (a) Birke (*Betula pendula*) (b) Besenginster (*Sarothamnus scoparius*) (c) Borstgras (*Nardus stricta*) (d) Spätblühende Traubenkirsche (*Prunus serotina*) (e) Heidekraut (*Calluna vulgaris*); (Aufnahme C. Neumann, Juni 2009)

Bei den Frischwiesen (*Arrhenatheretalia*) handelte es sich zumeist um ruderal beeinflusste, kleinflächige, saumartige oder eingestreute Biotope in denen hochwüchsige Gräser und Stauden wie Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) oder Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) dominierten. Es konnten Arten der Trockenrasen beigemischt sein, eine Verbuschung durch Besenginster oder Baumaufwuchs war vorhanden.

Feuchtwiesen, feuchte Hochstaudenfluren und Pfeifengraswiesen (*Molinietalia*) traten vorwiegend im Bereich der Priorter Wiesen und in den Senken im Norden des Untersuchungsgebietes auf. Neben den (Schilf-)Röhrichten und Großseggenrieden (*Magnocaricion*) wurden die vermoorten Tieflagen mit Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*) und Moor-Birke (*Betula pubescens*) überwiegend von Bruchwäldern oder Moorwäldern (*Alnetea glutinosae*) der gekennzeichnet. Mit abnehmender Staunässe und besserer Sauerstoffversorgung kamen auch Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*), Flatter-Ulme (*Ulmus laevis*), oder Stieleiche (*Quercus robur*) hinzu. In den Senken konnte eine Ausbreitung von Weidengebüschen (*Carici-Salicetea cinerea*, *Salicetea pupureae*) beobachtet werden. Diese Zunahme von Bewaldung und Verbuschung in den Senkenbereichen kann auch auf das langsame Absinken des Grundwasserspiegels und der daraus resultierenden Mineralisierung der Torfschichten begründet werden. In der Krautschicht wurden 2001 nur noch vereinzelt Torfmoose (*Sphagnum fallax* und *Sphagnum palustre*), Scheidiges Wollgras (*Eriophorum vaginatum*) oder Rundblättriger Sonnentau (*Drosera rotundifolia*) nachgewiesen worden.

Die Wälder im Untersuchungsgebiet waren vorwiegend als bodensaure Eichen-Birkenwälder (*Quercetea robori-petraeae*) entwickelt und selten älter als 60 Jahre. Als dominante Arten traten Stieleiche (*Quercus robur*) und Hängebirke (*Betula pendula*) in Erscheinung, wobei Zitterpappel- (*Populus tremula*) als weitere Pionierbaumart und in anthropog beeinflussten Bereichen Robinie- (*Robinia pseudoacacia*) Stadien beigemischt sein konnten. Eine Besonderheit waren von Alteichen beherrschte lichte Hutewälder mit einer reich entwickelten Flechten- und Moosflora. Nadelwälder (*Vaccinio-piceetea*) kamen fast ausschließlich im Süden und Süd-Osten des Untersuchungsgebietes vor. Sie wurden von Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*) dominiert und besitzen meist eine dichte Krautschicht aus überwiegend Drahtschmiele (*Avenella flexuosa*). (Fürstenow & Hinrichsen, 2001, Schoknecht, 1992, Wolters, 2001).

Auch wenn sich die Vegetation der Döberitzer Heide zu diesen gut beschreibbaren Biotoptypen zusammenfassen lässt, so unterscheiden sich die individuelle Ausprägungen in Bezug auf Trophie, Relief, Hydrologie, Alter und Sukzessionsstadium erheblich und damit auf kleiner Skala hoch variabel.

3.2. Methodik des Monitorings von trockenen Offenlandstandorten mit Hyperspektralfernerkundung

3.2.1 Einführung in die ökologische Modellbildung

Konzepte zur Betrachtung natürlicher Vegetationsstrukturen

Zur Beschreibung von Vegetation mittels Fernerkundungsdaten in einem Monitoring ist es erforderlich die räumliche Verteilungen und Koexistenzformen von Pflanzen zu bestimmen. In der Vegetationskunde existieren hierfür zwei unterschiedliche Modellvorstellungen. Zum einen wird angenommen, dass Pflanzengesellschaften als eindeutig abgrenzbare Entitäten existieren (Modell der Pflanzensoziologie), zum anderen wird Vegetation als Kontinuum von sich graduell verändernden Artenkombinationen aufgefasst (Austin, 1986; Mucina, 1997, McIntosh, 1967). Dabei entspricht das erste Modell eher den Erfordernissen einer vom Menschen geprägten Vegetation, in der klare Nutzungsgrenzen auftreten, während das zweite Modell eher auf Naturlandschaften mit graduellen Unterschieden angepasst scheint. In Abbildung 3.2.1a kann die räumliche Verteilung unterschiedlicher Pflanzenarten beider Modelle graphisch nachvollzogen werden.

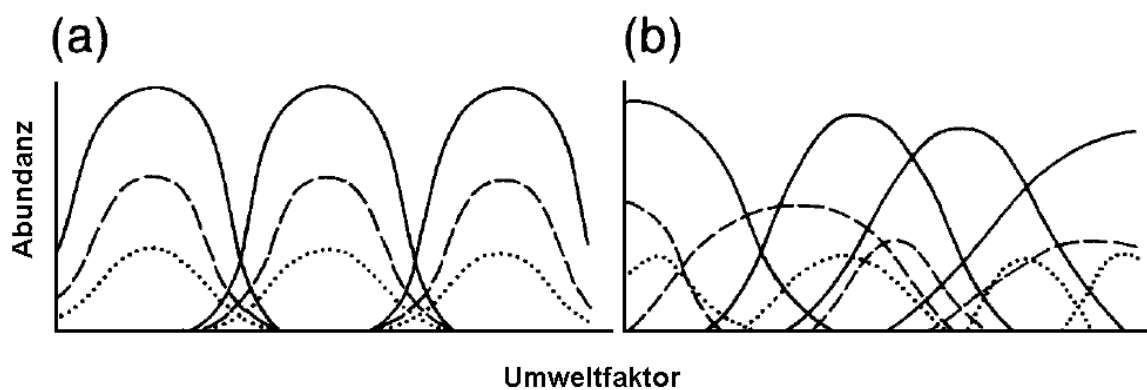


Abbildung 3.2.1a: Verteilung von Pflanzenarten entlang eines Umweltgradienten, a) Konzept der Pflanzengesellschaften, b) Konzept des Kontinuums, modifiziert nach Austin (1986)

Ein wichtiger Unterschied zwischen Modell (a) und Modell (b) besteht in der von Modell (a) getätigten a priori Annahme von diskreten Vegetationseinheiten, denen real existierende Pflanzenbestände zugeordnet werden können. Pflanzengesellschaften werden dabei durch Artenkombinationen, die innerhalb bestimmter geographischer Distanzen als konstant betrachtet werden, definiert. Die charakteristische Zusammensetzung der Arten wird in Abhängigkeit von abiotischen und biotischen Umweltfaktoren, der ökologischen Amplitude der Arten und ihrer biologischen Eigenschaften bestimmt. Die Entstehung von Grenzen wird durch die Bildung räumlicher ähnlicher Muster bestimmt und ist eine Funktion der zugrunde liegenden Landschafts- und Nutzungsstruktur (Austin & Smith, 1989).

Diese Modellvorstellung von Vegetation als einer Menge abgrenzbarer, diskreter Einheiten von Vegetationseinheiten wird neben der Pflanzensoziologie auch für die Kategorisierung von Biotoptypen oder FFH-Lebensraumtypen und ihrer Bewertung genutzt.

Entscheidender Nachteil dieser Art von Vegetationseinteilung ist ihre hierarchische Struktur verbunden mit festen Grenzen, die keinen Raum für Übergänge oder Veränderungen lassen. . Artenkombinationen

unterliegen jedoch raum-zeitlichen Variationen, die durch kontinuierliche Übergänge gekennzeichnet sind. Gerade Übergangsbereiche (Ökotope) besitzen eine große Artenvielfalt und können durch die Festlegung von homogenen Vegetationseinheiten nicht berücksichtigt werden (Palmer & White, 1994). Für eine Bewertung des Zustandes von Landschaften sind Ökotope von großem Interesse, da sich darin Entwicklungstendenzen z.B. durch eine beginnende Ausbreitung von bestimmten Pflanzenarten zeigen und somit den Übergang von einer Vegetationseinheit zu einer anderen dokumentieren.

Ein weiterer Kritikpunkt an Modell (a) besteht in der Auswahl der Skala auf der eine Pflanzengesellschaft definiert werden soll. Ökologische Prozesse besitzen fraktale Eigenschaften (Milne et al, 1992; Palmer, 1988, Phillips, 1986), so dass beliebige Betrachtungsebenen stets eine ähnlich hohe Komplexität aufweisen. Die konkrete räumliche Abgrenzung einer durch ökologische Prozesse gebildeten Pflanzengesellschaft sollte daher beliebig groß gewählt werden können. Eine apriori-Definition von Pflanzengesellschaften mit einem festgelegten kennzeichnenden Arteninventar (v.a. bei Bewertungen!) als Klassenmerkmale ist somit nicht sinnvoll, da die Verteilung von Arten eine Funktion des Abstandes eines beliebig wählbaren Raumpunktes ist (z.B. Art-Areal-Kurven, abnehmende Ähnlichkeit des Artenbestandes einer bestimmten Einheit bei zunehmender räumlicher Entfernung zueinander).

Eine Operationalisierung des Begriffes der Vegetation kann ebenfalls durch eine direkte Beschreibung der Verteilung von Arten innerhalb eines heterogenen Landschaftsgefüges erreicht werden. Zu diesem Zweck wird eine Abfolge von Arten entlang der gesamten Wirkungsbreite verschiedener Umweltgradienten aufgenommen. Es erfolgt keine a priori Definition von Vegetationseinheiten, sondern eine Beschreibung der Vegetation als real existierendes Kontinuum. Die Ausprägungsform von Vegetation wird hierbei durch die Verteilung von Arten und ihre individuellen Abundanzen im Komplex wirkender Umweltfaktoren definiert und dargestellt. Eine nachträgliche Bildung (a posteriori-Klassifikation) von Vegetationseinheiten ist dennoch möglich (Austin, 1985; Austin & Smith, 1989; Dansereau, 1968; Goodall, 1963; McIntosh, 1967).

Die ökologische Gradientenanalyse als Mittel zur Abbildung des Vegetationskontinuums

Aufgrund der Größe des Untersuchungsgebietes, der darin hoch variablen Ausprägung von Vegetationsbeständen und folglich einer komplexen Struktur von Artmustern und Artdeckungen, die das Vegetationskontinuum der Döberitzer Heide bilden, war es erforderlich ein Verfahren der Dimensionsreduktion auszuwählen, dass die spezifischen Eigenschaften des aufgenommenen Datenbestandes optimal verarbeiten kann.

Aufgrund der typische Eigenschaften von Vegetationserfassungen in Dauerbeobachtungsflächen (Datenlücken, Nicht-Linearität der Daten) wurde das Verfahren der Nichtmetrischen Multidimensionalen Skalierung (NMDS, Kruskal, 1964) verwendet.

Vegetationsaufnahmen werden im Ordinationsverfahren in einem multidimensionalen Artenraum abgebildet (Programm R, ab Version 2.12.1, Packet vegan). Zur Reduktion der Dimensionalität wird die Nähe bzw. Ähnlichkeit zwischen den Vegetationsaufnahmen anhand einer Unähnlichkeits- oder Distanzmatrix als Rangfolge von paarweisen Abständen dargestellt werden. Als Distanzmaß wurde die Bray-Curtis Distanz (Bray & Curtis, 1957) ausgewählt, die bei multivariaten ökologischen, zoologischen oder vegetationskundlichen Fragestellungen häufig verwendet wird. Nach Gleichung 1 ergibt sich das Sorensen-Ähnlichkeitsmaß C zweier Vegetationsaufnahmen i und j aus der Summe der Arten, die jeweils nur in einer Aufnahme vorkommen p_i und p_j und der Zahl gemeinsam vorkommender Arten p_{ij} :

$$C_{ij} = \frac{2 \cdot p_{ij}}{p_i + p_j} \quad (1)$$

Demnach erhalten unähnliche Vegetationsaufnahmen niedrige Werte für C , wobei die Werte innerhalb eines Wertebereiches von 0 bis 1 liegen. Nach Subtraktion der erhaltenen Werte von 1 wird das komplementäre Bray-Curtis-Unähnlichkeitsmaß extrahiert. Folglich repräsentieren hohe Werte der Unähnlichkeit große Abstände zwischen den Vegetationsaufnahmen in der multidimensionalen Ausgangsmatrix. Der resultierende Ordinationsraum repräsentiert die interne Struktur aller Vegetationsaufnahmen und aller Pflanzenarten, die in die Datenanalyse eingegangen sind aufgrund ihres Artenspektrums und wird durch die Unähnlichkeiten im aufgenommenen Arteninventar bestimmt.

Zur Analyse des Einflusses von Umweltfaktoren wurde der Ordinationsraum mit Hilfe einer Hauptkomponententransformation in Richtung der größten Variationsbreite gedreht (Clarke, 1993). Aufgrund des Fehlens von Geländemessungen abiotischer Wirkungsfaktoren (Bodenart, Wasserverfügbarkeit, Basengehalt etc.) sollten auf diese Weise abstrakte Gradienten extrahiert werden. Zu diesem Zweck wurde angenommen, dass die Anordnung von Vegetationsaufnahmen im Ordinationsraum nicht zufällig entsteht, sondern es zu einer Maximierung der Varianz von Unähnlichkeitsmerkmalen entlang der Wirkungsrichtung bestimmter Umweltgradienten kommt. Durch die Anwendung der Hauptkomponententransformation wird diese Varianzmaximierung auf die Achsen des Ordinationsraumes übertragen ohne dabei die topologischen Informationen der Vegetationsaufnahmen zu verändern. Das Ergebnis erlaubt eine Interpretation der Ordinationsachsen als Ausprägungen von abstrakten Gradienten.

3.2.2 Ablauf der Methodenentwicklung

Die nachfolgende Grafik 3.2.2a zeigt im Überblick die Arbeitsschritte zur Entwicklung der Methodik, die für die Umsetzung unteren Teil des Gesamtschemas in Kapitel 2.1 erdacht wurde. In der Übersicht gelb markierte Felder beziehen sich auf Schritte, die die spektrale Seite der Analysen betreffen, grün markiert sind die Vegetationsanalysen. Alle Schritte werden in den nachfolgenden Kapiteln ausführlich beschrieben.



Abbildung 3.2.2a: Blockdiagramm über Entwicklung und Test der Methodik zur hyperspektralen Vorhersage

3.2.3 Terrestrische Untersuchungen & Erhebungsdesign

Für die Unterscheidung der spektralen Eigenschaften von Pflanzenbeständen des Offenlandes müssen die Spektren am Boden mittels Feldspektrometer (ASD) gemessen werden. Um diese Hyperspektraldaten später halbautomatisch bestimmten Vegetationstypen, Biotoptypen oder Lebensraumtypen und ihren unterschiedlichen Ausprägungen zuordnen zu können, wurden 2008 bis 2011 eine Reihe von Probeflächen eingerichtet, in denen parallel pflanzensoziologische Vegetationsaufnahmen und Messungen des Wellenlängen-Spektrums durchgeführt wurden.

Auswahl von Dauerbeobachtungsflächen

Die Auswahl der Pflanzenbestände richtete sich nach folgenden Kriterien:

1. Erfassung von verschiedenen naturschutzfachlich relevanten Kategorien von Pflanzenbeständen
 - a. Alle relevanten Biotoptypen des Biotoptypenschlüssels von Brandenburg (LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG, 2007) mit einer Mindestfläche von 30x30m
 - b. Alle relevanten Lebensraumtypen nach FFH-Richtlinie (Ssymank et al. 1998, http://www.bfn.de/0316_bewertungsschemata.html)
 - c. Vorhandene Beeinträchtigungen von Pflanzenbeständen
Verbuschungsstadien unterschiedlicher Arten und Deckungen, artenverarmte Stadien, Dominanzbestände, ruderale Ausbildungen, offene Ausbildungen
 - d. Mischbestände und Mosaikbestände.
2. Beeinträchtigungen von Pflanzenbeständen
 - a. Vitalität der Indikatorart Heidekraut (*Calluna vulgaris*): vital, Alterstadium, vergrast
 - b. Vitalität der Indikatorart Besenginster (*Sarothamnus scoparius*): junge bzw. entbuschte Bestände, Altersstadium
 - c. Verschiedene Deckungen und Vergesellschaftungen der Indikatorart Landreitgras (*Calamagrostis epigejos*): Monodominanz, „Trockenrasen“, „Frischwiesen“¹, „Wechsel-feuchte Wiesen“¹
 - d. Verschiedene Deckungen und Vergesellschaftungen der Indikatorart Kanadische Goldrute (*Solidago canadensis*)¹
 - e. Verschiedene Verbuschungsstadien mit Birke (*Betula spec.*), Zitter-Pappel (*Populus tremula*), Weißdorn (*Crataegus spec.*), Traubenkirsche (*Prunus serotina*),
3. Nutzung multitemporaler Informationen zur Unterscheidung von Pflanzenbeständen
 - a. Erfassung verschiedener phänologischer Phasen – Frühjahr, Frühsommer, Herbst
 - b. Erfassung von Mähwiesen bzw. Mähweiden aufgrund ihres deutlich unterschiedlichen Erscheinungsbildes vor und nach einer Mahd⁹
4. Spektrale Charakterisierung von wichtigen Pflanzenarten.

⁹ Hier nicht weiter berücksichtigt, da nur Daten trockener Standorte weiter verwendet wurden.

Um einen Überblick über die Biotop- und Lebensraumtypen-Ausstattung des Gebietes zu erhalten, wurde die BBK-Biotopkartierung des FFH-Gebietes ‚Ferbitzer Bruch‘ und die CIR-Luftbilddauswertung des FFH-Gebietes ‚Döberitzer Heide‘ zu Beginn des Projektes 2008 ausgewertet und eine Gesamtliste erstellt (vgl. Anhang V1). Anschließend wurden die Biotoptypen nach ihrer Relevanz für das Gebiet gewichtet und einige Biotoptypen aus der Erfassung ausgeschlossen:

- kleinflächige oder nur selten im Gebiet vorhandene Biotoptypen
- anthropogene Sonderbereiche
- Ackerflächen
- offene Wasserflächen.

Vegetationsaufnahmen und Vegetationskartierung

Die 5x5m großen Vegetationsaufnahme­flächen wurden jeweils in homogene Bereiche der Pflanzenbestände gelegt und mit Magneten, Stäben und GPS-Koordinaten markiert. Innerhalb dieser Flächen wurde jeweils eine 1x1m-Probefläche für die Feldspektromet­ermessung ausgewiesen. Die Abundanz aller Arten einer Fläche wurde nach der erweiterten Braun-Blanquet-Skala (WILMANN 1998) erfasst und zusätzlich die Deckung der Vegetationsschichten, von offenem Boden, Streu und Kryptogamen geschätzt. Die Nomenklatur der Pflanzenarten richtet sich nach ROTHMALER (2005).

Zusätzlich konnten weitere Vegetationsaufnahmen (2x2m) und Feldspektrometerdaten dieser Gebiete genutzt werden (LUP Projekt SARA EnMAP).

Für die Überprüfung und Optimierung der Monitoring-Verfahrens (Genauigkeit des entwickelten Verfahrens) wurden kleine Ausschnitte der Döberitzer Heide als Referenz für die halbautomatische spektrale Zuordnung ausgewiesen:

- zwei 30x30m Flächen
- zwei 150 x150m Flächen und
- drei 60 x 420m Flächen.

Hier erfolgte auf der Grundlage von Schwarzweiß- und CIR-Infrarotluftbildern im Maßstab von 1:5000 eine vegetationskundliche Kartierung (vgl. Anlage V6, Zwischenbericht 2010). Biotoptyp und Lebensraumtyp wurden entsprechend des Biotoptypenschlüssels des Landes Brandenburg angesprochen (ZIMMERMANN, 2007, ZIMMERMANN 2010-2011) und das charakteristische Arteninventar jeder Einheit festgehalten. Die Flächen wurden so ausgewählt, dass sie einige der größeren Offenflächen der Döberitzer Heide mit einem möglichst weiten Spektrum an Pflanzenbeständen abdecken:

Hasenheide, Hasenheide-West, Plettenberg.

Weitere Kartierungen und Vegetationsaufnahmen in Frisch- und Feuchtwiesen des Ferbitzer Bruches sowie der Seekoppel wurden durchgeführt, aber im Rahmen dieses Projektes (noch) nicht berücksichtigt, einige dieser Daten wurden dem Projekt SARA-EnMAP zu Verfügung gestellt.

Flächige Kartierungen, die aus einem weiteren Projekt übernommen werden konnten, liegen für die Nordheide und den Rohrbecker Weg vor.

Nomenklatur und Codierung der Biotoptypen richtet sich nach der Biotoptypenliste Brandenburgs (ZIMMERMANN, 2007, überarbeitete Fassung).

Geländeaufnahmen spektraler Signaturen

Zur Bestimmung von spektralen Oberflächeneigenschaften von Vegetationsbeständen wurden im Gelände punktuelle Reflexionsspektren aufgenommen. Dazu kam das Spektroradiometer Field Spec[®] Pro der Firma Analytical Spectral Devices, Inc. zum Einsatz. Im Gegensatz zu den Bildsensoren HyMap und AISA handelt es sich bei diesen Spektrometern um nichtabbildende Systeme, die ausschließlich einen durch ihren Öffnungswinkel vorgegebenen Bereich punkthaft erfassen. Es werden dabei relative Reflexionsgrade $\rho(\lambda)$ in einem Wellenlängenbereich von 350 bis 2500 nm aufgezeichnet (ASD, 2002). Die von der Bestandoberfläche reflektierten Strahldichten werden in Beziehung zu den Strahldichten eines diffusen Reflexionsstandards gesetzt. So erhält man die absoluten Reflexionsgrade $\rho(\lambda)$ der gemessenen Oberfläche als Funktion der Wellenlänge.

Als Reflexionsstandard wurde das Material Spectralon[®] der Firma Labsphere, Inc. genutzt. Es handelt sich dabei um einen aus Polytetrafluorethylen-Körnchen gesinterten Block mit einem mittleren Hohlraumvolumen von etwa 30 bis 50 %. Die spezifischen Materialeigenschaften führen zu einem näherungsweise Lambertschen Verhalten an der Materialoberfläche, wobei in einem Wellenlängenbereich von 250 bis 2500 nm im Mittel spektrale Reflexionsgrade von über 95 % erreicht werden können (Labsphere, 2010). In einem Bereich von 400 bis 1500 nm wird die einfallende Strahlung auf einem konstanten Niveau von 99 % reflektiert. Das Spektroradiometer besteht aus drei autonom arbeitenden Modulen, welche die einfallende elektromagnetische Strahlung über optische Faserbündel auf Strahlungsfiler leiten. Diese Filter separieren unterschiedliche Wellenlängen und übergeben diese an Detektoren, die wiederum die einfallenden Strahlungsintensitäten in elektrische Impulse wandeln. Die Impulse werden anschließend mit einem 16-bit analog/digital Wandler verschlüsselt und an den Speicher eines angeschlossenen Computers übergeben. Die technischen Details der einzelnen Module können aus Tabelle 3.2.3a entnommen werden.

Tabelle 3.2.3a: Technische Spezifikation des Spektroradiometers Field Spec[®] Pro; (ASD User's Guide, 2001)

	Modul VNIR	Modul SWIR1	Modul SWIR2
Wellenlängenbereich	350 -1000 nm	1000- 1800 nm	1800 - 2000 nm
Detektorentyp	Si Photodiode	InGaAS Photodiode	InGaAs Photodiode
Messpunkt Intervall	1,4 nm	2 nm	2 nm
Rausch Äquivalent in Δ Radianz	$1,4 \cdot 10^{-9}$ W/cm ² /nm/sr bei 700 nm	$2,4 \cdot 10^{-9}$ W/cm ² /nm/sr bei 1500 nm	$8,8 \cdot 10^{-9}$ W/cm ² /nm/sr bei 2100 nm
spektrale Auflösung	3 nm bei 700 nm	10 nm bei 1500 nm	10 nm bei 2100 nm

An den Übergängen der einzelnen Module bei 1000 nm und 1800 nm kommt es aufgrund variierender Detektorsensibilitäten zu Sprüngen in der aufgezeichneten Reflexionskurve. Diese positiven oder negativen Abweichungen im Kurvenverlauf werden als *Jump* oder *Drift* bezeichnet und können durch einfache Korrekturverfahren entfernt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden sämtliche spektralen Reflexionsgrade auf das Niveau des VNIR Moduls angepasst. Zu diesem Zweck wurde der Betrag des Versatzes zwischen 1000 nm und 1001 nm auf die nachfolgenden Reflexionsgrade addiert bzw. subtrahiert.

Aufnahmeparameter

Zur repräsentativen Aufnahme der Vegetation auf den 1mx1m großen Untersuchungsflächen mittels Punktmessungen wurden 25 Flächenelemente im Sichtfeld (FOV) der Aufnahmesonde von Süd-West nach Nord-Ost abgetastet (Abbildung 3.2.3a). Die Größe des Sichtfeldes innerhalb dessen die reflektierten Strahldichten gemessen werden, wurde durch eine vorgeschaltete Optik mit einem Öffnungswinkel von 8° definiert. Aufgrund der geringen Entfernung zwischen Objekt und Sonde kann der beobachtete Ausschnitt als ebene Fläche angenommen werden. Man spricht in diesem Fall vom *Footprint* des Sensors. Die Aufnahmegeometrie entspricht demnach einem Kreiskegel, der vom Öffnungswinkel an der Sonde aufgespannt wird. Die Grundfläche des Kreiskegels kann dabei als Footprint, das Volumen als Sichtfeld und die Mittelsenkrechte als Entfernung zwischen Sonde und Objekt aufgefasst werden.

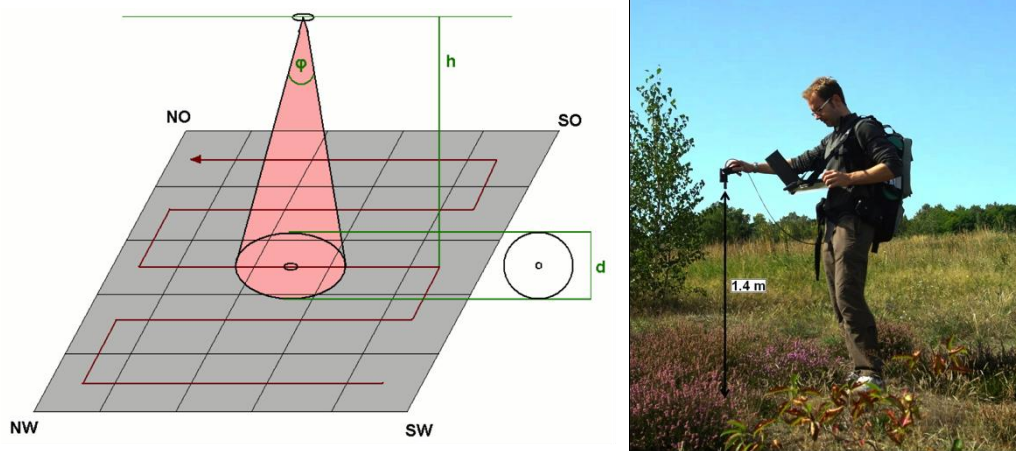


Abbildung 3.2.3a: Aufnahmegeometrie des ASD Feldspektrometers auf den Untersuchungsflächen; (Diplom Neumann) und Aufnahme einer Heidekraut-Dauermessfläche mit dem ASD-FieldSpec® Pro (Diplom Siegmann)

Bei der genutzten konstanten Beobachtungshöhe von 1,4 m über Grund ergeben sich bei den Messwerten aus dem DBU-Projekt variable Beobachtungsfächengrößen in Abhängigkeit von der Bestandshöhe. Auf Höhe der Erdoberfläche erhält das Kreisflächensegment einen Durchmesser von $\sim 0,2$ m, so dass mit 5 Messungen in 5 Reihen die gesamte Oberfläche vollständig abgetastet werden kann. Mit zunehmender Bestandshöhe verringert sich dementsprechend der Durchmesser und es entstehen größere Lücken zwischen den Einzelmessungen.

In der Messvorschrift besteht eine Einzelmessung aus dem Mittelwert von 50 aufgezeichneten Reflexionswerten innerhalb der Kreisfläche. Als repräsentative spektrale Einheit für die Untersuchungsfläche wurde anschließend ein Mittelwertspektrum aus den 25 Einzelmessungen generiert. Dabei können die Werte der spektralen Reflexionsgrade eines Wellenlängenbereichs als Realisierung einer Zufallsvariable aufgefasst werden. Diese Zufallsvariable beschreibt den Zustand des gemessenen Objekts der Vegetation als Realisierungen von spektralen Reflexionsgraden im Moment der Aufnahme. Um beschreiben zu können, wie variabel die Messungen einer Wellenlänge sind und somit ein Maß für die Unsicherheit des gewählten Erwartungswertes zu erhalten, wird das Vertrauensintervall CI eingeführt. Es wird angenommen, dass der Mittelwert in 95 % der Fälle innerhalb eines berechneten Intervalls liegen soll. Es kann

nun deutlich in den aufgezeichneten Reflexionssignaturen dargestellt werden, in welchem Bereich sich der Mittelwert der Messwerte befinden muss, um mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % den Erwartungswert ihrer Verteilungsfunktion zu entsprechen. Jede Reflexionskurve wird demnach durch einen Mittelwert und in Abhängigkeit von der Varianz der Messwerte, von einem schmalen oder weiten Vertrauensintervall gekennzeichnet (Abbildung 3.2.3b).

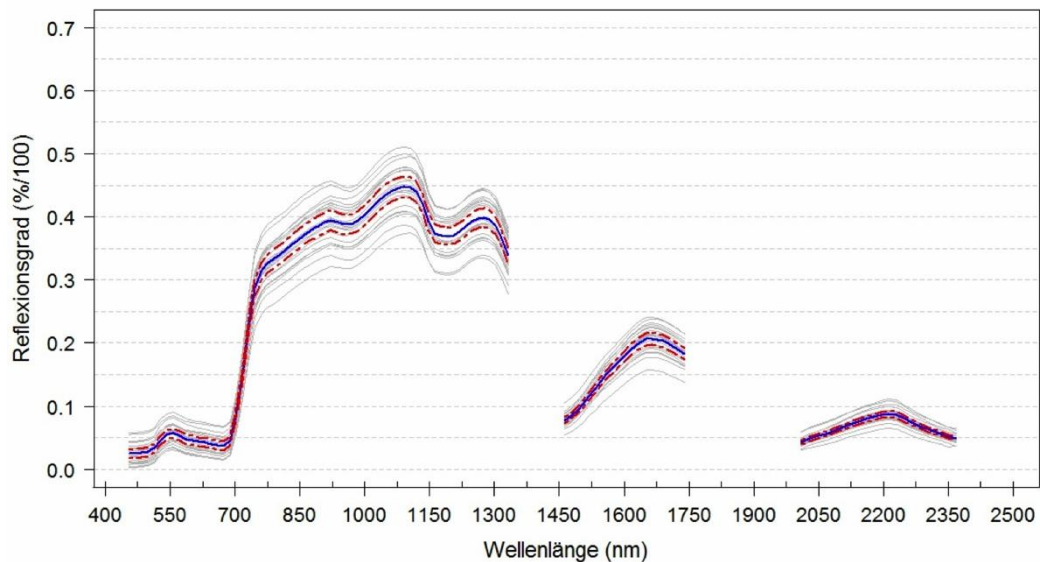


Abbildung 3.2.3b: Spektrale Reflexionsgrade einer Untersuchungsfläche, grau: Einzelmessungen, blau: Mittelwert, rot: Vertrauensintervall.

Da die Spektralmessungen an den Untersuchungsflächen die zentrale Datengrundlage für die Abbildung der Vegetationskontinua in den Offenländern darstellen, mussten umfangreiche Feldarbeiten durchgeführt werden, um an alle Punkten möglichst viele Ausprägungen der charakteristischen spektralen Signatur in Abhängigkeit von Witterung und Phänologie zur Verfügung zu haben.

Die Spektralmessungen an den Untersuchungsflächen bilden nicht nur im Projekt die Datengrundlage für die Trennung der Vegetationseinheiten, sie sollten auch für Monitoringaufgaben in Gebieten mit ähnlicher floristischer Ausstattung als Datengrundlage geeignet sein. Um sie dafür bereitzustellen, sind die aufgenommenen Spektren und die zugehörigen Metainformationen in eine Spektraldatenbank eingeflossen, die mit Projektabschluss bereitgestellt wird. Detailliertere Informationen zum Aufbau der Datenbank enthält Kapitel 3.9.3.

Abbildung 3.2.3 c zeigt eine Karte der Untersuchungsflächen, Abbildung 3.2.3d die Zeitpunkte der Spektralaufnahmen im Gelände für die Jahre 2009 bis 2011. Von den Flächen konnten im Schnitt 13 Spektrenaufzeichnungen getätigt werden, längere Pausen in der Anwendung der Feldspektrometrie gab es wegen ungünstiger Witterungsbedingungen im Juli 2009, Mitte Juli bis Ende August 2010 und Juli bis Mitte September 2011.

Für die spektrale Differenzierung der Wald und Forstbiotope wurden im Gelände homogene Baum- und Strauchartenbestände ausgewählt und als Eichflächen für die Analyse der Spektren der Satellitendaten (RapidEye) genutzt.

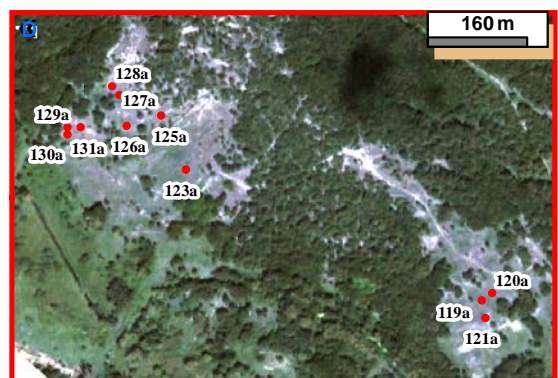
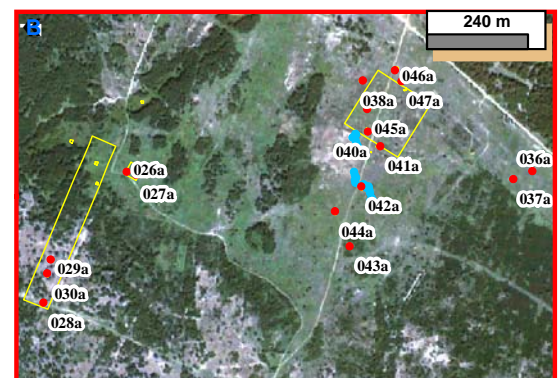
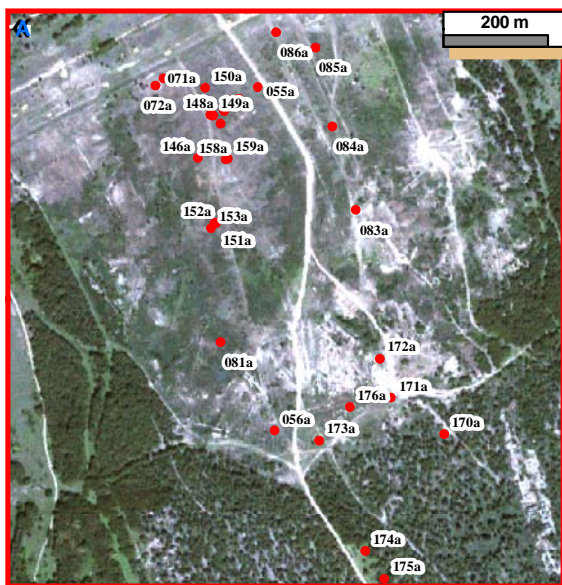
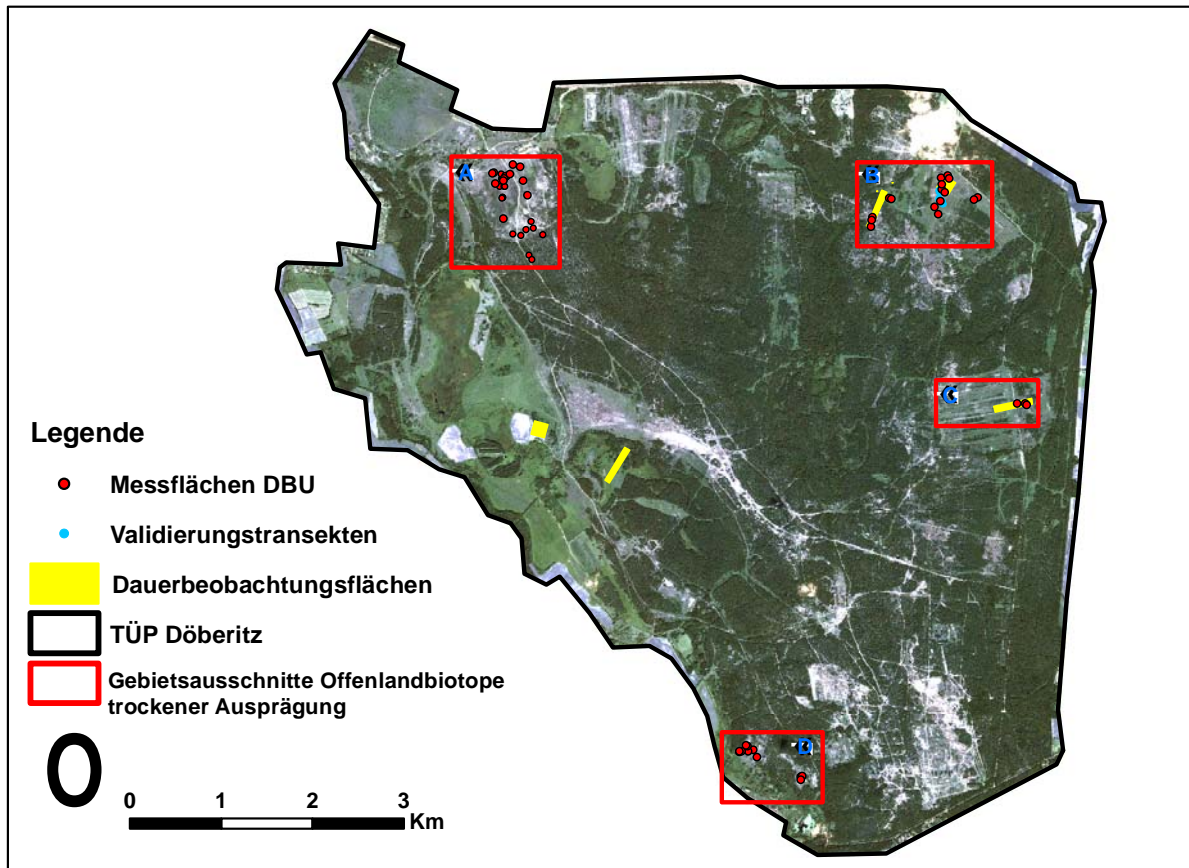


Abbildung 3.2.3c: Lage der Untersuchungsflächen für Vegetationsaufnahmen und Feldspektrometernmessungen

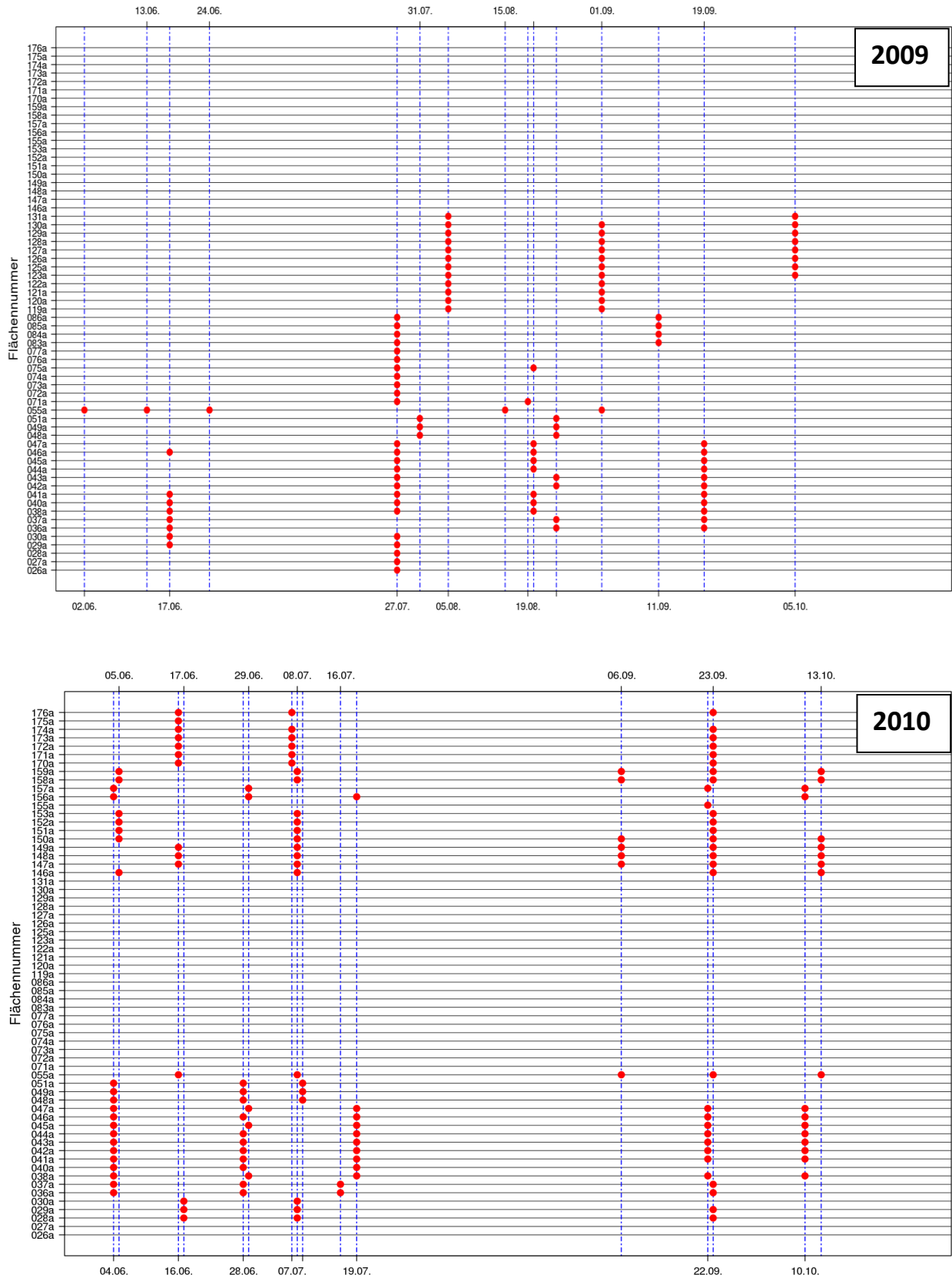


Abbildung 3.2.3d: Termine der Messungen mit Feldspektrometer in den Kampagnen vom 01.06. bis 31.10. 2009/2010

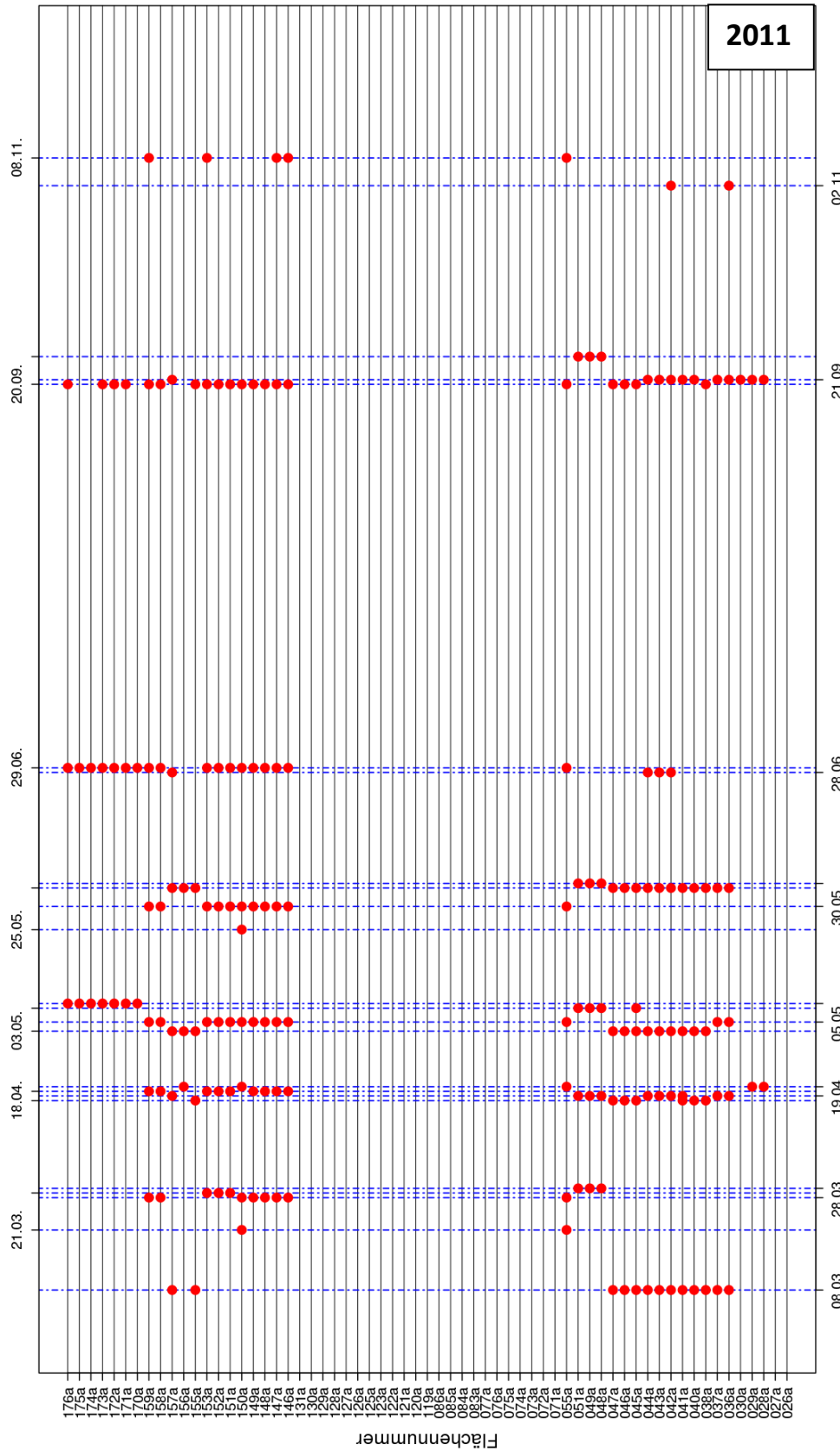


Abbildung 3.2.3e: Termine der Messungen mit Feldspektrometer in den Kampagnen vom 01.03. bis 31.11.2011

3.2.4 Datenanalyse

Auswertung der Vegetationsaufnahmen und Zuordnung zu Kartiereinheiten

Die Daten der Vegetationsaufnahmen wurden in zwei nach Feuchttestufen (feucht bis frisch und frisch bis trocken) getrennten Tabellen zusammengestellt.

Die Vegetationsaufnahmen des Offenlandes wurden in zwei getrennte FlächenxArten-Matrices (Tabellen) und entsprechende Kopfdatentabellen überführt, eine für die Pflanzenbestände der frischen bis nassen Standorte und eine für die trockenen Standorte, und durch die unvollständige Vegetationsaufnahmen (dominante und bemerkenswerte Arten) aus den Untersuchungsjahren 2007 bis 2009 der Firma LUP GmbH ergänzt.

Die Bildung von Vegetationseinheiten, erfolgte zuerst manuell. Dabei werden Arten und Vegetationsaufnahmen anhand der Ähnlichkeit und der ökologischen Aussagekraft zu charakteristischen differenzierbaren Pflanzengesellschaften bzw. Ausbildungen („Klassen“) zusammengestellt, die jeweils durch bestimmte Artengruppen gekennzeichnet sind. Diese a priori-Klassifikation wurde durch eine dreidimensionale NMS-Ordination (Non-metric Multidimensional Scaling (KRUSKAL 1964), vgl. ZWISCHENBERICHT 2008) mit der Software PC-ORD (Version 1.5) überprüft und falls nötig angepasst. Die Ordinationstechnik bietet sich bei Nichtlinearität der Daten, wie sie bei Vegetationstabellen verbreitet ist, an. Die Deckungswerte der Arten wurden log-transformiert verwendet.

Darstellung der Vegetation als kontinuierlicher Artenraum mittels Ordination

Für die weitere Verwendung und Aufbereitung der Flächen-Artenmatrix wurde eine zweite NMDS-Ordination mit allen Aufnahmen der 1x1m-Flächen durchgeführt (vgl. Kap. 3.2.1 Einführung in die Modellbildung, R ab Version 2.12.1 Paket vegan). Für den Gesamtartenraum wurden dabei 125 Vegetationsaufnahmen mit einer Fläche von 1x1 bzw. 2x2m mit 226 ausgewählten Arten über einen weiten Bereich von Standortfaktoren des gesamten Untersuchungsgebietes herangezogen. Für die Analyse des Artenraums der trockenen Offenlandstandorte wurden 43 Vegetationsaufnahmen mit 80 Arten verwendet.

Der Entwurf von Interpretationsräumen

Zur Identifikation von räumlichen Mustern in der Projektion von Artenspektren (der Vegetationsaufnahmen in einem Ordinationsraum und deren räumliche explizite Übertragung auf digitale Bilddaten ist es erforderlich visuell interpretierbare Merkmale zu generieren. Diese Merkmale wurden anhand der Ausprägung und Verteilung der Arten und Artdeckungen (gleiches gilt für Strukturparameter) im Vegetationskontinuum (anstelle diskreter Vegetationseinheiten) aus kontinuierlichen Farbräumen erstellt (Schmidtlein et al., 2007) (vgl. Absatz 3.3.1).

3-dimensionaler Farbraum

Der 3-dimensionale Arten-Flächen-Ordinationsraum wird mittels additiven Farbmischung in einem 3-dimensionalen RGB-Raum übertragen. Darin können sämtliche für das menschliche Auge wahrnehmbaren Farbreize durch eine Mischung von Rot, Grün und Blau erzeugt werden. Die Intensitäten dieser drei Farbwerte werden dabei in einem Farbtupel $F = \{R,G,B\}$ zu einem Farbton kombiniert. Man kann das Farbtupel als Koordinaten eines 3-dimensionalen Farbraumes auffassen, dessen Achsen die Intensitäten der drei Hauptfarben kennzeichnen. Die Position innerhalb dieses Raumes bestimmt durch Angabe der Koordinaten eindeutig einen Farbton. In Abbildung 3.2.4a werden beispielhaft die Regenbogenfarben als Positionen des RGB-Farbraumes dargestellt. Der Grauwertgradient stellt den Intensitätsverlauf an den drei Farbachsen dar. Die spezifische Anordnung innerhalb des Ordinationsraumes (=Score-Werte) wird dabei in den RGB-Farbraum projiziert, so dass den Positionen eindeutige Farbwerte zugewiesen werden können. Nahe liegende Objekte werden darin durch ähnliche Farbtöne gekennzeichnet, wobei die Übergänge zwischen den Farbtönen kontinuierlich verlaufen.

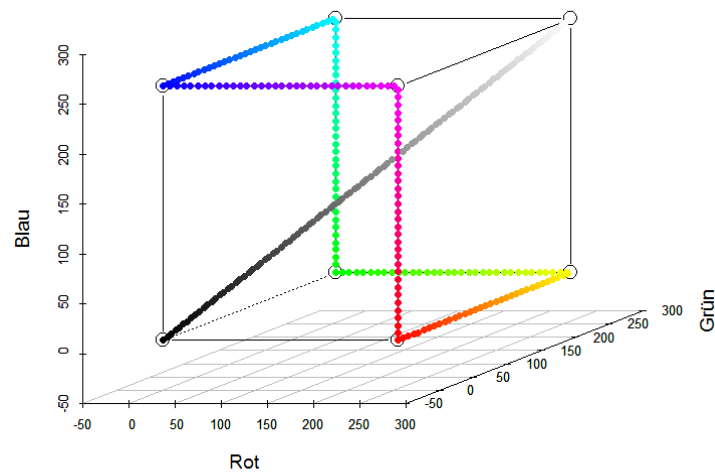


Abbildung 3.2.4.a: Lage der Regenbogenfarben und des Verlaufs von Farbintensitäten als Grauwertgradient in einem 3-dimensionalen RGB-Farbraum (modifizierter R-Code nach Mächler, 2009)

2-dimensionaler Farbraum

Der 2-dimensionalen Farbraum, der den 2-dimensionale Arten-Flächen-Ordinationsraum abbildet, wird ebenfalls durch additive Farbmischung erzeugt. Darin werden die Farbübergänge durch die Anordnung von festgelegten Hauptfarben bestimmt. Den definierten Hauptfarben werden dabei Positionen auf einer Fläche (=Score-Werte) zugeordnet. Mit zunehmender Entfernung vom Farbzentrum wird anschließend der Übergang zu den benachbarten Hauptfarben interpoliert. In dieser Arbeit wurde ein 2-dimensionaler Farbraum aus 5 Hauptfarben gebildet (Abbildung 3.2.4b). Diese Farben sind Grün, Blau, Hellblau, Rot und Orange (in Richtung steigender Abszissen Werte) und sind auf skalierten Achsen zwischen 0 und 1 aufgetragen.

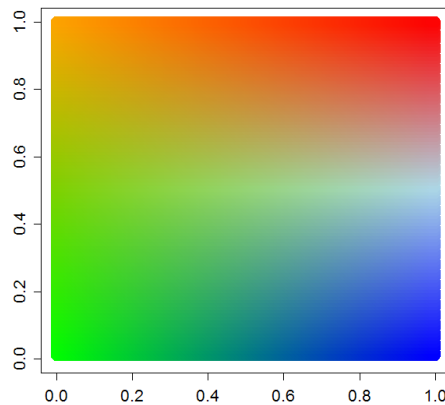


Abbildung 3.2.4b: Darstellung additiver Farbübergänge eines aus 5 Farben bestehenden 2-dimensionalen Farbraumes.

Es können insgesamt weniger Farbtöne durch die Koordinatenwerte spezifiziert werden. Dennoch lassen sich Farbübergänge zwischen den Hauptfarben durch markante Mischungen (z.B. Rosa, Dunkelblau) eindeutig darstellen. Der gesamte Farbraum dient als Grundlage zur räumlich expliziten Abbildung des Vegetationskontinuums durch eine stochastische Modellierung der Ordinations- bzw. Farbraumachsen (Feilhauer et al., 2011, Weiss, 2008) (Absatz 3.2.5; Absatz 3.3.2).

3.2.5 Spektrale Modellbildung

Spektrale Differenzierung natürlicher Vegetationsstrukturen

Die spektrale Differenzierung von Vegetation wird gegenwärtig hauptsächlich nach dem Prinzip der Klassifizierung durchgeführt. Dabei wird analog zum Vegetationsmodell (a) (Abbildung 3.2.5a) a priori der auf Untersuchungsflächen im Gelände erhobene Pflanzenbestand zu Vegetationseinheiten aggregiert. Diese können sowohl nach bekannten natürlichen Einheiten (Pflanzengesellschaften, Biotoptypen), nach Nutzungsarten (z.B. Mahd, Beweidung, Brachen, Acker) als auch nach naturschutzrechtlichen Kategorien (§32-Biotop, FFH-LRT) eingeteilt werden. Jeder Untersuchungsfläche A wird demnach eine Kategorie n aus der Gesamtmenge an definierten Kategorien M zugewiesen und mit einem Farbwert zur visuellen Interpretation räumlicher Vorhersagen versehen (Abbildung 3.2.5a links). Je nach Klassifizierungsalgorithmus werden die Untersuchungsflächen anschließend in einem n-dimensionalen spektralen Merkmalsraum überführt und nach ihrer Position mittels einer Trennfunktion in die jeweiligen Kategorien vorhergesagt. Die Vorhersage ist dabei schwellenwertbasiert, so dass in Abhängigkeit von einem statistischen Kriterium der Trennfunktion mit Hilfe der spektralen Merkmale entschieden werden muss, zu welcher Kategorie/Klasse ein unbekanntes Bildelement gehört. In Abbildung 3.2.5a links ist die schwellenwertbasierte Farbfestlegung für die Untersuchungsflächen in einem Artenraum dargestellt. In einer räumlichen Vorhersage basierend auf digitalen Rasterdaten können demnach ausschließlich die bereits festgelegten Farbwerte abgebildet werden. Für eine Abbildung verschiedener Eigenschaften von Vegetation müssen im Vorfeld jeder Klassifikation neue Grenzwerte und Farbuweisungen getätigt werden. Gerade in oligohemeroben, also naturnahen Lebensräumen, welche durch das Auftreten von kontinuierlichen Übergängen gekennzeichnet sind, können solche Methodiken der spektralen Differenzierung die Aufgaben für ein Monitoring von Vegetationsdynamiken nur unzureichend erfüllen. Zum einen sind na-

türliche Vegetationsstrukturen durch eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität gekennzeichnet. Es existieren keine klar abgrenzbaren Vegetationseinheiten. Vielmehr liegen Vegetationsbestände in Form von Durchdringungskomplexen vor, in denen individuelle Artabundanzen eine Vielzahl von Übergangszonen zwischen homogenen Bereichen schaffen. Zum anderen bestimmen spektrale und somit floristische Zustände von Bildelementen real existierende Ausprägungsformen von Vegetationsformation, welche zur Beurteilung zukünftiger Entwicklungstendenzen und –potentiale wichtige Bewertungsgrundlagen liefern. Eine spektrale Erfassung und räumliche Abbildung von individuellen Vegetationszuständen kann demzufolge zur frühzeitigen Identifikation von Beeinträchtigungen im Zuge naturschutzfachlicher Bewertungsverfahren, sowie zum Verständnis ökologischer Prozessabläufe dienlich sein. Im Sinne einer spektralen Differenzierung und räumlichen Vorhersage können ebenfalls kontinuierliche Farbgradienten zur Interpretation von Pflanzenbeständen auf Untersuchungsflächen herangezogen werden (Abbildung 3.2.5a rechts).

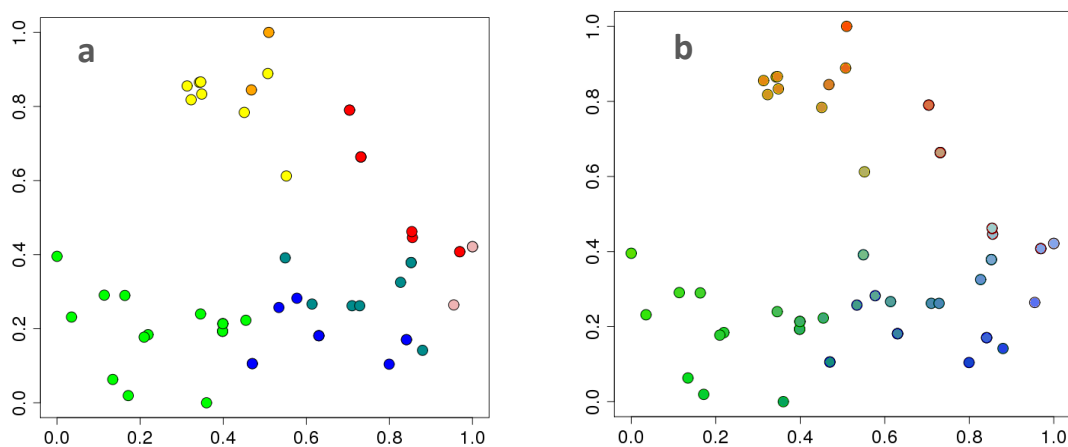


Abbildung 3.2.5a: Vergleich von a) Klassifizierung und b) Ordination mittels Farbwerten als Interpretationsmerkmale von Vegetationszuständen.

Dabei wird jeder Untersuchungsfläche und auch jedem Bildelement einer Vorhersage ein individueller Farbwert in Abhängigkeit von der Position im Artenraum zugeordnet. Auf diese Weise lassen sich floristische Gradienten durch Farbmischungen und Zustandsinformationen durch die Topologie des Artenraums kennzeichnen. Im Unterschied zu herkömmlichen Klassifizierungsverfahren, welche schwellenwertbasiert den Kategorien einzelne Farben zuweisen wird in Abbildung 2.3-b der gesamte Raum, also die Achsenmetrik mit Hilfe der spektralen Variablen modelliert. Die so modellierte Vegetation wird als Vegetationskontinuum bezeichnet und als solches mit den Methodiken der ökologischen Gradientenanalyse erzeugt. Dieser Ansatz wird im vorliegenden Abschlussbericht zum Monitoring von Vegetationsbeständen weiterentwickelt.

Analyse der hierarchischen spektralen Differenzierbarkeit von Vegetationsstrukturen

Als Voraussetzung einer spektralen Modellierung des Artraumes von Vegetationsaufnahmen muss nachgewiesen werden, dass sich die auf den Untersuchungsflächen kartierten Vegetationsbestände eindeutig in ihren spektralen Signaturen unterscheiden. Nur mittels dieser Überprüfung kann ein begründeter empirischer Zusammenhang zwischen Arträumen und spektralen Informationen angenommen werden. Als Mittel zur Verifikation dieser Arbeitshypothese wurde ein statistischer Signifikanztest, die sogenann-

te Mann-Whitney-U-Statistik (Mann & Whitney, 1947; Wilcoxon, 1945) ausgewählt. Die Grundlage hierfür bildet eine Beschreibung der im Gelände gemessenen spektralen Reflexionsgrade als Zufallsvariable. Hierbei bilden die Einzelmessungen eines jeden Vegetationsbestandes Stichprobenwerte spektraler Signaturen, die sich um den Mittelwert als Schätzer charakteristischer Wellenlängenverteilung verteilen. Es gilt herauszufinden, ob die spektrale Varianz dieser Mittelwerte innerhalb einer Vegetationseinheit geringer ist als zu anderen Vegetationseinheiten. Bei Verifikation der daraus ableitbaren Hypothese kann eine statistisch signifikante Unterscheidung von Untersuchungsflächen mittels aufgenommen Feldspektren und daraus abgeleiteten Variablen nachgewiesen werden. Das Ziel der angewandten Trennbarkeitstests ist folglich die Identifikation von Unterscheidungsmöglichkeiten und -merkmalen auf der Ebene von Vegetationseinheiten. Zusätzlich kann die Eignung ausgewählter spektraler Variablen sowie bestimmter Bereiche im Gesamtspektrum in Abhängigkeit von phänologischen Phasen und Aggregierungsleveln überprüft werden. Das für die Einzelspektren der Feldmessungen angewandte Verfahren zur Verifikation der Arbeitshypothese ist in Abbildung 3.2.5b dargestellt.

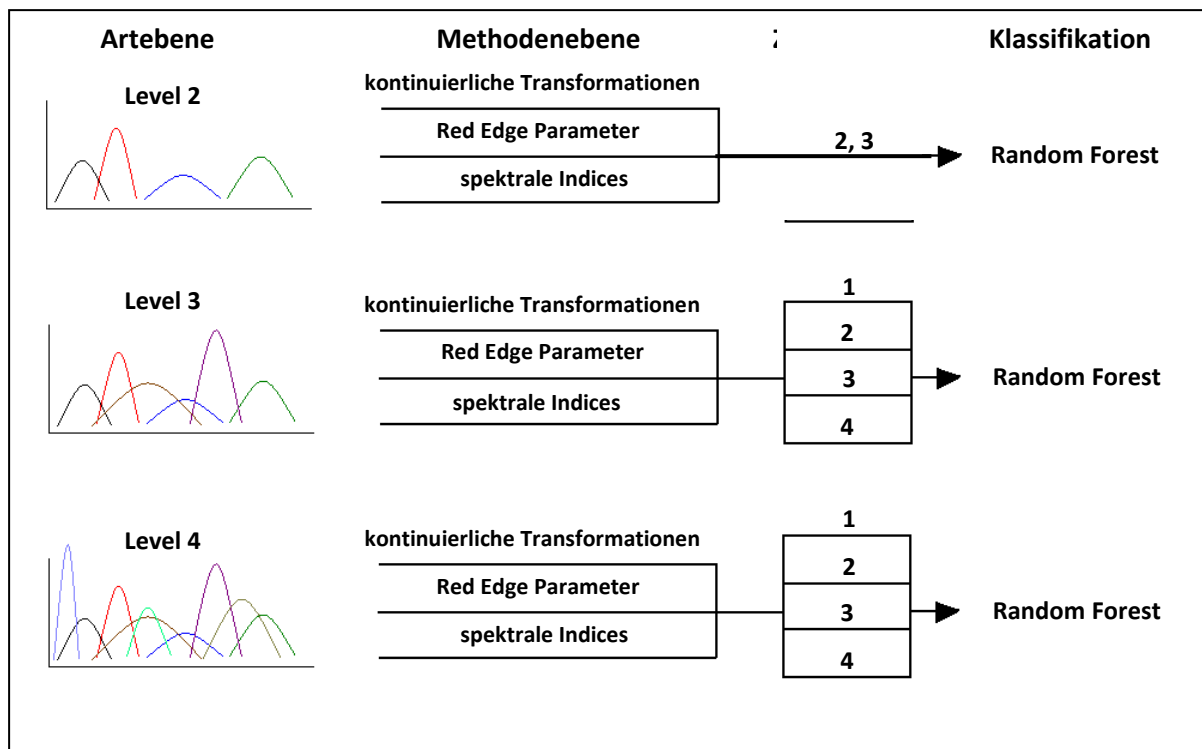


Abbildung 3.2.5b: methodische Vorgehensweise zur Identifikation von spektralen Unterscheidungsmöglichkeiten und -merkmalen von Vegetationseinheiten unterschiedlicher Aggregierungsstufen

Es ist anzumerken, dass für die Aggregation zu Vegetationseinheiten keine vorgegebenen Kategorien ausgewählt, sondern nach Expertenwissen eingeteilte hierarchische Ebenen gebildet worden sind. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine zielgerichtete Ausrichtung der Trennbarkeitstests auf die Identifikation von Einheiten bis zu welchen eine Unterscheidung anhand spektraler Merkmale noch möglich ist. So zum Beispiel können in Level 1 die trockenen von den feuchten Standorten eindeutig nach spektralen Merkmalen getrennt werden. Im Gegensatz dazu überlagert sich im Aggregierungslevel 4 eine Vielzahl von spektralen Merkmalen, da darin ähnlich Lebensräume und Artenkombinationen zusammengefasst sind. Die Trennung erfolgt hier auf Ebene von Einzelarten oder typischen Ausprägungsformen einzelner

Pflanzengesellschaften (vgl. Anhang V3.1 & V3.2). Im Ergebnis wurde für jede Untersuchungsfläche das Signifikanzniveau abgeleiteter spektraler Variablen zu verschiedenen Aufnahmezeiten und in jedem Aggregierungslevel berechnet. Anhand dieser Beträge lässt sich für sämtliche paarweisen Vergleiche von in einer Spektralbibliothek vorliegenden Untersuchungsflächen die spektrale Unterscheidbarkeit bewerten sowie signifikante Methoden und Zeitpunkte zur Erstellung empirischer Zusammenhänge extrahieren. Die methodische Vorgehensweise wurde als Grundlage sämtlicher in diesem Bericht enthaltenen hyperspektralen Verfahren auf die Gesamtheit der Untersuchungsflächen angewandt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird darauf verzichtet, die Einzelbeträge bewertbarer Signifikanzniveaus darzustellen. Vielmehr wird ein konkretes Anwendungsbeispiel in Kapitel 3.3.8 zur Verdeutlichung der räumlichen Vorhersagbarkeit der vorgenommen hierarchischen Aggregation aufgeführt.

Spektrale Vorhersage des Vegetationskontinuums

Das Ergebnis der in Kapitel 3.2.1 beschriebenen NMDS ist die Verteilung der Vegetationsaufnahmen in einem 3-dimensionalen kartesischen Koordinatensystem. Die Topologie der Vegetationsaufnahmen wird durch drei metrischen Variablen (Score Werte) an den Achsen eindeutig beschrieben. Es wurde versucht mit den aus den spektralen Reflexionsgraden der Feldmessungen abgeleiteten spektralen Variablen jede dieser Achsen mittels eines stochastischen Modellansatzes vorherzusagen. Als vorherzusagende Zielgröße werden die Score Werte, als Prädiktorvariablen die spektralen Reflexionsgrade und die aus ihnen abgeleiteten Zusatzinformationen verwendet.

Da hyperspektrale Sensorsysteme aus einer Vielzahl an aufgezeichneten Wellenlängenbereichen, aus denen zusätzlich spektrale Variablen abgeleitet werden, bestehen musste zur Bildung des stochastischen Modells ein Verfahren aus den multiplen linearen Regressionsanalysen gewählt werden, das die Integration einer großen Anzahl von Prädiktorvariablen ermöglicht. Das geeignete Verfahren zur Analyse von korrelierten und ihrer Anzahl die Beobachtungen der Zielgröße übersteigenden Prädiktorvariablen ist die Partial Least Squares Regression (PLS) (Wold, 1966). Hierbei wird der Informationsgehalt der Prädiktorvariablen mit Hilfe einer Hauptkomponententransformation in wenigen Hauptkomponenten durch eine Linearkombination der Ausgangsdaten unter Berücksichtigung der Kovarianzstruktur zwischen Zielgröße und Prädiktorgrößen konzentriert. Anschließend werden die Score Werte der Hauptkomponenten mit den Beobachtungen der Zielgröße korreliert. Diese Vorgehensweise ist eine anerkannte Form der Datenanalyse zur Vorhersage von empirischen Zusammenhängen in einem weiten Bereich naturwissenschaftlicher Forschung (Kessler, 2007, Mevik & Wehrens, 2007) und wurde bereits auf Anwendungsmöglichkeiten in der hyperspektralen Fernerkundung untersucht (Cho et al., 2007; Hansen & Schjoerring, 2003; Schmidtlein & Sassins, 2004; Weiss, 2008).

Ausgangspunkt ist der einfache Modelansatz einer linearen Regressionsanalyse (Gleichung 2).

$$Y = X \cdot B + E \quad (2)$$

Die Matrix Y besteht aus n Beobachtungen von m Zielgrößen, die Matrix X aus n Beobachtungen von p Prädiktorvariablen und die Matrix B aus p Regressionskoeffizienten für die Zielgrößen m. Da es sich um einen empirischen Zusammenhang handelt muss ein Fehlerterm E in den Dimensionen von Y angegeben werden. Zur Maximierung der erklärten Varianz einer Hauptkomponente mussten die spektralen Variablen, die als Prädiktorvariablen definiert sind durch Subtraktion ihrer Mittelwerte mittenzentriert, und durch Division durch ihre Standardabweichung skaliert werden. Die Matrix Y besteht in dieser Arbeit

jeweils aus einer NMDS Achse als Zielgröße und beinhaltet 43 Beobachtungen, so dass die Matrizen Y und B als Vektoren \vec{y} und \vec{b} aufgefasst werden können. In diesem speziellen Fall spricht man von der PLS1-Regression. Zur Vorhersage des Zielvektors unter Bestimmung des Regressionsvektors wird die Matrix der Prädiktorvariablen X über eine Hauptkomponententransformation in eine Score- und eine Loadings Matrix W zerlegt (Gleichung 3).

$$T = X \cdot W \quad (4)$$

Die Modellgleichung aus den Scores der transformierten PLS-Komponenten kann anschließend mit einem klassischen OLS-Verfahren kalibriert werden, wobei der Fehlerterm E minimiert werden soll (Gleichung 5).

$$\vec{y} = T \cdot \vec{b} + E \quad (5)$$

Zur Vorhersage der Achsenwerte einer NMDS müssen die Regressionskoeffizienten für jede extrahierte spektrale Variable bekannt sein. Dies wird nach dem Einsetzen von Gleichung 6.2 in Gleichung 6.3 ermöglicht. Die gewichteten Regressionskoeffizienten \vec{r} ergeben sich demnach aus dem Produkt der Loadings und den Regressionskoeffizienten aus dem kalibrierten Modell der Score Werte (Gleichungen 6 & 7).

$$\vec{y} = X \cdot W \cdot \vec{b} + E \quad (6)$$

$$\vec{r} = W \cdot \vec{b}; \vec{y} = X \cdot \vec{r} + E \quad (7)$$

Aufgrund der geringen Stichprobengröße für die Zielgröße (Anzahl von Vegetationsaufnahmen = 43) wurde die Modelgüte mittels einer internen Validierung geschätzt. Das dafür verwendete Gütekriterium ist der Root Mean Squared Error of Prediction (RMSEP). Er wird über die Summen der Abweichungsquadrate zwischen den vorhergesagten d und den tatsächlichen Score-Werten r für die Anzahl von Vergleichspaaren i einer Stichprobe n berechnet (Gleichung 8).

$$RMSEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (r_i - p_i)^2}{n}} \quad (8)$$

Er wurde in Abhängigkeit von der Anzahl verwendeter Hauptkomponenten für jedes Modell separat geschätzt. Das angewandte Validierungsverfahren ist ein Spezialfall der Kreuzvalidierung. Dabei wird der gesamte Datensatz n in k gleichgroße Testdatensätze der Größe r aufgeteilt. Die Trainingsdatensätze zur Bildung von k Submodellen bestehen aus $n-r$ Elementen. Für jedes Submodell wird anschließend der RMSEP berechnet und über alle Submodelle gemittelt. In der vorliegenden Arbeit wurde die Größe der Trainings- bzw. Testdatensätze nach $k = n$ bestimmt. Folglich wird für jeden Datenwert eine Kreuzvalidierung für 43 Submodelle vorgenommen. Das verwendete Verfahren wird als Full-Leave-One-Out Kreuzvalidierung bezeichnet und ermöglicht für eine beliebige Anzahl an Hauptkomponenten einen RMSEP als Gütekriterium der Modellanpassung zu berechnen (Efron & Tibshiranie, 1993). Es wurde dementsprechend das Modell als Ergebnismodell für die Vorhersage der Score Werte einer Achse des

Ordinationsraumes trockener Offenlandstandorte gewählt, bei dessen Anzahl an Hauptkomponenten eine Minimierung des RMSPE erreicht werden konnte.

Obwohl die PLS-Regression die Intergration sämtlicher Prädiktorvariablen zur Modellschätzung aufgrund der Erzeugung neuer unkorrelierter Variablen, erlaubt, wird in einigen Arbeiten die Selektion eines geeigneten Kalibrierbereiches empfohlen (Kessler, 2007, Schmidlein, 2007). Auch in dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass bei Ausschluss der Prädiktorvariablen mit einem nur geringen Einfluss auf die Zielgröße, die Modellgüte erheblich verbessert werden kann. Aus diesem Grund wurden die gewichteten Regressionskoeffizienten nach ihrem Erklärungsgehalt unterteilt und ein neues Modell mit den Prädiktorvariablen gebildet, dessen Erklärungsgehalt sich über einem Wert von 50 % befindet. Der Erklärungsgehalt definiert sich nach den relativen Höhen der gewichteten Regressionskoeffizienten, da sowohl die Loadings als auch die aus den Scores kalibrierten Regressionskoeffizienten den Beitrag einer spektralen Variable an der Ausprägung der Zielgröße bestimmen.

Zur Vorhersage der NMDS Achsen wurden die spektralen Reflexionsgrade (blau), die Absorptionstiefennormalisierung (grün) und die 1. Savitzky-Golay Ableitung (rot) über den gesamten Bereich des aufgezeichneten Wellenlängenspektrums als Prädiktorvariablen definiert. Zusätzlich wurden sämtliche Vegetationsindices (schwarz) und vier statistische Momente, sowie der Ordinatenwert der größten Steigung (braun) im Bereich des Red Edge als Prädiktorvariablen genutzt. Die Wellenlänge am maximalen Steigungspunkt konnte aufgrund geringer Varianz nicht als Prädiktorvariable hinzugefügt werden. Insgesamt wurden im ersten Schritt der PLS Regression 399 spektrale Variablen als Prädiktoren der Zielgröße verwendet. Sie entstammen von Feldmessungen auf 43 Untersuchungsflächen, dessen zeitlicher Abstand zum Termin der Akquisition des digitalen HyMap Bilddatensatzes am 20.08.2009 minimal ist. Um einen vollständigen Datensatz zu erhalten musste zu diesem Zweck ein Teil der Aufnahmen aus einem größeren zeitlichen Abstand am 27.07.2009 bezogen werden.

Das Ergebnis im ersten Durchlauf der multiplen Regressionsanalyse ist für die durch die unterschiedliche Farbgebung gekennzeichneten spektralen Variablen dargestellt (Abbildung 3.2.5c). Die gewichteten Regressionskoeffizienten (Gleichung 6.5) sind dabei auf Werte von ± 100 % standardisiert. Einen absoluten Wert von 100 % erreichen die Variablen mit dem größten Informationsgehalt zur Vorhersage der Zielgröße. Je näher eine Variable zum Wert 0 ist, desto geringer ist ihr Einfluss auf die Ausprägung der Score-Werte der Ordinationsachsen 1 bis 3. Zur Kalibrierung des Ergebnismodells wurden diejenigen Prädiktorvariablen ausgewählt, die einen Schwellenwert von 50 bzw. -50 % über-/unterschreiten und somit den größten gewichteten Regressionskoeffizienten am nächsten liegen.

Für die erste NMDS Achse wurden 29, für die zweite 36 und für die dritte ebenfalls 36 Prädiktorvariablen ausgewählt. Dabei besitzen die spektralen Variablen und Red Edge Parameter den größten Erklärungsgehalt. Aus den spektralen Reflexionsgraden wurde keine spektrale Variable extrahiert. Die Absorptionstiefennormalisierung liefert für alle Achsen die größte Anzahl von Prädiktorvariablen im sichtbaren Bereich der aufgezeichneten Strahlung. Die Spektren der 1. Savitzky-Golay Ableitung werden bevorzugt im Bereich des kurzwelligen Infrarots als Prädiktoren ausgewählt.

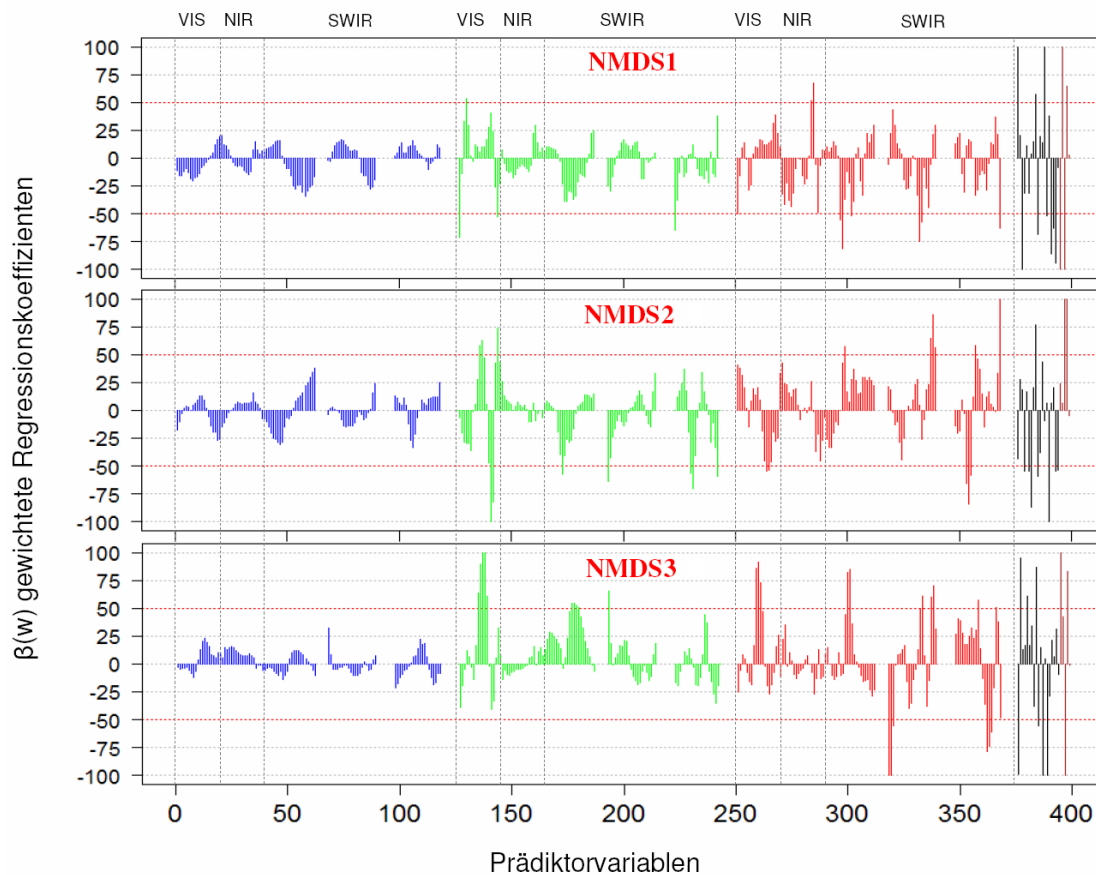


Abbildung 3.2.5c: Standardisierte, gewichtete Regressionskoeffizienten der Prädiktorvariablen; blau: spektrale Reflexionsgrad, grün: Absorptionstiefennormalisierung, rot: 1. Savitzky-Golay Ableitung, schwarz: Vegetationsindices, braun: Red Edge Parameter, rote gestrichelte Linie: Schwellenwert für den Erklärungsgehalt einer Variable.

Die Ergebnisse der Modellanpassung sind in Tabelle 3.2.5a zusammengefasst. Es ist zu erkennen, dass sowohl für die mittlere Fehlerabweichung (RMSEP), als auch für das Bestimmtheitsmaß (R^2_{val}) bei der Kalibrierung mit einem reduzierten Satz von Prädiktorvariablen (grüne Schattierung) bessere Ergebnisse erzielt werden konnten. Die beste Anpassung mit einem Bestimmtheitsmaß in der internen Validierung von $R^2_{\text{val}} = 0,90$ und einer mittleren Fehlerabweichung von RMSEP = 8,4 % konnte für die erste Ordinationsachse erreicht werden. Für die zweite Ordinationsachse ergibt sich im reduzierten Ansatz ein R^2_{val} von 0,75 und eine mittlerer Fehlerabweichung von 12,7 %. Diese auf der internen Validierung basierenden Ergebnisse der Modelgüte wurden als Hinweis für die Anwendbarkeit der Modellgleichungen im Hinblick auf die Vorhersage unbekannter Datensätze akzeptiert. Sie liegen innerhalb eines Wertebereiches, der bei einer Modellkalibrierung mit Bildspektren erreicht werden konnte (Weiß, 2008). Die Ergebnisse der Modelgüte für die dritte Ordinationsachse deuten auf eine nur geringe Korrelation zwischen den spektralen Variablen und der Anordnung von Vegetationsaufnahmen. Mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,33 und einer mittleren Fehlerabweichung von 21 % wird der Gradient entlang der dritten Ordinationsachse mit einer großen Unsicherheit vom stochastischen Modell vorhergesagt. Die Streudiagramme zwischen beobachteten und vorhergesagten Scores der Ordinationsachsen sind in Abbildung 3.2.5d dargestellt. Sämtliche Modelle können mit der angegebenen Zahl an PLS-Komponenten (PC) im reduzierten Ansatz die ursprüngliche Varianz der Score Werte zu über 88 % reproduzieren. Dennoch

muss die erhöhte Anzahl an ausgewählten PLS-Komponenten im reduzierten Ansatz kritisch betrachtet werden. Zwar konnten bei der gegebenen Anzahl die Vorhersagefehler in der internen Validierung minimiert werden, dennoch könnte die im Vergleich zu ähnlichen Arbeiten (Weiß, 2008, Schmidlein, 2007) besonders hohe Anzahl an PLS-Komponenten ein Hinweis auf Überanpassung der Modellgleichungen sein. Die Auswirkungen einer solchen eventuellen Überanpassung bei Anwendung der Modellgleichungen auf unbekannte Daten können im vorhergesagten Wertebereich analysiert werden. Befinden sich die Vorhersagen im Wertebereich der Ausgangsgrößen können sie als zuverlässig anerkannt werden. Im Gegensatz dazu wird eine instabile Modellgleichung bei Überanpassung, sensibel auf unbekannte Eingangsgrößen reagieren und diese in der Linearkombination von gewichteten Prädiktorvariablen zu falschen Vorhersagen vereinen.

Tabelle 3.2.5a: Ergebnisse der PLS Regressionsmodellierung der Achsen NMDS 1 bis 3 für a) vollständigen und b) reduzierten Satz von Prädiktorenvariablen; min/max: Wertebereich der Scores an den Ordinationsachsen, Variablen: Anzahl von Prädiktorvariablen, PC: Anzahl von PLS-Komponenten, erkl.Var.: Anteil erklärter Varianz für die Ordinationsachse, RMSEP: Root Mean Squared Error of Prediction, R^2_{val} : Bestimmtheitsmaß der internen Validierung

	NMSD1-a	NMSD1-b	NMSD2-a	NMSD2-b	NMSD3-a	NMSD3-b
min	-1,42		-0,93		-0,91	
max	1,33		1,36		1,15	
Variablen	399	29	399	36	399	36
PC	5	9	3	10	14	15
erkl.Var.	81,25	96,87	14,74	88,15	91,76	92,4
RMSEP	0,30	0,23	0,43	0,29	0,45	0,42
R^2_{val}	0,79	0,90	0,60	0,75	0,23	0,33

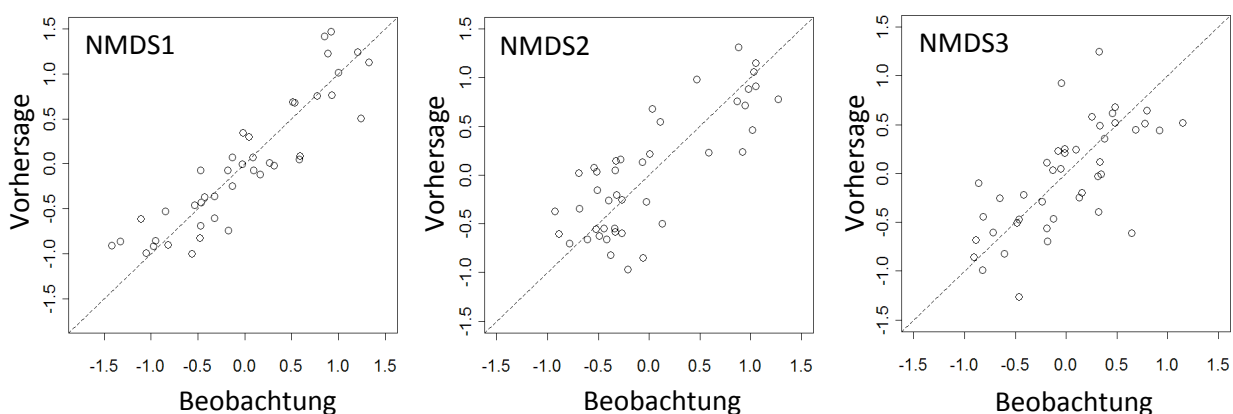


Abbildung 3.2.5d: Streudiagramme zwischen beobachteten Score Werten und den aus der Leave-On-Out Kreuzvalidierung vorhergesagten Werten.

Prozessierung hyperspektraler Bilddaten zur räumlichen Abbildung des Vegetationskontinuums

Neben der Aufzeichnung spektraler Merkmale auf den Untersuchungsflächen mittels eines mobilen Feldspektrometers, konnten am 20.08.2009 zwei Bildstreifen des HyMap Sensors für große Bereiche des Untersuchungsgebietes bezogen werden. Der HyMap Sensor ist ein flugzeuggetragenes hyperspektrales Fernerkundungssystem der Firma HyVista. Unter den spezifischen Aufnahmebedingungen zum Zeitpunkt der Befliegung wurden in einem Wellenlängenbereich von 450 nm bis 2500 nm Strahldichten in 125 Kanälen aufgezeichnet. Dabei wird die reflektierte Solarstrahlung mit einem rotierenden Spiegel orthogonal zur Flugrichtung auf vier Detektoren mit jeweils 32 Kanälen geleitet und anschließend unter Verwendung spektraler und radiometrischer Kalibrierungsparameter, die während des Überflugs zeitgleich aufgezeichnet werden, in 16-bit Strahldichten am Sensor aufgezeichnet (Cocks et al., 1998; Weide, 2010). Der opto-mechanische Strahlungstransfer zum Sensor ermöglicht unter den gegebenen Bahnparametern eine Aufzeichnung von 512 Bildelementen pro Flugzeile mit einer Bodenauflösung von 4 m. Eine ausführliche Zusammenstellung der Flugbedingungen und den daraus resultierenden Eigenschaften der gespeicherten Hyperspektraldaten ist in Tabelle 3.2.5b gegeben.

Tabelle 3.2.5b: Technische Spezifikation des HyMap Datensatzes; nach Cocks et al., 1998 und Weide, 2009

	Streifen 1	Streifen 2
Aufnahmezeit (UTC)	09:15 - 09:20	09:25-09:30
mittlere Flughöhe	2182 m	2177 m
Flugrichtung	S nach N	N nach S
Öffnungswinkel (FOV)	61,3 ° (512 Pixel)	
Abtastbreite pro Zeile	2.3 km	
Pixelgröße	4 m	
Signal-Rausch Verhältnis	> 500:1	
Messpunkt Intervall	13 nm - 17 nm	
spektrale Auflösung	15 nm - 20 nm	
Detektoren	VIS, NIR, SWIR1, SWIR2	

Zur Bereitstellung von Daten für die Analyse von spektralen Reflexionsgraden über den Untersuchungsflächen wurden die Ausgangsdatsätze beider Streifen in vier Prozessierungsstufen weiterverarbeitet. Dies Stufen beinhalten eine Korrektur atmosphärischer Einflüsse über einen physikalischen Modelansatz, eine nachgeschaltete empirische Ermittlung von Reflexionsgraden, eine Korrektur geometrischer Verzerrungen und eine anschließende Geocodierung , sowie eine Extraktion der für die Analyse ausgewählten Offenlandbereiche. Die einzelnen Stufen der Prozessierungskaskade sollen im Folgenden erläutert werden.

physikalisch basierte Korrektur atmosphärischer Einflüsse

Das Ziel einer Atmosphärenkorrektur besteht darin, aus dem am Sensor nach vorheriger Kalibrierung gemessenen Strahldichten, Reflexionsgrade auf der Oberfläche von Vegetationsbeständen abzuleiten. Reflexionsgrade werden als charakteristische physikalische Größen genutzt, um Merkmale dieser Geoobjekte quantitativ zu erfassen. Die am Sensor aufgenommenen Strahldichten können nicht direkt mit Strahldichten an der Oberfläche von Vegetation verglichen werden, da die empfangene elektromagnetische Welle bei ihrem Weg durch die Atmosphäre vielfältigen Interaktionen unterliegt. So wird ein Teil der Strahlung von Luftmolekülen wie Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid oder Wasser absorbiert, ein anderer Teil an Aerosolen (Mie-Streuung), Luftmolekülen (Rayleigh-Streuung) und Wasser oder Eiskristallen (nicht-selektive Streuung) mehrfach reflektiert. Die Stärke der Ablenkung des Strahlenflusses wird vom Winkel und der Wegstrecke der einfallenden und reflektierten Solarstrahlung, sowie vom betrachteten Wellenlängenbereich bestimmt. Die Prozesse der Absorption können dabei verstärkt im kurzwelligen Infrarot der Solarstrahlung, die der Mehrfachstreuung im sichtbaren Bereich und im nahen Infrarot beobachtet werden. Welche Strahldichten nach dem Durchgang durch die Atmosphäre gemessen werden, ist demnach Abhängig von der Zusammensetzung der Atmosphäre, der betrachteten Wellenlänge und zusätzlich von der Sonne-Ziel-Sensor Geometrie.

Zur Beschreibung der Interaktionen zwischen Strahlung und Atmosphäre wurde in dieser Arbeit auf eine modifizierte Version des Strahlungstransfermodells aus MODTRAN4 (Berk et al., 1998) zurückgegriffen. Im Vorfeld wurde eine Parametrisierung der Atmosphäre zum Zeitpunkt des Überfluges hinsichtlich der optischen Dichte und einer pixelgenauen Abschätzung des Wasserdampfgehaltes vorgenommen (Guanter et al., 2007). Neben Parametern der Aufnahmegeometrie, welche direkt aus dem HyMap Datensatz extrahiert werden können, entstammen weitere Parameter über die Zusammensetzung der Atmosphäre aus in MODTRAN4 integrierten Standardatmosphären. Durch Inversion der Strahlungstransfergleichung können anschließend spektrale Reflexionsgrade an der Oberfläche der zu messenden Objekte berechnet werden. Der schrittweise Ablauf der kurz dargestellten Vorgehensweise ist in einem Programmcode von Dr. Luis Guanter am GFZ Potsdam integriert und wurde unter Eingabe der nötigen Parameter für die Strahldichten beider HyMap Streifen ausgeführt (Guanter et al., 2007). In Abbildung 3.2.5d kann die Umwandlung von Sensorstrahldichten in Reflexionsgrade auf der Objektoberfläche für zwei ausgewählte Pixel grafisch nachvollzogen werden.

Empirical Line Korrektur

Obwohl die aus dem physikalisch basierten Ansatz abgeleiteten spektralen Reflexionsgrade sich im Bereich des VNIR an den typischen Verlauf von im Gelände gemessenen Reflexionsspektren annähern, können im SWIR trockener Pflanzenbestände bei einer Wellenlänge von 2048 nm unnatürliche Spitzen beobachtet werden (Abbildung 3.2.5g). Aus diesem Grund und der Annahme eine im Detail verbesserte Anpassung an gemessene Feldspektren zu erhalten, wurde das Verfahren der Empirical Line Korrektur auf die Reflexionsgrade aus der MODTRAN4 Korrektur angewendet. Dieses Verfahren beruht auf der Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen Referenzspektren aus Gelände-messungen und den zu kalibrierenden Spektren. Es handelt sich folglich um eine Regressionsanalyse, die für jede zu kalibrierende Wellenlänge separat durchgeführt werden muss. Demnach wird die Zielgröße LR aus den Reflexionsgraden LM mit den geschätzten Regressionskoeffizienten s und einem Achsenabschnitt a vorhergesagt (Abbildung 3.2.5e). Es wird angenommen, dass der Achsenabschnitt negativ ist, da in der Ausgangs-

konfiguration Strahldichten als Einflussgrößen verwendet werden und diese von einem additiv wirksamen Streuanteil atmosphärischer Strahlung beeinflusst sind. Bei der Wahl der Referenzspektren sollte auf eine möglichst große Spannweite von Reflexionsgraden über das gesamte Spektrum geachtet werden, da sich sonst die Standardfehler der Regressionskoeffizienten erhöhen und somit die Regressionsgerade bezüglich variabler Referenzspektren instabil wird (Smith & Milton, 1999).

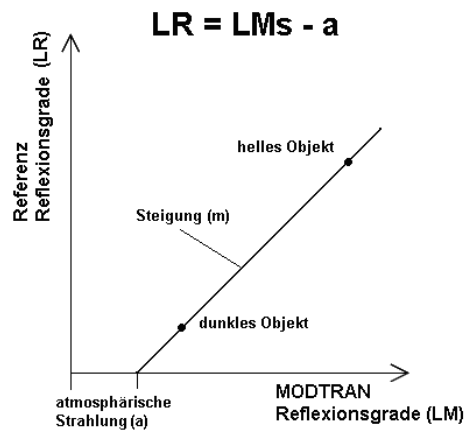


Abbildung 3.2.5e: Hypothetisches Verhalten des Empirical Line Korrekturverfahrens, modifiziert nach Smith & Milton, 1999

In dieser Arbeit wurden Referenzspektren von hell und dunkel erscheinenden Objekten mit dem ASD Feldspektrometer in den Ausschnitten beider Streifen aufgenommen. In Streifen 1 dienten Dachflächen, in Streifen 2 asphaltierte Oberflächen als Zielgrößen. Daraufhin wurde für jeden Kanal des MODTRAN korrigierten HyMap Datensatzes ein Regressionsmodell aufgestellt und dieses zur Vorhersage von Reflexionsgraden auf die Gesamtheit der Bildelemente beider Streifen angewandt. Die dafür verwendete Software wurde von Dr. Karl Segel am GFZ Potsdam geschrieben. Einen Ausschnitt der kalibrierten Regressionsgeraden für unterschiedliche Bereiche des von HyMap aufgezeichneten Spektrums gibt Abbildung 3.2.5f. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Versatz auf der x-Achse im Vergleich zum hypothetischen Verhalten der Regressionsgerade im Bereich des Achsenabschnitts nicht ausgeprägt ist. Dies ist ein Hinweis auf die erfolgreiche Eliminierung atmosphärischer Einflüsse in der vorgeschalteten Atmosphärenkorrektur. Des Weiteren ist im Bereich des SWIR eine geringere Spannweite der die Regressionsgeraden aufspannenden Referenzgrößen zu bemerken. Zu begründen ist dieses Verhalten in der Auswahl von Referenzflächen unter rein visuellen Kriterien. Demnach konnte im SWIR keine optimale Variationsbreite von Reflexionsgraden abgedeckt werden. Die dadurch hervorgerufene Instabilität der Regressionsgerade zeigte sich in einer Überschätzung der Reflexionsgrade im SWIR bei einem Vergleich aller Geländemessungen mit den korrespondierenden Bildpixeln. Dieses Verhalten wurde mit dem Setzen eines konstanten Versatzes von -0.03 behoben.

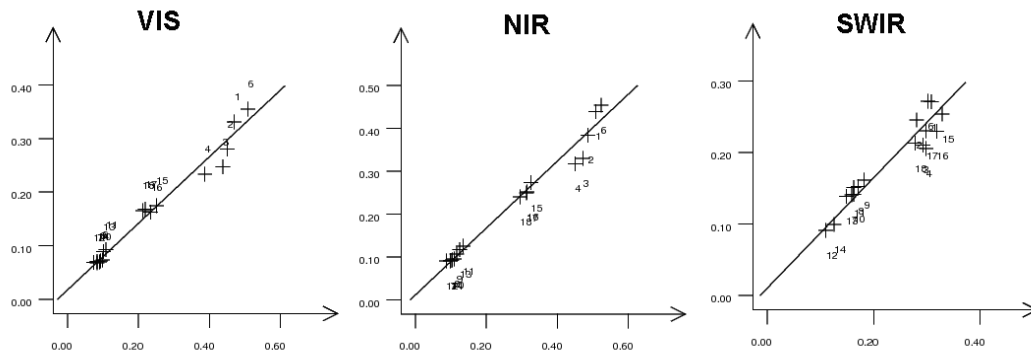


Abbildung 3.2.5f: Beispielhaftes Verhalten der Regressionsgeraden ausgewählter Kanäle, die Achsenbeschriftung entspricht der Grafik aus Abbildung 3.2.5d

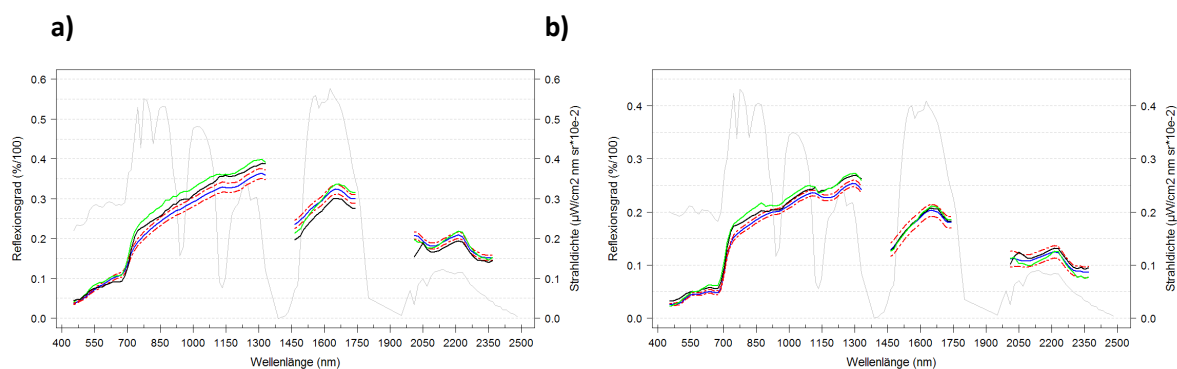


Abbildung 3.2.5g: Vergleich von Strahldichten (grau), MODTRAN4 korrigierten Bildpixeln (schwarz) und Empirical Line Korrektur (grün) mit Mittelwertspektren korrespondierender Geländemessungen a) Besen-ginster Alterstadium, b) Calluna-Heide

In Abbildung 3.2.5g wird das Ergebnis der Empirical Line Korrektur im Vergleich zu den Vorstufen dargestellt. Dabei werden zwei typische Untersuchungsflächen trockener bzw. gealterter Pflanzenbestände aus dem Offenland Hasenheide (fl044a-a) und (fl038a-b) als Beispiele herangezogen. Die erwünschte Korrektur der Reflexionsspitze bei 2048 nm wurde erfolgreich ausgeführt. Der eingeführte konstante Versatz führt zu einer besseren Übereinstimmung von Bildspektren und Geländespektren im Bereich des gerade für Vegetation trockener Standorte bedeutenden SWIR. Lediglich im Bereich des NIR kommt es zu einer geringen Überschätzung der Reflexionsgerade bei den Empirical Line korrigierten Spektren. Dennoch geben sie den Spektralverlauf in der Umgebung der Wasser-absorptionsbanden adäquat wieder und scheinen untypische Spitzen der Spektren aus MODTRAN4 zu glätten.

geometrische Korrektur

Die dritte Vorverarbeitungsstufe beinhaltet eine geometrische Entzerrung des Datensatzes und die anschließende Projektion in ein räumliches Bezugssystem. Erst danach kann die Konfiguration der Bildpixel im digitalen HyMap Datensatz als realgetreue Repräsentation der Topologie von Geobjekten anerkannt werden und automatische Zuordnungen digitaler Grenzen, Messpunktverteilungen und Bildmasken auf Basis von Sekundärdaten erfolgen.

Geometrische Verzerrungen sind das Resultat von Rotationen um drei Raumachsen während der Linearbewegung (Translation) des Flugzeuges auf dem der Sensor montiert ist. Dadurch ergeben sich für jedes

aufgezeichnete Bildelement unterschiedliche Beobachtungsgeometrien, die mit Hilfe des Roll-, Nick- und Gierwinkels beschrieben werden können. Für jede aufgenommene Bildzeile werden zusätzlich zu den Winkeln der Rotationsbewegung, die geographische Länge und Breite der Translationsbewegung, sowie die Flughöhe von einem GPS Empfänger auf der Sensorplattform aufgezeichnet (Weide, 2010). Zur Ableitung der Höhe zwischen Sensor und Geländeoberfläche wurde ein Höhenmodell mit einer räumlichen Auflösung von 25 m verwendet. Außerdem musste unter Integration von Referenzpunkten aus einem bereits georeferenzierten Datensatzes, eine Versatzkorrektur aufgrund einer Breiten-dehnung am Rand der Bildstreifen eingeführt werden. Die anschließende geometrische Korrektur unter Verwendung der aufgeführten Parameter wurde mit dem von Dr. Karl Segl geschriebenen Programm *sori2igm* am GFZ durchgeführt. Das Ergebnis ist eine entzerrte Datenmatrix von kartesischen Bildkoordinaten im UTM-Koordinatensystem, denen das Referenzsystem WGS 84 zugrunde liegt.

Im nächsten Schritt mussten die Grauwerte des Ausgangsbildes auf die Koordinaten-Matrix übertragen werden. Das dafür verwendete Transformationsverfahren ist die Nearest Neighbour Methode, in welcher die Koordinaten den jeweils nächstliegenden Grauwertpixeln aus dem unkorrigierten Bild zugeordnet werden. Im Vergleich zu anderen Transformationsverfahren, die auf einer Interpolation mehrerer Grauwertpixel zu den entsprechenden Koordinaten basieren, kann beim Nearest Neighbour Verfahren ein Verlust von spektralen Informationen ausgeschlossen werden. Die Vereinigung von Koordinaten- und Grauwertmatrix zum Ergebnisdatsatz wurde mit dem ebenfalls von Dr. Karl Segl am GFZ geschriebenen Programm *georesamp* ausgeführt.

Extraktion von Offenlandstandorten

In der finalen Prozessierungsstufe wurde in einem halbautomatischen Verfahren eine räumliche Einheit aus Bildelementen abgegrenzt, dessen spektrales Verhalten zur Vorhersage von Vegetationscharakteristika trockener Offenlandstandorte genutzt werden kann. Die in dieser Arbeit verwendeten im Gelände erhobenen spektralen Vegetationsmerkmale beschränken sich auf typische Pflanzenbestände trockener Offenlandstandorte, so dass die Bildspektren von geschlossenem Wald, Einzelbäumen, sowie Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte von der Analyse ausgeschlossen werden. Ferner werden spektrale Signaturen im Schatten von Bäumen oder Waldrändern in den Amplituden ihrer Reflexionsgrade beeinflusst. Da dieses Verhalten nicht mit zusätzlichen Geländemessungen beschrieben wurde, mussten auch diese Bildelemente entfernt werden.

Tabelle 3.2.5c: Zusammengefasste Biotoptypen der Untersuchungsgebiete Hasenheide und Hasenheide -West und deren prozentuale Anteile am finalen Bildausschnitt

Code	Kartiereinheit	Anteil %
032001	ruerale Pionier- Gras und Staudenfluren weitgehend ohne Gehölzbewuchs	36,15
032002	ruerale Pionier- Gras und Staudenfluren mit Gehölzbewuchs	2,91
05121001	Trockenrasen weitgehend ohne Gehölzbewuchs	5,74
05121002	Trockenrasen mit spontanem Gehölzbewuchs	9,26
0610201	trockene Sandheide weitgehend ohne Gehölzbewuchs	2,38
0610202	trockene Sandheide mit Gehölzbewuchs	29,45
08280	Vorwälder	14,11

Der erste Extraktionsschritt beinhaltete eine Definition der Grenzen des Bildausschnittes anhand der Ergebnisse einer Biotoptypenkartierung der Firma LUP im Auftrag des Landesumweltamtes. Diese nach dem Brandenburger Biotoptypenschlüssel (LUA, 2007) im Jahr 2004 angefertigte digitale Flächenkarte wurde unter Berücksichtigung der in Tabelle 4.5 aufgeführten Biotoptypen zusammengefasst. Ausgeschlossen wurden Röhrichte (4510), Staudenfluren frischer Standorte (05142), Gebüsche nasser Standorte (07101) und sämtliche Waldbiotope (08xxx). Eine Ausnahme bilden Vorwaldstadien trockener Standorte, da der Zwischenwuchs in solchen Sukzessionsbereichen ein wichtiges naturschutzrelevantes Kriterium zur Pflege und Wiederherstellung von Offenlandstandorten geben kann. Die auf einer Luftbildinterpretation basierenden Grenzen wurden visuell überprüft und gegebenenfalls angepasst, so dass die räumliche Begrenzung des Untersuchungsgebietes der äußeren Abgrenzung der aggregierten Biotoptypen entspricht.

Im zweiten Arbeitsschritt erfolgte eine automatische Separierung von Baum- und Schattenpixeln aus der Gesamtheit der Bildelemente des Bildausschnittes. Zu diesem Zweck wurde der aus 125 Kanälen bestehende HyMap Ausgangsdatensatz auf 10 synthetische Kanäle mittels einer Hauptkomponententransformation (PCA) reduziert. Diese Kanäle (Hauptkomponenten) erlauben eine verdichtete Repräsentation spektraler Eigenschaften, da sie aus Linearkombinationen gebildet werden, die innerhalb eines Gradienten der maximalen Variationsbreite im Merkmalsraum der Originalkanäle definiert sind (Backhaus et al., 2003; Leyer & Wesche, 2007). Die spezifische Varianz einer Hauptkomponente kann dabei durch unterschiedliche spektrale Einflussfaktoren des originalen Merkmalsraums erklärt und a posteriori zur Interpretation theoretischer Zusammenhänge herangezogen werden (Chuvieco & Huete, 2010).

Eine visuelle Interpretation von Grauwertgradienten in den Hauptkomponenten ergab einen signifikanten Informationsvorrat von PCA-2 zur Trennung von Baum/Nicht-Baum Merkmalen und von PCA-1 zur Detektion von Schattenbereichen. Zur Verstärkung des Grauwertgradienten in PCA-2 wurde eine multiplikative Verknüpfung zum NDVI (Normalized Differenced Vegetation Index) vorgenommen. Der NDVI wird aus einem Quotienten der Reflexionsgrade im Wellenlängenbereich von Rot $\rho(659.20)$ und dem nahen Infrarot $\rho(802.90)$ gebildet (Gleichung 9).

$$\text{NDVI} = \frac{\rho(802.90) - \rho(659.20)}{\rho(802.90) + \rho(659.20)} \quad (9)$$

In vielen Forschungsergebnissen wurde ein positiver, linearer Zusammenhang zum Blattflächenindex (LAI), zur Vegetationsbedeckung (FVC) und im Allgemeinen zum Vitalitätsgrad von Pflanzen nachgewiesen (Carlson & Ripley, 1997; Myneni, 1995; u.a.). Aus diesem Grund wurde unter der Annahme einer groben Zweiteilung von trockener Offenlandvegetation und vitaler Wald-/Baumvegetation der NDVI als zusätzliches Trennbarkeitsmerkmal herangezogen.

Die Grauwertmatrizen von $[\text{PCA-1}]_{\text{Schatten}}$ und $[\text{PCA-2} \cdot \text{NDVI}]_{\text{Baum}}$ wurden anschließend mittels einer Clusteranalyse zu thematischen Gruppen zusammengefasst. Es handelt sich dabei um eine Methodik der partitionierenden Klassifikation bei der die Objektmenge an Grauwerten in einer konstanten Anzahl von Gruppen (Cluster) aufgeteilt wird. Die Gruppenzugehörigkeit wird durch iteratives Verschieben von Elementen von Gruppe zu Gruppe unter Optimierung eines Gütemaßes bestimmt. In der vorliegenden Arbeit wurde ein *Hill-Climbing* Ansatz gewählt, welcher die finale Gruppenkonfiguration durch Minimierung des Varianzkriteriums berechnet (Rubin, 1967). Im Ergebnis wurden n-Gruppen (Klassen) aus den Grauwertmatrizen erstellt und diese hinsichtlich ihrer Korrelation mit Schatten- oder Baumbereichen untersucht und anschließend eine neue Startkonfiguration aus $n \pm i$ Gruppen gewählt. Die beste Über-

einstimmung ergab bei beiden Matrizen eine Gruppenanzahl von 10. Als Endergebnis wurden die Gruppen der besten Übereinstimmung zusammengefasst und als thematische Klasse des zu identifizierenden Merkmals extrahiert.

In Abbildung 3.2.5h ist das Ergebnis der Baummaske und der Schattenmaske auf den extrahierten Offenlandstandorten Hasenheide und Naturschutzzentrum dargestellt. Es konnten sowohl geschlossene Waldformationen, als auch Einzelbäume erkannt werden. Innerhalb geschlossener Waldformationen wurden Offenlandbereiche erfolgreich ausgeschlossen. Aufgrund der Pixelgröße von 4 m ist es nicht möglich jeden Einzelbaum zu identifizieren, da die spektralen Merkmale in Mischsignaturen zusammengefasst vorliegen. Als Referenz ist eine panchromatische Worldviewaufnahme vom 19.08.2009 mit einer räumlichen Auflösung von 0,5 m gegenübergestellt. Selbst die Schattenbereiche von Einzelbäumen konnten mit einer hinreichenden Genauigkeit identifiziert werden.

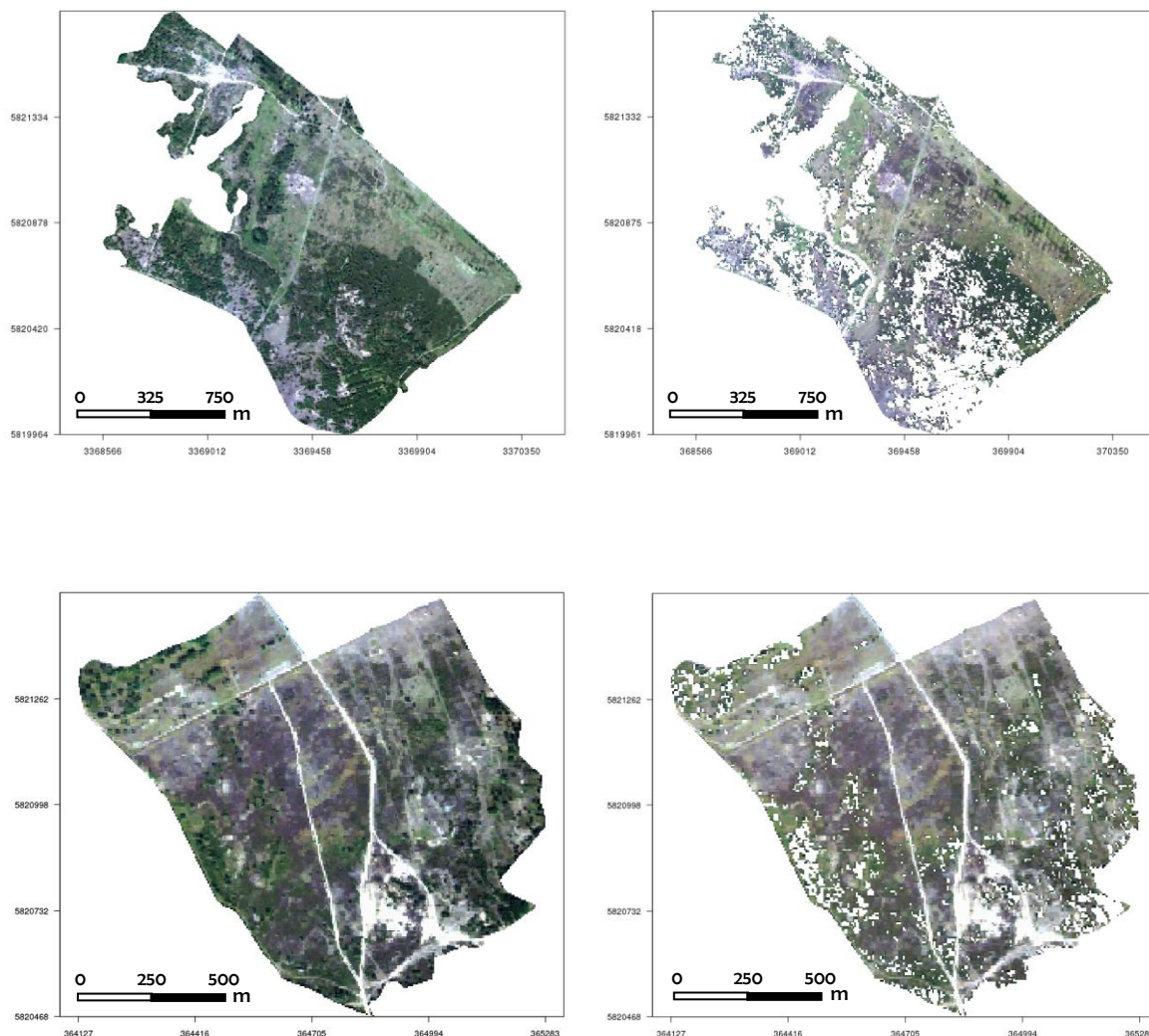


Abbildung 3.2.5h: Echtfarbdarstellung der hyperspektralen Bildausschnitte von Hasenheide und Naturschutzzentrum vor und nach Anwendung von Baummaske und Schattenmaske

3.3 Ergebnisse: Monitoring des Vegetationskontinuums

3.3.1 Darstellung der Vegetation als kontinuierlicher Arten- bzw. Spektralraum

Im Untersuchungsgebiet kommen großflächig Offenlandhabitats und gehölzdominierte Vegetationsbestände wie Wälder, Vorwälder und Gebüsche vor¹⁰. Im Folgenden liegt der Schwerpunkt bei der Analyse der Offenlandhabitats.

Die Vegetationseinheiten des Offenlandes können auf einer ersten Hierarchieebene (Level 1) anhand ihrer Wasserversorgung in zwei Gruppen aufgetrennt werden: Pflanzenbestände frischer bis feuchten Standorte, in denen Grünlandarten und Arten mit höheren Feuchteansprüchen (Röhrichte, Seggenriede und Feuchtwiesen, feuchte Staudenfluren, Pfeifengraswiesen) vorherrschen (ZWISCHENBERICHT 2009, Anhang V8. Tabelle 1) und Pflanzenbestände trockener Standorte, die durch Arten der trockenen Heiden, Sandtrockenrasen und Sandpionierfluren charakterisiert werden (ZWISCHENBERICHT 2009, Anhang V8. Tabelle 2).

Gesamtartenraum

In Abbildung 3.3.1a wird der Ordinationsraum für das gesamte Untersuchungsgebiet (125 Aufnahmen, 226 ausgewählte Arten) mit den resultierenden Farbuweisungen dargestellt. Die Farben der einzelnen Vegetationsaufnahmen ergeben sich dabei als RGB Falschfarbenkomposite entlang der an den Achsen dargestellten Grauwertgradienten. Als Gütemaß des Ergebnisraumes konnte ein Stresswert von 12,1 berechnet werden¹¹. Ursprüngliche Rangfolge in der Unähnlichkeitsmatrix und die Rangfolge der Distanzen im Ordinationsraum korrelieren eng ($R^2 = 0,98$).

Die Vegetationsaufnahmen erscheinen als deutlich abgrenzbare Gruppen unterschiedlicher Größe, die durch gemeinsame Farbmerkmale gekennzeichnet sind (Ellipsen). Für jede Gruppe wurde eine wichtige diagnostische Art ausgewählt, deren Verbreitung eng mit der Gruppenausdehnung korreliert und beispielhaft dargestellt.

Die erste Ordinationsachse lässt sich v.a. als Feuchtegradient auffassen. Sie erlaubt somit eine Differenzierung von trockenen, frischen und feuchten bis nassen Standorten bzw. Arten. Es ist zu erkennen, dass sich Arten der trockenen Offenlandstandorte im linken, und Arten der feuchten bis nassen Standorte im rechten Teil des Ordinationsraumes befinden. Arten frischer Standorte und intermediäre Typen (z.B. *Calamagrostis epigejos*) befinden sich im Zentrum des Ordinationsraumes.

Die Zuordnung von ökologischen Gradienten zur zweiten Ordinationsachse führt im Bereich der trockenen Standorte zu einer Abtrennung der Silbergrasfluren von den Zwergstrauchheiden (Level 2) und kann auch als Sukzessionsabfolge der offenen Sandlandschaften interpretiert werden. Dabei besiedelt Silbergras (*Corynephorus canescens*) als Pionierpflanze die offenen Sandböden. Mit zunehmender Festlegung der beweglichen Sande und Humusakkumulation wird die Ansiedelung weiterer Arten der Sandtrockenrasen und trockenen Heiden (*Calluna vulgaris*) begünstigt (Burkart et al., 2004).

¹⁰ Die spektrale Erfassung der gehölzdominierten Vegetationsbestände wird in einem separaten Kapitel (Kap. 3.5) beschrieben.

¹¹ Dieser Wert kann unter Berücksichtigung der Größe des Eingangsdatensatzes als Zeichen einer guten Projektion der Unähnlichkeitsmatrix interpretiert werden (Leyer & Wesche, 2007).

Der Konkurrenzdruck des aufkommenden Pflanzenwuchses führt zum Rückgang der Deckung von Silbergras. Diese Tendenz wird in einem Rückgang der Punktgröße (=Deckung) in Richtung Zentrum des Ordinationsraumes bei der braun eingefärbten Silbergrasgruppe sichtbar. Borstgrasrasen wurden in der Abbildung nicht separat erfasst.

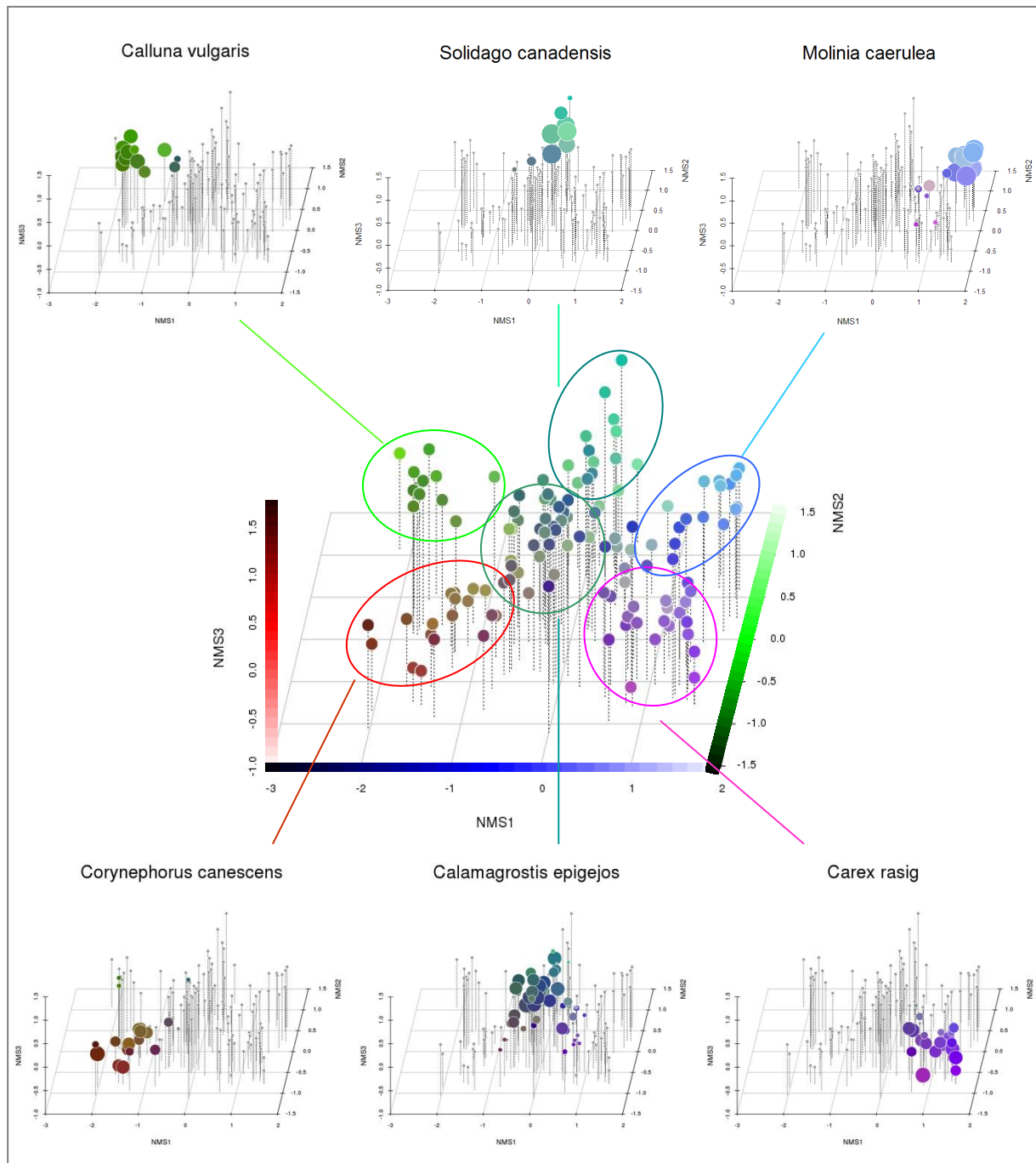


Abbildung 3.3.1a: Verteilung von Artdichten des gesamten Untersuchungsgebietes Döberitzer Heide in einem 3-dimensionalen Ordinationsraum; Grauwertgradienten an den Achsen werden in einer RGB-Komposite zu den dargestellten Farbwerten der Einzelpunkte vereint; eine Auswahl von Deckungsgraden diagnostischer Arten ist für die farblich markierten Gruppen dargestellt (Die Größe der Punkte entspricht der Deckung der Art in der Vegetationsaufnahme)

Im zentralen frischen Bereich des Ordinationsraumes ist eine Korrelation mit einem ökologischen Gradienten nicht möglich. Im feuchten bis nassen Bereich des Ordinationsraumes werden die beiden Hauptgruppen von Level 2 Nährstoffreiche Röhrichte und Feuchtwiesen sowie nährstoffärmere wechsellasse Pfeifengraswiesen entlang eines Nährstoffgradienten gut aufgetrennt und lassen sich durch die beiden diagnostischen Arten bzw. Artengruppen Seggen (*Carex lasiocarpa*) bzw. Pfeifengras (*Molinia caerulea*) darstellen.

Der Gradient entlang der dritten Ordinationsachse ist nur schwach ausgeprägt und soll nicht weiter interpretiert werden.

Erkennbar wird, dass sich bestimmte Vegetationseinheiten der zweiten Hierarchieebene (Level 2) wie z.B. Sandtrockenrasen, Borstgrasrasen oder Einheiten frischer Standorte wie artenreiche Flachlandmähwiesen innerhalb des Gesamtordinationsraumes nicht deutlich von anderen Einheiten abtrennen lassen.

Aufgrund der eindeutigen Abgrenzung von Arten und Aufnahmeflächen der trockenen Offenlandstandorte mit Hilfe der ersten Ordinationsachse des Ordinationsraumes (Differenzierung von Level 1), konnte eine getrennte Analyse für eine differenziertere Betrachtung der zugrunde liegenden Wirkungsfaktoren (Level 2 bis 4) innerhalb der trockenen und der frischen bis feuchten Standorte durchgeführt werden.

Artenraum der trockenen Offenlandstandorte

Die Pflanzenbestände der trockenen Standorte im UG lassen sich vegetationskundlich in vier Haupteinheiten untergliedern (2. Hierarchieebene=Level 2):

- Sandtrockenrasen (Einheit 1)
- Heidekrautheiden (Einheit 2)
- Silbergrasfluren (Einheit 3)
- trockene Borstgrasrasen (Einheit 4).

Tabelle 3.3.1a: Haupteinheiten trockener Standorte (Level 2). in der Döberitzer Heide (vgl. Zwischenbericht 2009, Tab. 8.2)

Einheit Level 2	Biotoptyp Bbg	LRT	Dominante Arten	Untereinheiten Level 3 und 4
3 - Silbergrasfluren	051211	2330pp	<i>Corynephorus canescens</i>	3
4 - Trockene Borstgrasrasen	051214	-	<i>Nardus stricta</i>	0
2 - Heidekrautheiden	0610201 0610202	4030v	<i>Calluna vulgaris</i>	3
1 – Sandtrockenrasen	0512121 0512122 051215 06110	6120pp	Keine, regelmäßig auftretend: <i>Festuca ovina</i> agg., <i>Agrostis capillaris</i> , <i>Achillea millefolium</i> agg.	6

Nicht als eigene Einheiten sind auf diesem Level ruderalisierte oder verbuschte Stadien abgegrenzt worden. Dies geschieht auf Level 3 und 4. Ebenfalls hier werden Sukzessionsstadien bzw. basenarme und basenreichere Bestände unterschieden.

Die 1x1m großen Feldspektrometerflächen der trockenen Standorte (43 Vegetationsaufnahmen, 80 berücksichtigte Arten) wurden mittels NMDS (Absatz 3.2.1) in einem 2-dimensionalen Ordinationsraum dargestellt (Abbildung 3.3.1b). Die RGB-Falschfarbenkomposite wurde unter Verwendung der an den Achsen aufgetragenen Grauwertgradienten erstellt. Die interne Struktur der eingehenden Flächen-Arten-Matrix ähnelt der des gesamten Untersuchungsgebietes, so dass diagnostische Arten erneut als Zeiger spezifischer Lebensraumbedingungen verwendet werden können.

Der Ordinationsraum übergibt eine visuell interpretierbare Farbstrukturierung, wobei die Anordnung der Vegetationsaufnahmen auf den ersten Blick keine eindeutigen Gruppenabgrenzungen ermöglichen. Die Farbwerte werden in kontinuierlichen Übergängen zwischen benachbarten Vegetationsaufnahmen übertragen. Die Spannweite der ersten und zweiten Ordinationsachse ist im Vergleich zu dem Ergebnis des gesamten Untersuchungsraums geringer, doch wurde eine gute Projektion der Unähnlichkeitsmatrix in den Ordinationsraum mit einem Stresswert von 12,8 erreicht ($R^2 = 0,92$).

Im linken unteren Bereich des Ordinationsraumes befinden sich erneut die Silbergrasfluren als Pionierfluren der offenen sandigen Standorte. Mit dem Anstieg der Werte an der ersten Ordinationsachse gehen die Silbergrasfluren in die Sandtrockenrasen über. Dieser Übergang kann u.a. durch einen Anstieg der Nährstoffverfügbarkeit und der Basenversorgung erklärt werden. Die erste Ordinationsachse folgt demzufolge dem Nährstoffgradient in Kombination mit der natürlichen Sukzessionsabfolge trockener Sandstandorte. Der Bereich der Sandtrockenrasen kann über die Verbreitung des Rot-Straußgrases (*Agrostis capillaris*) im Zentrum des Ordinationsraumes und des Raublatt-Schwingels (*Festuca brevipila*) im rechten unteren Bereich mit höheren Score-Werten dargestellt werden. Das Rote Straußgras kam sowohl auf Flächen mit Silbergras, als auch Flächen mit Raublatt-Schwingel vor, hier jeweils mit geringeren Deckungen (dunkelgrüne, hellblaue Punkte).

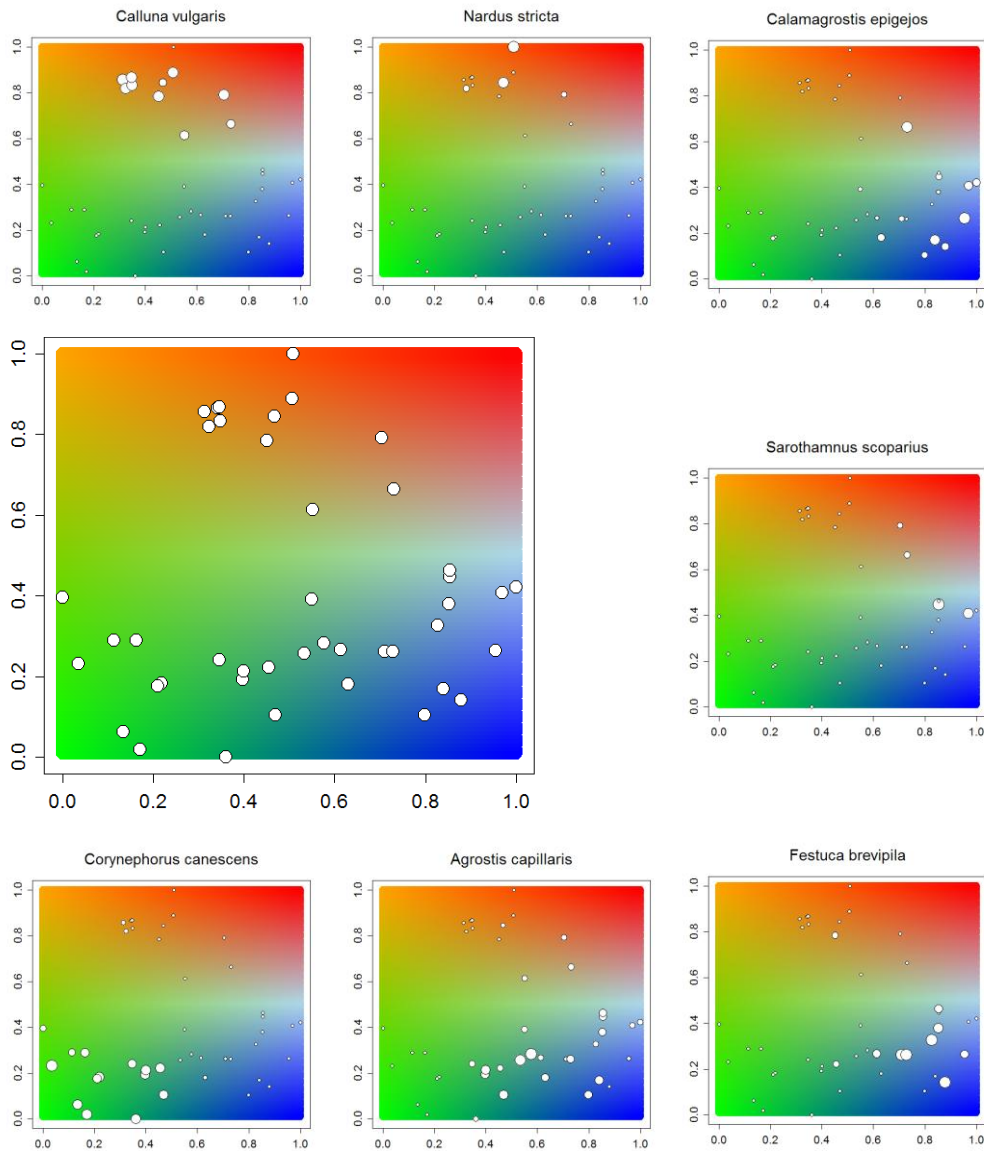


Abbildung 3.3.1b: Verteilung von diagnostischen Arten im Ordinationsraum der Trockenrasenstandorte.

An die typischen Sandtrockenrasen im rechten unteren Teil des Ordinationsraumes schließen auf der zweiten Ordinationsachse sowohl Stör- oder Stickstoffzeiger wie Landreitgras (*Calamagrostis epigejos*), als auch eine Verbuschung einleitende Arten wie Besenginster (*Sarothamnus scoparius*) an. Neben einem möglichen Nährstoffgradienten kann der Übergang von hellblauen Farbtönen zu dunkelblauen bis lila Farbtönen v.a. als zunehmende Beeinträchtigung von typischen Sandtrockenrasen interpretiert werden.

Im linken Bereich des Farbraums folgen auf die Silbergrasfluren entlang der zweiten Ordinationsachse trockene Heiden mit Heidekraut (*Calluna vulgaris*). Auch hier werden ruderalisierte Bestände mit Landreitgras in einem lila Farbton hervorgehoben. Die typischen Ausprägungsformen der Heidekraut-Heiden befinden sich im orange gefärbten Bereich der ersten Ordinationsachse, der auch durch nährstoffarme und saure Verhältnisse gekennzeichnet wird. Übergangsbestände von Heiden und Silbergrasfluren liegen in einem Bereich gelber bis hellgrüner Färbung. Es handelt sich dabei um lückige Bestände mit einem hohen Anteil von Flechten (*Cladonia spec.*).

Die Variationsbreite der Artdeckungen entlang der dritten Ordinationsachse ist erneut gering und kann folglich keinem Wirkungsfaktor eindeutig zugewiesen werden. Dennoch lässt sich das Borstgras (*Nardus stricta*) als diagnostische Art der Borstgrasrasen oberhalb der anderen Arten identifizieren. Die dritte Ordinationsachse wird aufgrund der geringen Zahl von Borstgrasrasenaufnahmen, ihrer kleinflächigen Entwicklung im Gelände sowie der nur unzureichenden Korrelation mit einem Umweltgradienten im Folgenden aus der spektralen und ökologischen Modellbildung ausgeschlossen.

Zusammenfassend können die räumlichen Muster v.a. der diagnostischen Arten innerhalb des Ordinationsraumes das komplexe Artengefüge der trockenen Offenlandstandorte in ausreichendem Maße abbilden. Dabei können den Ordinationsachsen nicht immer eindeutige Gradienten zugewiesen werden. Die Auffassung der Achsen als zugrunde liegende Einflussfaktoren beschränkt die Interpretationsmöglichkeiten auf drei Dimensionen. Diese Einschränkung kann jedoch die komplexen räumlichen Strukturen nicht in ihrer Gesamtheit erklären. Es erwies sich daher als geeigneter, die Farbinformationen direkt als Standortausprägungen zu interpretieren. Aufgrund der Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten der drei Grauwertgradienten in einem RGB-Farbraum kann die Struktur des Ordinationsraumes in Bezug auf das Artenvorkommen unter spezifischen Umweltbedingungen damit hinreichend genau erklärt werden.

Die auf Level 2 vegetationskundlich unterschiedenen Einheiten lassen sich im Ordinationsraum gut unterscheiden, zusätzlich konnten auch bestimmte Beeinträchtigungen dargestellt werden.

3.3.2 Räumliche Abbildung des Vegetationskontinuums unter Anwendung des spektralen Modells

Die in Abbildung 3.3.1b dargestellte Ordinationsraumstruktur, welche durch die hinterlegte kontinuierliche Farbinterpolation bestimmt ist wurde mittels des in Absatz 3.2.5 gebildeten spektralen Modells auf die Bildelemente der digitalen hyperspektralen HyMap Szenen übertragen. Die auf Grundlage der Feldmessungen kalibrierten Modellgleichungen für die 1. und 2. Ordinationsachse wurden dabei auf den digitalen HyMap Bilddatensatz angewandt. Zu diesem Zweck wurde für jedes Pixel der benötigte Satz an Prädiktorvariablen nach denselben Verarbeitungsschritten wie für die Feldspektren abgeleitet. Jede räumlich explizite Darstellung der Score Werte einer Ordinationsachse ist in den Farbgradienten des Ordinationsraumes aus Abbildung 3.3.1b abgebildet. Die Pixel, dessen spektralen Reflexionseigenschaften in die Objektklasse der Bäume oder der Schattenbereiche eingeordnet worden sind wurden als weiß gefärbte Bereiche maskiert.

Die Wertebereiche der ersten und zweiten vorhergesagten Ordinationsachse (NMDS1, NMDS2) liegen innerhalb des Wertebereiches der ursprünglichen Achsen. Dennoch kam es zur Über- und Unterschätzung in den vorgesagten Werten. In der ersten Ordinationsachse liegen diese Ausreißer im Vergleich zur zweiten Ordinationsachse in einem geringeren Abstand zu den Extremwerten der Originaldaten. Bei beiden Vorhersageergebnissen können räumliche Strukturen und Muster in der Abbildung erkannt werden, so dass von einer signifikanten Abweichung von einer Zufallsvorhersage ausgegangen werden kann. Die Modelle schätzen demnach die Score Werte des ausgewählten Bilddatensatzes signifikant besser als ein Nullmodell (Zufallsvorhersage). Obwohl die Extremwerte der Vorhersage keinen hinreichenden Beweis auf falsche Vorhersagen liefern, da sie ebenfalls eine Extrapolation der Modellgleichung auf unbekanntem Wertebereich der Prädiktorvariablen sein können, wurden sie für die Abbildung von Farbgradienten ausgeschlossen. Die Vorhersagen für die dritte Ordinationsachse (NMDS3) müssen bei Betrachtung des vorhergesagten Wertebereiches und der großen Zufallsstreuung für die Bildpixel verworfen

werden. Es lassen sich folglich keine spektralen Merkmale zur Abbildung des nur schwach ausgeprägten floristischen Gradienten entlang der dritten Achse finden. Die räumlich explizite Abbildung des Vegetationskontinuums muss aus diesem Grund auf einen 2-dimensionalen Farbraum unter Einbeziehung der ersten und zweiten Ordinationsachse reduziert werden.

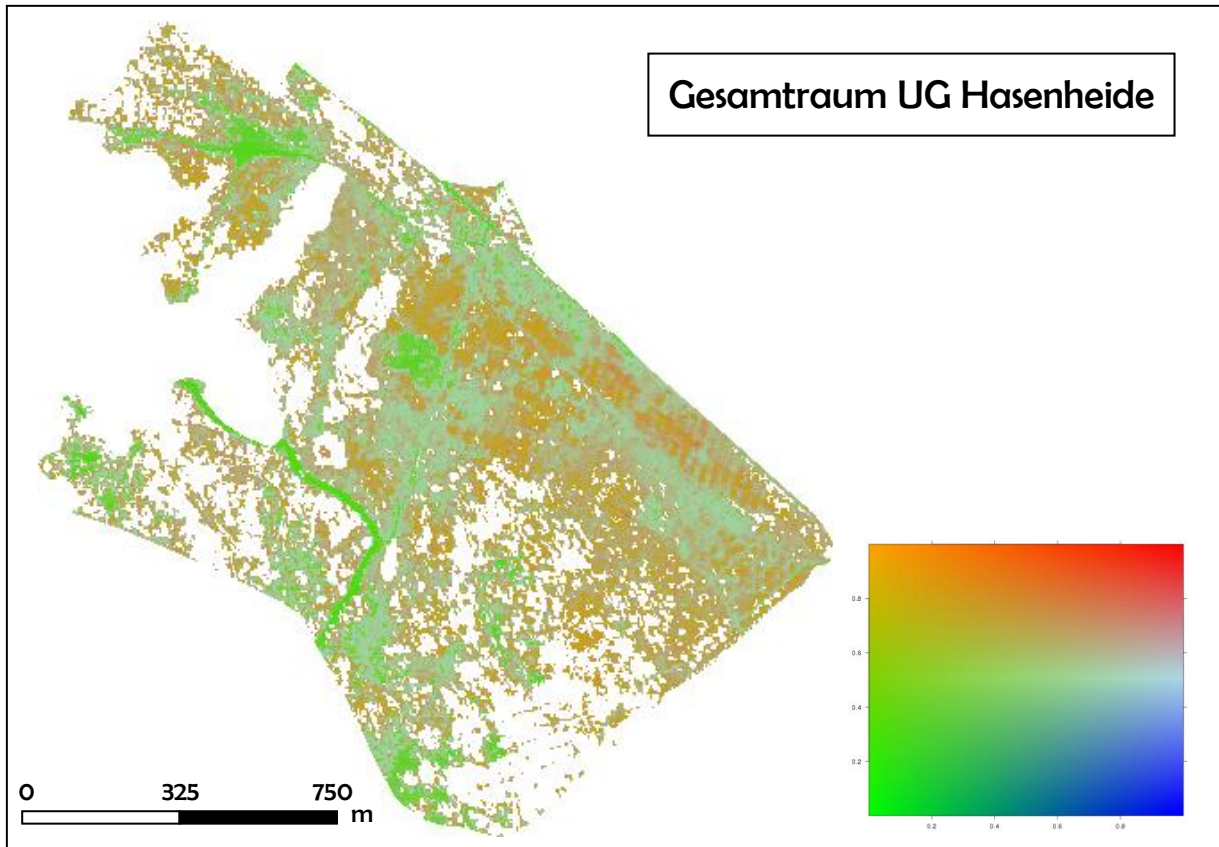


Abbildung 3.3.2a: räumliche Vorhersage der 2-dimensionalen Farbinterpolation des durch die trockenen Offenlandstandorte gebildeten Ordinationsraumes im UG Hasenheide

Die Vereinigung beider Achsen zur Gesamtvorhersage und somit zur pixelgenauen Vergabe von insgesamt 10000 Farbwerten aus dem Ordinationsraum kann in den Abbildungen 3.3.2a und 3.3.2b für die Untersuchungsgebiete Hasenheide und Naturschutzzentrum nachvollzogen werden. In den nachfolgenden Kapiteln zur Entwicklung des hyperspektralen Bewertungsverfahrens werden diese beiden Untersuchungsgebiete als Repräsentanten typischer Offenlandbereiche in der Döberitzer Heide exemplarisch zur Veranschaulichung der methodischen Vorgehensweise herangezogen. Es ist zu erkennen, dass der gesamte Ordinationsraum in seiner vollständigen Variationsbreite an Farbgradienten übertragen werden konnte. Lediglich der rechte untere Bereich, definiert durch dunkelblaue Farbtöne, scheint unterrepräsentiert. Wie in den folgenden Kapiteln deutlich werden soll handelt es dabei um die basenreicheren Standorte der Sandtrockenrasen, welche in den Untersuchungsgebieten nur kleinskalig fragmentiert existieren. Aus den räumlich abgebildeten Farbraumgradienten geht eine deutliche Struktur hervor, welche eine Häufung der Farben Orange, Grün, Hellblau und Rot sowie dazwischen liegende Übergangsbereiche erkennen lässt. Es lassen sich bereits an dieser Stelle von den Interpretationen der Ordinationsraumstruktur abgeleitete Nachweise über die von diesen Farben gekennzeichneten Artenkombina-

tionen anführen. Da diese Art eines Interpretationsansatzes keine quantitativen Größen zur reproduzierbaren Ableitung von Vegetationstypen und Bewertungsansätzen, also der Identifikation von Vegetationszuständen, zulässt, wurde im folgenden Absatz eine neue Vorgehensweise zur Parametrisierung der Ordinationsraumstruktur entwickelt. Die dafür angewandte methodische Grundlage kann dem folgenden Absatz 3.3.3 entnommen werden.

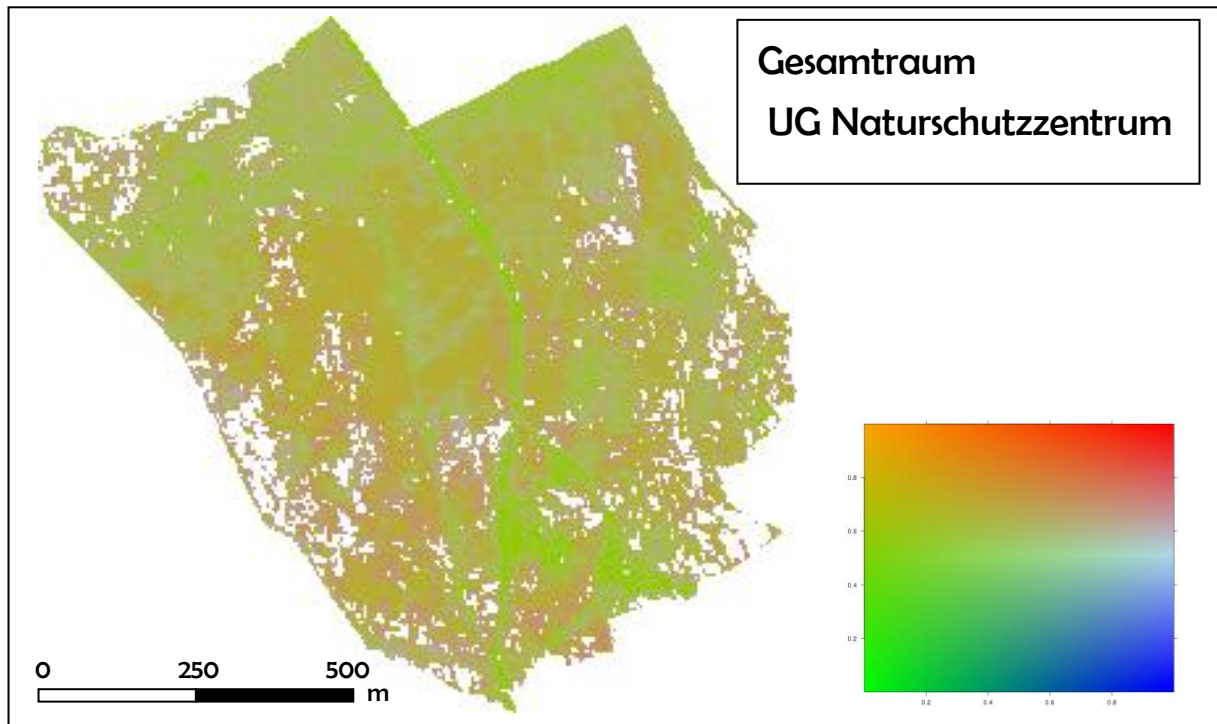


Abbildung 3.3.2b: räumliche Vorhersage der 2-dimensionalen Farbinterpolation des durch die trockenen Offenlandstandorte gebildeten Ordinationsraumes im UG Naturschutzzentrum

3.3.3 Methodik der Quantifizierung und Aggregation im Ordinationsraum zur Ableitung diskreter Klassen z.B. von Lebensraumtypen

Obwohl sich wie aus den beiden vorherigen Kapiteln ersichtlich die Topologie von Untersuchungsflächen im Ordinationsraum mit Hilfe von real wirkenden Umweltfaktoren und die daraus resultierende Verbreitung von diagnostischen Arten interpretieren lässt, können für solche Interpretationsansätze keine quantitativen Maße bezogen werden. Ein wichtiges Ziel bei der Überführung von Ordinationsräumen in spektrale Modelle ist jedoch eine Abbildung der vorgenommenen Interpretation auf digitale Bilddatensätze um somit Aussagen über den Zustand und die Entwicklungstendenzen von Natur und Landschaft ableiten zu können. Es ist daher von großem Interesse den Zusammenhang zwischen der Verbreitung von Pflanzenarten in Form von Deckungsgraden und spektralen Informationen zu überprüfen. Das Ziel dieser Vorgehensweise ist die Parametrisierung von Vegetationseigenschaften zur variablen Abgrenzung und reproduzierbaren Bewertung von FFH-Lebensraumtypen nach nachvollziehbaren Kriterien innerhalb des Ordinationsraumes.

Abgrenzung von Lebensraumtypen

Terrestrisch erfolgt die Entscheidung, ob ein Pflanzenbestand einem Lebensraumtyp (Biotoptyp, Pflanzengesellschaft) zugehörig ist, nicht anhand eindeutig quantifizierbarer Parameter, sondern aufgrund von Expertenwissen, dass sich jedoch primär an charakteristischen Arten, Artenkombinationen und ihren Deckungen sowie den sich hieraus ergebenden Strukturausbildungen orientiert (vgl. Pflanzensoziologie, z.B. Oberdorfer 1977). Biotoptypen oder LRT werden aus den Pflanzengesellschaften (oder deren Über- oder Untereinheiten aggregiert. Besonders bei Lebensraumtypen kann das übermäßige Auftreten von LRT-untypischen Arten und Strukturen (Beeinträchtigungen), zudem dazu führen, dass ein an sich potentiell charakteristischer Bestand nicht mehr als LRT eingestuft wird.

Für die spektrale Abgrenzung eines Lebensraumtyps wurden jeweils eine oder mehrere diagnostische Arten oder Standortparameter ausgewählt, die diesen im Ordinationsraum und der Vegetationstabelle der trockenen Offenlandstandorte gut repräsentierten und den LRT von anderen Vegetationseinheiten bzw. anderen LRT gut abgrenzten.

Anschließend muss der Zusammenhang zwischen Verbreitung und Deckung dieser diagnostischen Pflanzenarten im Ordinationsraum und den zugehörigen spektralen Informationen erfasst und quantifiziert dargestellt werden (vgl. Kap. Methodik). Im Rahmen des Projektes wurde ein neues Quantifizierungsverfahren entwickelt, das es ermöglicht, die nominalen Interpretationsansätze in metrische Beschreibungen zu überführen. Nach der Quantifizierung lassen sich die diagnostischen Arten und Strukturparameter (relevante Einflussgrößen) zur variablen Aggregation von Klassen (z.B. Lebensraumtypen) nach nachvollziehbaren Kriterien innerhalb des Ordinationsraumes nutzen. Ihre Deckung und Verteilung wird im Ordinationsraum lokalisiert und zu Vorkommenswahrscheinlichkeiten im Ordinationsraum aggregiert. Damit kann die Vegetation parametrisiert werden und folglich in statistische Kausalzusammenhänge zu spektralen Variablen gesetzt werden.

Gleichzeitig ist mit der Überführung der Informationen (Arten/ Untersuchungsflächen, Umweltfaktoren) aus dem Ordinationsraum in einen Farbraum die Analyse spektraler Datensätze von Landschaftsausschnitten möglich. Damit können entsprechend der Pixelgröße der Bilddaten Aussagen über die aktuelle Ausbildung und bei regelmäßiger Wiederholung auch über Veränderungen und Entwicklungstendenzen der untersuchten Landschaftsausschnitte abgeleitet werden.

Vorkommenswahrscheinlichkeit von Arten oder Strukturparametern

Das neue Verfahren beinhaltet die Synthese von Methodiken der ökologischen Gradientenanalyse mit geostatistischen Interpolationsverfahren. Dabei werden die Vegetationseigenschaften eines Pflanzenbestandes (Arten, Artdeckungen, Altersstadien, Bestandsstrukturparameter) sowie Umweltinformationen wie Boden- und Geländemorphologieparameter als Realisation einer räumlichen Zufallsvariable aufgefasst. Mit Hilfe von räumlichen Korrelationsfunktionen den sogenannten Variogrammmodellen wird anschließend die Varianzstruktur im Ordinationsraum dieser Zufallsvariable bestimmt (Abbildung 3.3.3a). In Abbildung 3.3.3a ist zu erkennen, dass für verschiedene Raumrichtungen die charakteristische Korrelationslänge und die Veränderung der maximal erreichbaren Varianz in Abhängigkeit von Distanzklassen berechnet und daran omnidirektionale Variogrammmodelle angepasst werden. Für jede auf den Untersuchungsflächen erfasste Art, Artengruppe oder Strukturparameter wurde auf diese Weise die Korrelationsstruktur im Ordinationsraum durch ein Modell beschrieben.

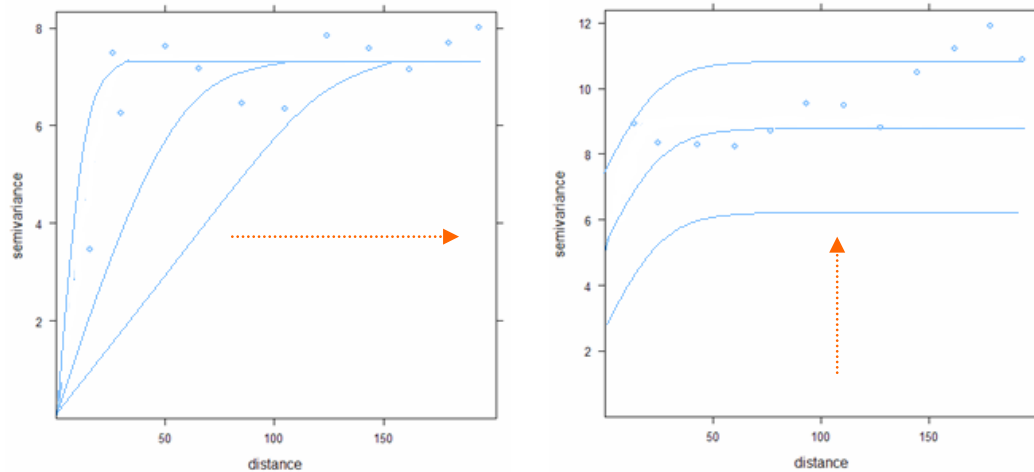


Abbildung 3.3.3a: Exemplarische Darstellung der charakteristischen Korrelationslänge a) und maximalen Varianz b) mittels Variogrammmodellen.

Anschließend können die angepassten Modelle genutzt werden um die Verteilung von Arten oder Strukturparametern im Ordinationsraum vorherzusagen. Jedes Variogrammmodell stellt dabei eine individuelle Funktionsvorschrift, gekennzeichnet durch einen Parametervorrat, für die ausgewählten Arten und Strukturen zur Verfügung. Diese parametrisierte Beschreibung des räumlichen Verhaltens einer ausgewählten Entität kann anschließend genutzt werden um die Ausprägung von Eigenschaften (Deckungsgrade, Anteile, Wahrscheinlichkeiten) für unbekannte Raumpunkte zu schätzen.

Zu diesem Zweck wird in den Ordinationsraum ein Raster mit einer Auflösung von 100 x 100 Zellen projiziert (Abbildung 3.3.3b (a)). Mittels eines Kriging-Interpolators kann unter Nutzung der abgeleiteten Variogrammmodelle für jede Rasterzelle die Ausprägung eines ausgewählten Parameters (Art, Strukturparameter) unter Bestimmung der Gewichtung angrenzender, bekannter Ausprägungen vorhergesagt werden. In Abbildung 3.3.3b (b) ist exemplarisch der Deckungsgrad von Heidekraut (*Calluna vulgaris*) in den Untersuchungsflächen dargestellt.

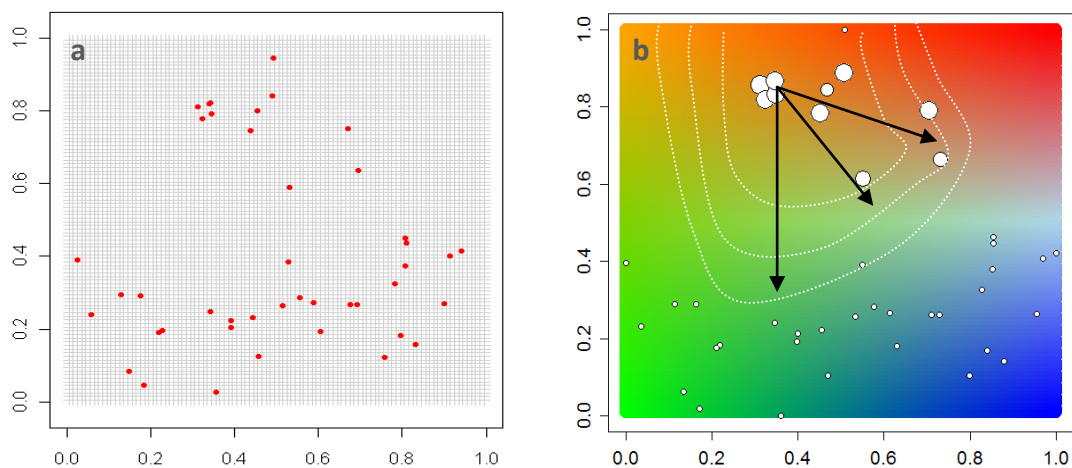


Abbildung 3.3.3b: a) Verteilung der Untersuchungsflächen auf Interpolationsraster; b) Deckungsgrad von *Calluna vulgaris* und exemplarische Beschreibung der räumlichen Interpolation anhand von Isolinien

In Abhängigkeit vom Variogrammodell lassen sich aus den punktuellen Informationen bekannter Deckungsgrade (größere Punkte) räumliche Vorhersagen ableiten, so dass mittels Isolinien eine quantitative Beschreibung der Verteilung von *Calluna vulgaris* für den gesamten Ordinationsraum ermöglicht werden kann.

Zur Beschreibung der abgeleiteten Ordinationsraumstruktur (Abbildung 3.3.1b) wurde für diagnostische Arten von im trockenen Offenland der Döberitzer Heide vorkommenden LRT-Typen mittels individueller Variogrammodelle und dem darauf angewandten geostatistischen Verfahren (Kriging) die räumliche Verteilung von Deckungsgraden vorhergesagt.

In Abb. 3.3.3c ist zentral der gesamte Ordinationsraum der trockenen Offenlandstandorte mit dem Schwerpunkt ausgewählter diagnostischer Arten (Pfeile) dargestellt. In den Abbildungen dieser Arten stellen die blauen Punkte die Anordnung der Untersuchungsflächen im Ordinationsraum dar, wobei die Größe eines jeden Punktes dem erfassten Deckungswert entspricht. Aus diesen realen Werten wird die Verteilung der Deckungswerte für den gesamten Ordinationsraum interpoliert. Dabei stellen unterschiedliche Farben unterschiedliche Deckungen dar: Rot (geringe Deckung) bis Dunkelgrün (hohe Deckung). Es ist zu erkennen, dass sich durch dieses Verfahren eine eindeutige Verteilung für die diagnostischen Arten ergibt. Dies zeigt, dass die Anordnung von Artvorkommen nicht zufällig ist, sondern Gesetzmäßigkeiten folgt. Von den Zentren der maximalen Deckung einer Art nehmen die Deckungsgrade zu benachbarten Bereichen hin kontinuierlich ab und charakterisieren damit Übergangsbereiche zu anderen Einheiten. Diese Übergangsbereiche entsprechen nicht nur Mischbeständen von Vegetationseinheiten, sondern kennzeichnen z.B. auch Sukzessionsveränderungen durch Verbuschung oder Vergrasung oder das Eindringen von Störzeigern.

Silbergrasfluren und Heiden gehen in flechtenreiche Bestände über. Erkennbar ist die zunehmende Verbuschung von Heiden oder die Vergrasung von Silbergrasfluren. Tendenziell steigt der Grad der Verbuschung oder der Einfluss von Stör-/ Eutrophierungszeigern zum rechten Rand des Gesamtordinationsraums an.

Jeder anderen Pflanzenart und jedem Strukturparameter kann auf diese Weise eine Position und ein Verteilungsmuster im Ordinationsraum zugewiesen werden. Der Schaf-Schwingel (*Festuca ovina* agg.) als charakteristische Art der Sandtrockenrasen, befindet sich z.B. im unteren rechten Bereich des Ordinationsraums und kennzeichnet damit auch die Lage dieser Vegetationseinheit.

Definition einer funktionalen Aggregierungsvorschrift

Auf Grundlage einer eindeutigen Strukturierung des Ordinationsraumes lässt sich aus der Überlagerung der Verteilungsmuster einer definierten Anzahl diagnostischer Arten (z.B. Charakterarten, Differentialarten) oder von Zusatzinformationen wie Standortparameter eine Wahrscheinlichkeitsmatrix für das Auftreten einer Vegetationseinheit oder eines Lebensraumtyps nach einer spezifischen funktionalen Vorschrift aggregieren.

Bei der Funktionsvorschrift handelt es sich um eine kumulierte, standardisierte, gewichtete Verknüpfung der Deckungsgradverteilungen, wobei die Operanten, die Gewichtung und auch die Art der Funktion (linear, exponentiell) anhand nachvollziehbarer Kriterien festgelegt werden und bei Bedarf verändert oder ergänzt werden können. Jede durch geostatistische Verfahren ermittelte Einzelausprägung von Arten und Strukturparametern kann somit in eine sinnvolle Beziehung zur Repräsentation eines bestimmten Typus, oder speziell einer Vegetationseinheit gesetzt werden. Das Ergebnis der Funktionsvorschrift ist demnach die Transformation einzelner Parameter in prozentuale Vorkommenswahrschein-

lichkeiten einer bestimmten Vegetationseinheit, eines Biotoptyps oder eines Lebensraumtyps, die auf der Grundlage von Expertenwissen entwickelt wurde.

In Abbildung 3.3.3d wird dieses Verfahren exemplarisch für die Definition des LRT-2330 dargestellt. Es lassen sich Charakterarten, Differentialarten und Zusatzinformationen wie Strukturparameter in den Ordinationsraum quantitativ übertragen (blaue Umrandung) und zu einer Gesamtwahrscheinlichkeit (grüne Umrandung) für das Auftreten eines Typus zusammenfügen. Es ist zu beachten, dass die genauen Deckungsgradangaben (in % Anteil) in Wahrscheinlichkeitswerte (in 0 bis 100% Vorkommen) übertragen werden. Für die Definition des LRT-2330 können die Charakterart *Corynephorus canescens* und der Strukturparameter offener Boden sowie die Differentialarten *Spergula moresonii* und *Rumex acetosella* im Ordinationsraum vorhergesagt und in eine Funktion zur Ableitung der Vorkommenswahrscheinlichkeit überführt werden

Die Wahrscheinlichkeitsmatrix einer so definierten Vegetationseinheit kann unter Nutzung spektraler Variablen für die Analyse räumlicher digitaler Bilddatensätze angewendet werden (Absatz 3.3.5 folgend).

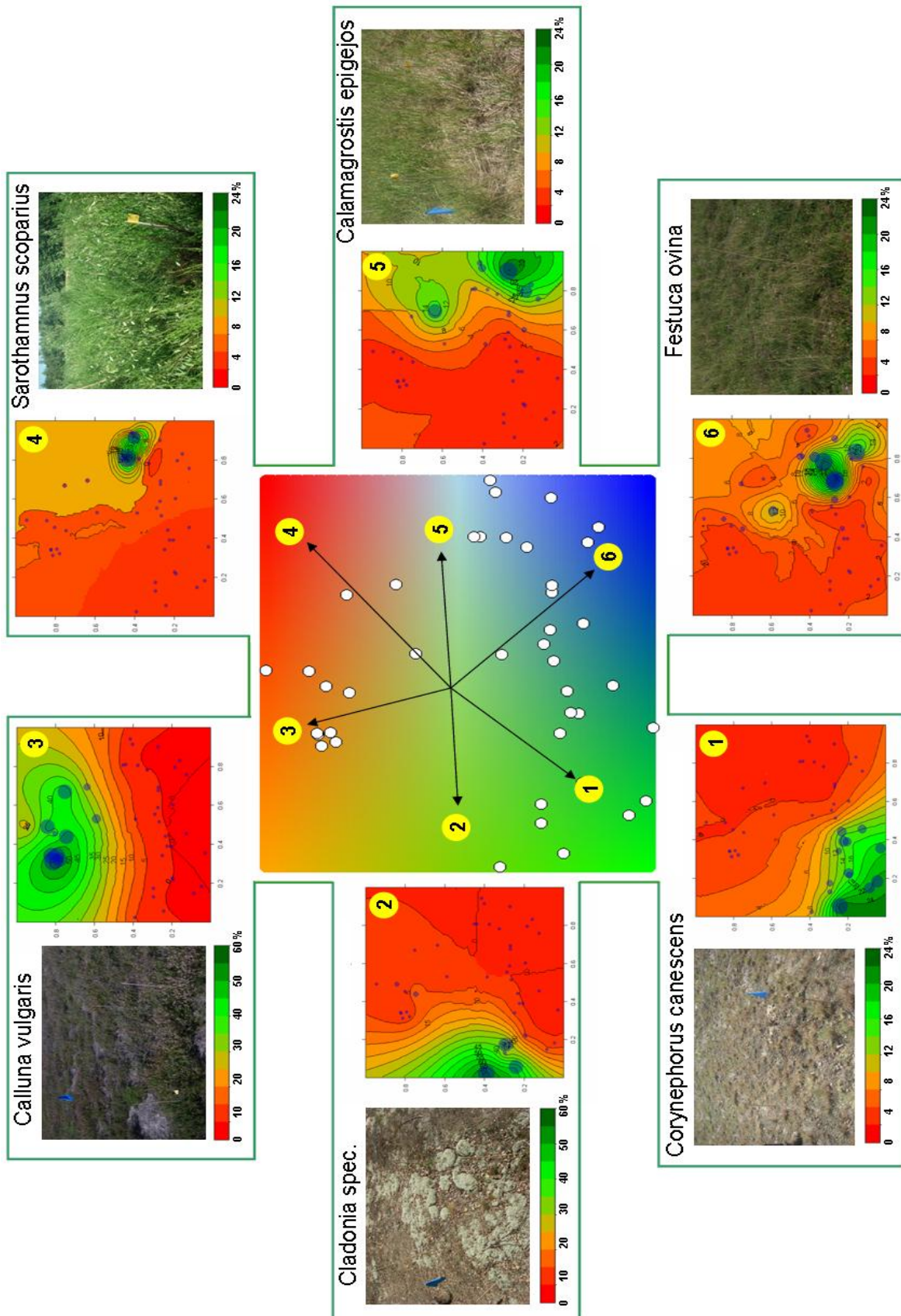


Abbildung 3.3.3c: Darstellung der durch Einzelpunkte determinierten Farbbereiche der gesamten Ordinationsraumstruktur (Mitte) und die durch geostatistische Verfahren abgeleiteten quantitativen Deckungsgradverteilungen diagnostischer Arten (Ränder)

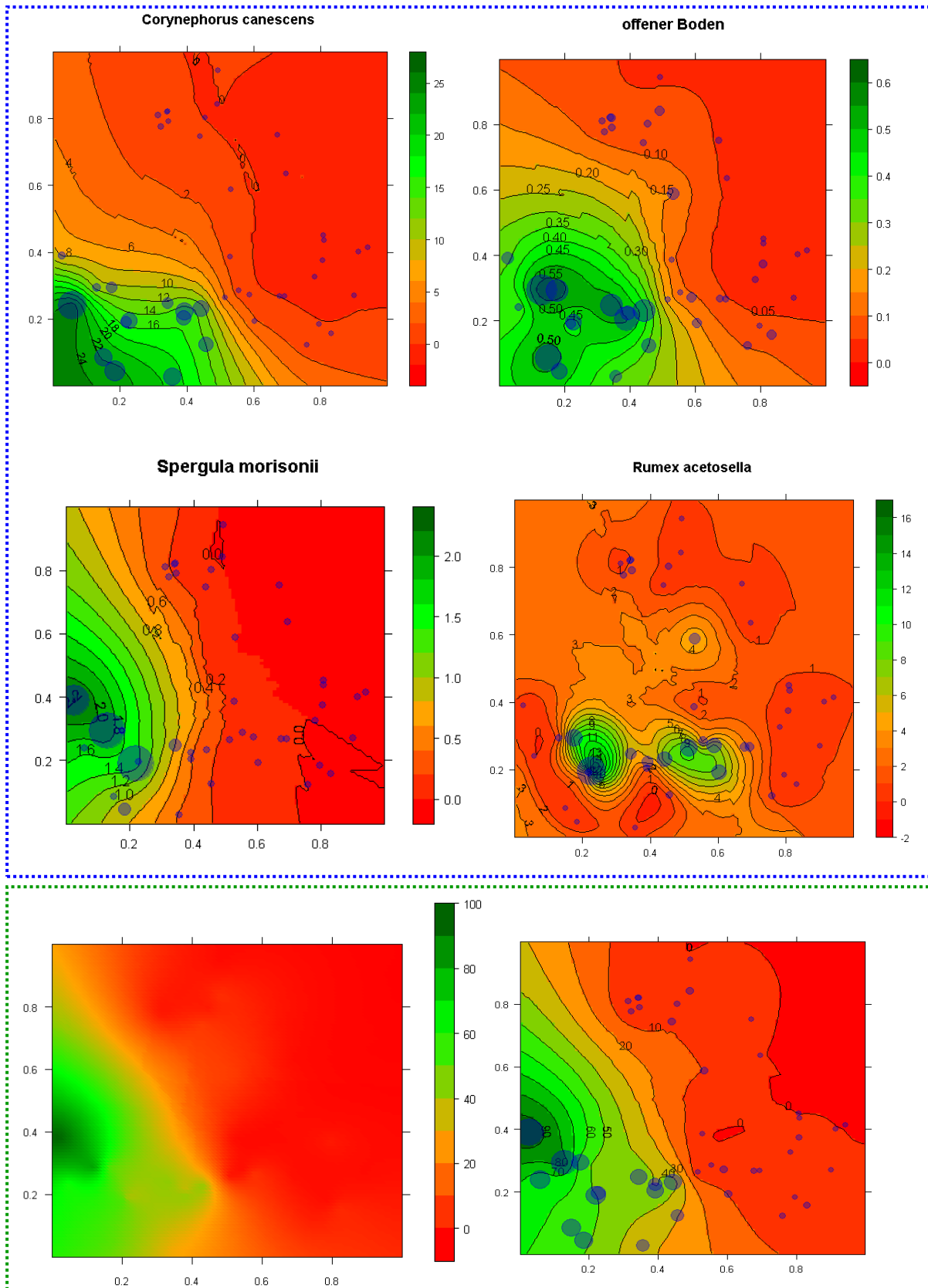


Abbildung 3.3.3b: exemplarische Darstellung einer funktionalen Vorschrift zur Ordinationsraumaggregation; blau: quantitative Deckungsgradverteilung von Charakterarten, Differentialarten und Strukturparametern; grün: Ergebnis der Aggregierungsvorschrift in kontinuierlicher und Konturliniendartselung von Vorkommenwahrscheinlichkeiten

3.3.4. Methodik des Verfahrens zur Bewertung von FFH Lebensraumtypen

Analyse des terrestrischen Verfahrens zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen

Hintergrund

Für die Entwicklung des spektralen Bewertungs-Verfahrens war es wichtig, die Zielstellungen und Verfahren der terrestrischen Bewertung von Lebensraumtypen zu analysieren, um daraus die notwendigen Anforderungen an das spektrale Verfahren abzuleiten.

Hintergrund ist dabei die Zielstellung der FFH-Richtlinie, die „Erhalt und Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes von ausgewählten Lebensraumtypen und Arten“ und ein „Allgemeines Verschlechterungsverbot (Art. 6,2 FFH-RL)“ nennt.

Die FFH-Richtlinie verpflichtet die Mitgliedsländer deshalb zur Durchführung eines allgemeinen Monitorings in den gemeldeten FFH- und SPA-Gebieten (Natura 2000-Gebiete). Die Monitoring-Ergebnisse aus den einzelnen Gebieten werden auf nationaler bzw. biogeographischer Ebene zusammengefasst und als Bericht regelmäßig alle sechs Jahre an die EU gesandt. Die Zuständigkeit für die Erhebung der Daten, deren Bewertung und Zusammenfassung liegt in Deutschland bei den Bundesländern.

Terrestrisches Bewertungsverfahren

Dazu erarbeiteten mehrere Bund-Länder-Arbeitskreise (LANA 2001) „Mindestanforderungen für die Erfassung und Bewertung von Lebensräumen und Arten sowie die Überwachung“. Diese wurden von den einzelnen Bundesländern an die regionalen Rahmenbedingungen angepasst. Als Ergebnis liegen nun entsprechende Bewertungsschemata für den Erhaltungszustand von Arten und LRT sowohl auf nationaler (BfN 2008) als auch auf Ebene der Bundesländer vor.

Als günstiger Erhaltungszustand gilt dabei ein hervorragender (A) oder guter Erhaltungszustand (B), während ein schlechter Erhaltungszustand (C) als ungünstig eingestuft wird.

Die terrestrische Bewertung dieses Erhaltungszustandes erfolgt anhand von drei Hauptbewertungskriterien: Habitatstrukturen, Arteninventar und Beeinträchtigungen.

Diese setzen sich jeweils aus einzelnen (Unter-)Kriterien zusammen. Dabei werden v.a. die Vollständigkeit und die Ausprägung der charakteristischen Gesellschaften/ Biotope bewertet. Innerhalb der Hauptkriterien „Habitatstrukturen“ und „Arteninventar“ werden die Zustandsstufen der Unterkriterien verrechnet, während bei den „Beeinträchtigungen“ die stärkste Beeinträchtigung (mit der schlechtesten Bewertung) gültig ist.

Analyse der Parametrisierung der terrestrischen Bewertungsschemata

Um einen Überblick über die Kriterien und die Variationsbreite innerhalb der Bundesländer im Grad ihrer Parametrisierung und der Zuordnung zu den Hauptkriterien zu erhalten, wurden die Bewertungsschemata des Grünland-Arbeitskreises der LANA (BfN, 2003), Brandenburgs (Zimmermann 2011), Sachsens (LULG 2009) und z.T. Sachsen-Anhalts (Schuboth & Frank 2010) und Niedersachsens (NLWKN, 2011) ausgewertet.

Die Arbeitskreise der LANA forderten, dass alle Parameter, soweit dies fachlich sinnvoll ist, mit Schwellenwerten unterlegt werden sollten (BfN 2008). Die von der LANA festgelegten Schwellenwerte sind als Richtwerte gedacht, und wurden von den Bundesländern überprüft und mehr oder weniger stark verändert an die regionalen und naturräumlichen Gegebenheiten angepasst. Aktuell gibt es deshalb neben Parametern mit Schwellenwerten auch solche, die auf einer auf Erfahrung gegründeten Einschätzung

der Gutachter beruhen, z.B. Abstufungen wie: fehlend – deutlich – erheblich, fehlend – gering – flächig, fehlend – vereinzelt – mehrfach, vergleichsweise wenig, überwiegend u.a. Dies ist aus ökologischer Sicht verständlich, da sich Ausprägungen häufig nur relativ zueinander und innerhalb einer bestimmten Region als gut, mittel oder schlecht bestimmen lassen. Doch erschwert dies die spektrale Nachvollziehbarkeit eines Parameters. Zu den eher komplexen Kriterien von Offenland-LRT gehören z.B. Altersstadienstruktur (Entwicklungsphasen), Vegetationsmosaik oder –komplexe, Lebensformen (Gräser, hoch-, mittel-, niedrigwüchsig, niedrigwüchsige Kräuter, o.ä.), Vegetationsschichtung, Relief/ Bodenstruktur. Mit Schwellenwerten sind meist einfache Kriterien unterlegt, wie z.B. Artenzahlen, Anteil offener Boden, Flechtendeckung, Moosdeckung, Gehölzdeckung, Grasdeckung etc.

Insgesamt zeigten sich bei der Analyse der untersuchten terrestrischen Bewertungsschemata deutliche Probleme, diese in ein spektrales Verfahren zu übersetzen:

- viele Kriterien ohne Schwellenwerte
- viele Abweichungen zwischen den einzelnen Bewertungsschemata eines LRT bei Kriterien mit Schwellenwerten
- Schwellenwerte zwischen günstigem und ungünstigem Erhaltungszustand z.T. zu niedrig, um sie spektral unterscheiden zu können
- Hauptparameter „Arteninventar“ lässt sich spektral nicht einschätzen.

Schlussfolgerungen

Für die Bewertung einer LRT-Fläche wird terrestrisch ein profundes Expertenwissen vorausgesetzt, dass in den Bewertungsschlüsseln nur in Ausnahmefällen parametrisiert wurde.

Das terrestrische Bewertungsverfahren eignet sich sowohl bei der Auswahl der Kriterien, ihrer Parametrisierung und ihrer Verrechnungsalgorithmen nicht für die Anwendung oder Anpassung in einem spektralen Verfahren.

Spektrales Bewertungsverfahren von FFH-Lebensraumtypen

Modell

Folgende Hypothesen bilden die Grundlage des spektralen Bewertungsverfahrens für Offenland-LRT:

1. Die spektrale Erfassungs- und Bewertungsmethode kann eine terrestrische Kartierung aufgrund der Variabilität von Pflanzenbeständen und Standorten nicht ersetzen, sondern sie bestimmt Flächen, auf denen ein LRT bzw. ein LRT in einem bestimmten Erhaltungszustand mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auftritt
→ das Verfahren muss nicht den Genauigkeitsgrad der terrestrischen Bewertungsverfahren erreichen
2. Naturschutzfachlich relevant ist die Unterscheidung zwischen Erhaltungszustand B und C eines LRT (Verschlechterungsverbot in der FFH-Richtlinie)
→ im Verfahren ist die Abgrenzung zwischen den Erhaltungszuständen A und B zweitrangig.
3. Wenn eine Fläche im vorangegangenen Verfahren (vgl. letzter Abschnitt) einem LRT zugeordnet wurde, dann wird davon ausgegangen, dass sie das Mindestartenspektrum des LRT aufweist und damit zumindest die Erhaltungsstufe C beim Hauptparameter „Arteninventar“ erreicht. Zudem wird davon ausgegangen, dass es eine Korrelation zwischen dem Zustand der beiden anderen Hauptparameter „Habitatstrukturen“ und „Beeinträchtigungen“ mit dem „Arteninventar“ gibt:

je besser die Habitatstruktur und je geringer die Beeinträchtigungen, desto besser wird auch das Arteninventar sein. Daraus wird geschlussfolgert, dass das terrestrische Hauptkriterium „Arteninventar“ durch Beeinträchtigungs- und Habitatkriterien für das Aussageziel ausreichend abgedeckt werden kann.

→ im Verfahren kann auf die Berücksichtigung des „Arteninventars“ verzichtet werden.

4. Viele Habitatstrukturen sind wie das Arteninventar mit dem Beeinträchtigungsgrad korreliert, d.h. je größer die Beeinträchtigungen sind, desto stärker werden auch die Habitatstrukturen in Mitleidenschaft gezogen.

→ Beeinträchtigungen stellen die wichtigsten Kriterien dar, die den Erhaltungszustand eines Offenland-LRT bestimmen.

Die Kriterien des Verfahrens

Die sinnvolle Aggregation des Ordinationsraumes im ordinalen Verfahren kann nur unter Integration von Expertenwissen erfolgen, wobei die jeweils ausgewählten Kriterien, Arten und Gewichtungen aus der Funktionsvorschrift für Außenstehende jederzeit nachvollzogen werden kann. Einer im Gelände durchgeführten Bewertung, die auch von subjektiven Kriterien bestimmt wird, steht hier eine reproduzierbare Funktionsvorschrift gegenüber, die eine Anpassung an den jeweiligen Untersuchungsraum zulässt. Als wichtigste Kriterien des spektralen Verfahrens werden Beeinträchtigungen eingestuft. Unter den Beeinträchtigungen in Offenland-Lebensraumtypen wiederum stellen:

- Vergrasung
- Verbuschung/ Gehölzdeckung
- Störzeiger wie Ruderalarten, Nährstoff-/Eutrophierungszeiger, Neophyten

die bestimmenden Unterkriterien dar.

Da das Verfahren auf der Verteilung der Einzelarten im Ordinationsraum beruht, kann jedes der drei Kriterien durch die Verteilung der im jeweiligen LRT relevanten Arten definiert werden. Entsprechend ist es möglich, das Kriterium z.B. in anderen Gebieten durch die dort vorhandenen Arten neu anzupassen/ festzulegen. Darüber hinaus wurden je nach LRT weitere Kriterien als den Erhaltungszustand prägend und spektral erfassbar ausgewählt. Zumeist gehören sie im terrestrischen Verfahren zu den Unterkriterien der „Habitatstrukturen“.

Festlegung von Schwellenwerten für die Bewertung von Lebensraumtypen

Für die Festlegung von Grenzwerten zwischen den einzelnen Bewertungsstufen wurden die von der LANA genannten Schwellenwerte bevorzugt. Waren Anpassungen nötig, erfolgte dies unter Berücksichtigung weiterer Bewertungsschemata. Für neu eingeführte Kriterien, die spektral gut erfassbar sind und aus deren Ausbildung eine deutliche Aussage über die LRT-Fläche abgeleitet werden kann, wurden erstmals Schwellenwerte aus textlichen Beschreibungen und Expertenwissen abgeleitet.

Da die, für das spektrale Verfahren ausgewählten Kriterien immer auch eine „Vertreterfunktion“ haben, die andere spektral nicht differenzierbare Eigenschaften der Pflanzenbestände integrieren, wurden die Schwellenwerte an eine optimale spektrale Vorhersage angepasst und können deshalb von den terrestrischen Grenzwerten deutlich abweichen. Durch die nachträgliche Klassenbildung der einzelnen Bewertungsstufen (a posteriori-Klassifikation), besteht bei jedem einzelnen Schwellenwert die Möglichkeit, ihn bei Bedarf anzupassen, ohne das gesamte Prozedere nochmals neu durchführen zu müssen, wie dies bei einem Klassifikations-Verfahren (a-priori-Verfahren) notwendig wäre.

Funktionsvorschrift

Für die ausgewählten Kriterien wurden für jeden LRT eine Funktionsvorschrift entwickelt und für die jeweiligen Bewertungskriterien optimiert (vgl. Absatz 3.3.3).

Die Vorkommenswahrscheinlichkeiten der drei Beeinträchtigungsparameter sollen zur Überprüfung der Relevanz und Aussagefähigkeit am Beispiel der Aggregierungsvorschrift des LRT 6120 für Verbuschung (Abb. 3.3.4a), Vergrasung (Abb. 3.3.4b) und Stör- und Eutrophierungszeiger (Abb. 3.3.4c) im UG Hasenheide dargestellt werden.

Die Vorkommenswahrscheinlichkeit für Verbuschungzeiger im UG Hasenheide (Abb. 3.3.4a) erreicht Maximalwerte von 45%, wobei diese vorwiegend um die bereits ausmaskierten Vorwaldstadien im Süd-Osten und Nord-Westen erreicht werden. Aber auch im Norden bei zunehmender Ginsterverbuschung werden hohe Werte vorhergesagt. Minimalwerte werden in einem Wertebereich von 5-15% erreicht. Das Ausbleiben von Werten mit 0% Wahrscheinlichkeit ist in der Restvariabilität des Vorhersagemodells zu erklären, welche eine statistisch signifikante Differenzierung der Grünanteile mittels spektraler Signaturen von vergrasteten Bereichen nicht ermöglicht.

So wird auch für die Vorhersage von Vergrasung (Abb. 3.3.4b) keine Wahrscheinlichkeit von <12% erreicht. Aus diesen Gründen einer nur unzureichenden spektralen Differenzierbarkeit wurden die Schwellenwerte für eine spektrale Bewertung heraufgesetzt.

Anders verhält es sich bei den Stör- und Eutrophierungszeigern (Abb. 3.3.4cXy). Diese können in der gesamten Variationsbreite ihres Vorkommens räumlich explizit abgebildet werden. Zwar korreliert das Vorkommen in einigen Bereichen stark mit dem Auftreten von Verbuschung was wiederum in einer nur unzureichenden spektralen Vorhersagbarkeit gleichwertiger spektraler Signaturen zu begründen ist, aber auf kleiner Skala lassen sich eindeutige Abgrenzungen zu den übrigen Beeinträchtigungsparametern erkennen.

Zusammenfassend kann mit dem entwickelten spektralen Bewertungsverfahren eine hinreichende Abbildung einzelner Bewertungskriterien innerhalb der Sandtrockenrasen (bzw. des LRT 6120) erzielt werden. Unter Berücksichtigung der Einschränkungen von spektralen Vorhersagbarkeiten lassen sich damit auch die anderen Lebensraumtypen trockener Offenlandstandorte die räumliche Verteilung einzelner Bewertungskriterien darstellen. Es soll darauf hingewiesen werden, dass diese Informationen auch bei der Planung von Managementmaßnahmen genutzt werden könnten. Darüber hinaus wurden je nach LRT weitere Kriterien als den Erhaltungszustand prägend und spektral erfassbar ausgewählt. Zumeist gehören sie im terrestrischen Verfahren zu den Unterkriterien der „Habitatstrukturen“.

Festlegung von Schwellenwerten für die Bewertung von Lebensraumtypen

Für die Festlegung von Grenzwerten zwischen den einzelnen Bewertungsstufen wurden die von der LANA genannten Schwellenwerte bevorzugt. Waren Anpassungen nötig, erfolgte dies unter Berücksichtigung weiterer Bewertungsschemata. Für neu eingeführte Kriterien, die spektral gut erfassbar sind und aus deren Ausbildung eine deutliche Aussage über die LRT-Fläche abgeleitet werden kann, wurden erstmals Schwellenwerte aus textlichen Beschreibungen und Expertenwissen abgeleitet.

Da die, für das spektrale Verfahren ausgewählten Kriterien immer auch eine „Vertreterfunktion“ haben, die andere spektral nicht differenzierbare Eigenschaften der Pflanzenbestände integrieren, wurden die Schwellenwerte an eine optimale spektrale Vorhersage angepasst und können deshalb von den terrestrischen Grenzwerten deutlich abweichen.

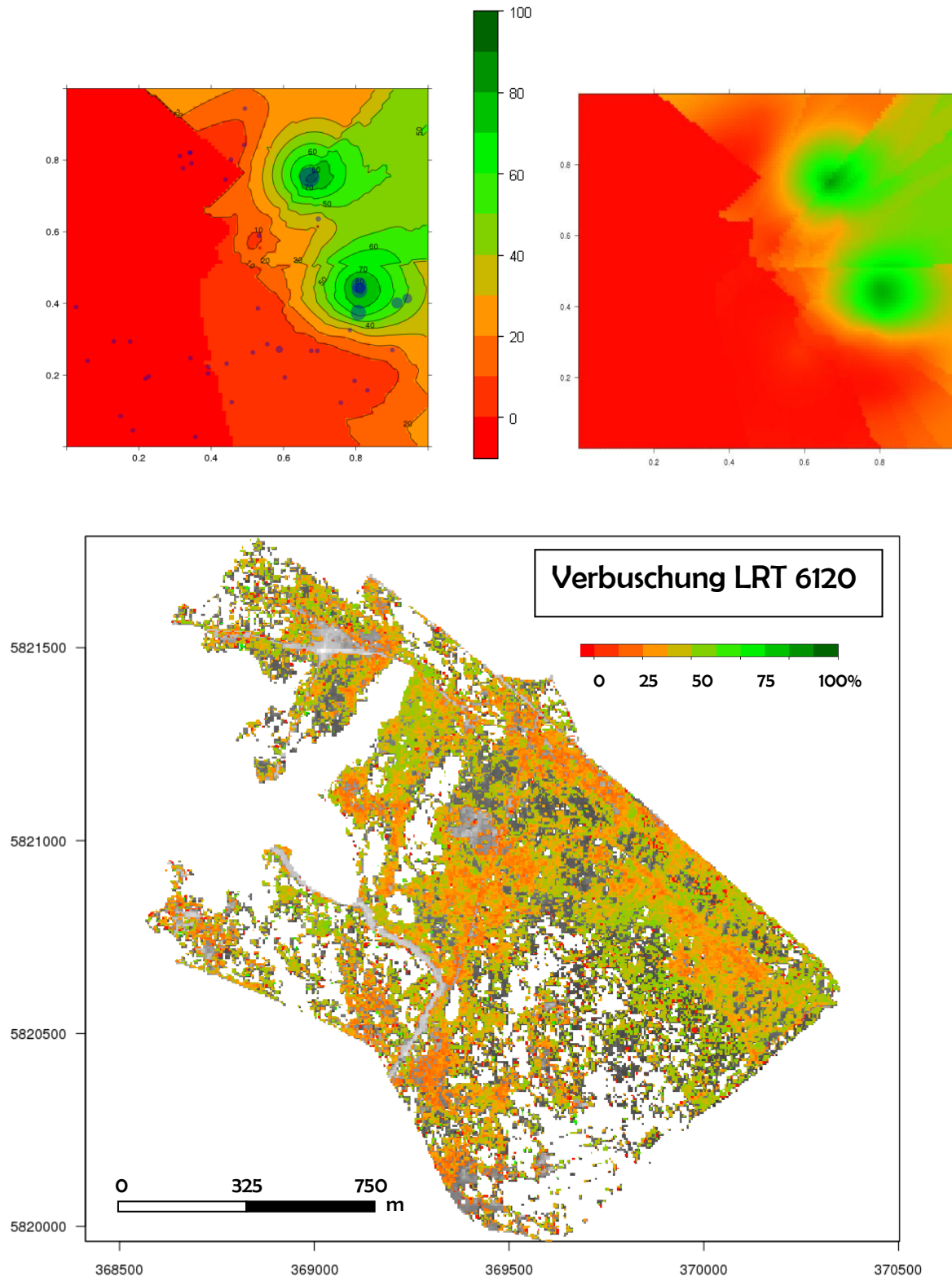


Abbildung 3.3.4a: Räumliche Abbildung der Vorkommenwahrscheinlichkeit für den Beeinträchtigungs-parameter Verbuschung basierend auf spektraler Modellierung

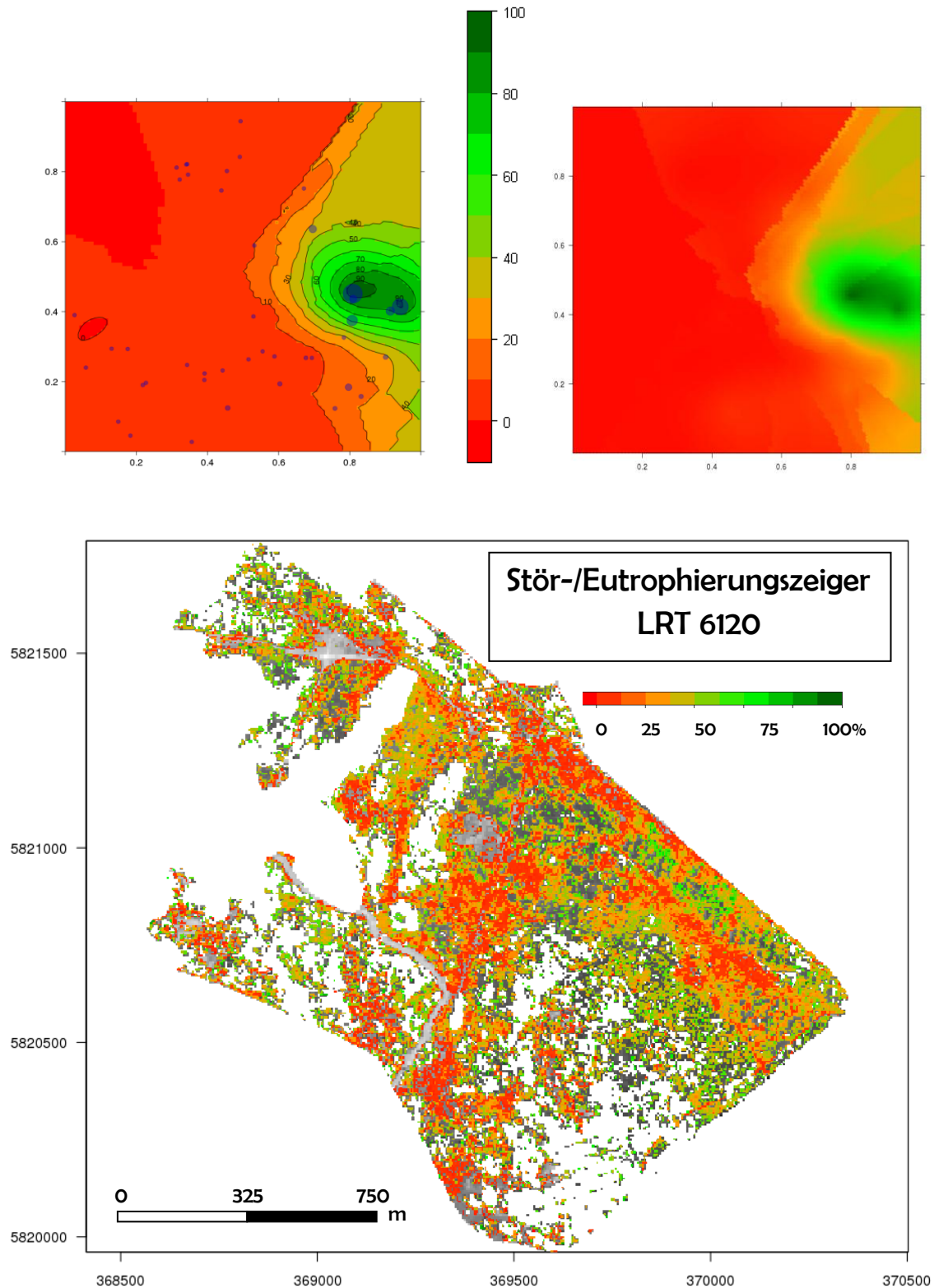


Abbildung 3.3.4b: Räumliche Abbildung der Vorkommenwahrscheinlichkeit für den Beeinträchtigungs-parameter Stör-/Eutrophierung basierend auf spektraler Modellierung

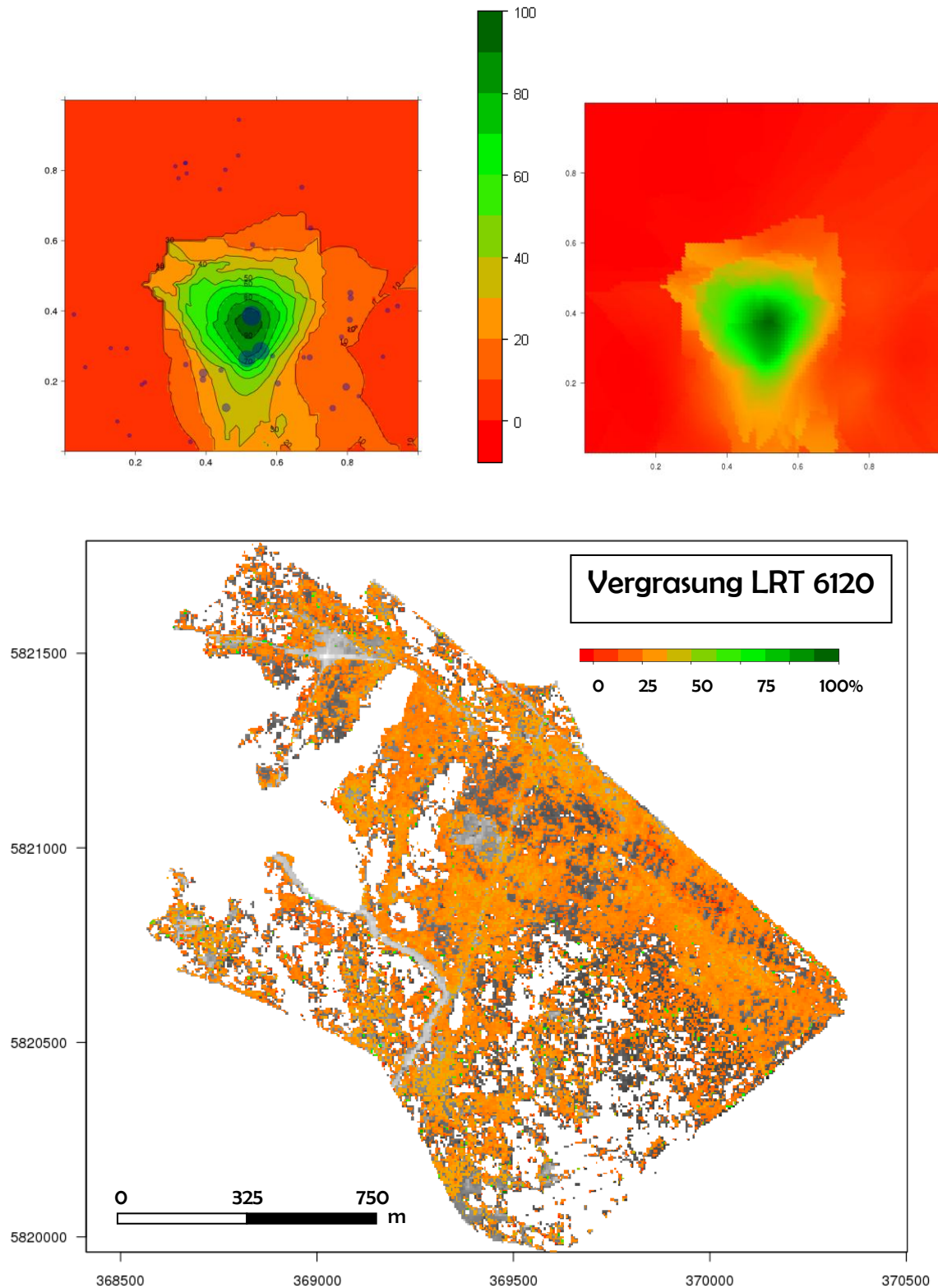


Abbildung 3.3.4c: Räumliche Abbildung der Vorkommenwahrscheinlichkeit für den Beeinträchtigungs-parameter Vergrasung basierend auf spektraler Modellierung

3.3.5 Anwendungsbeispiele zur Abgrenzung von FFH-Lebensraumtypen

Räumliche Vorhersage von „Offenen Grasfluren mit *Corynephorus* und *Agrostis* auf Binnendünen (= Silbergrasfluren) - LRT 2330

Charakterisierung von Silbergrasfluren

Obwohl echte Binnendünen im Untersuchungsgebiet selten sind (aktuell nur im Nordosten der Döberitzer Heide), gibt es noch ausgedehnte Silbergrasfluren und andere Pioniergrasfluren, die in ihrer Struktur und Artenzusammensetzung dem LRT 2330 entsprechen. Aufgrund der vergleichsweise einfachen Struktur und Artenzusammensetzung von Silbergrasfluren wurde der LRT 2330 für die Methodenentwicklung und Testung ausgewählt.

Definition LRT 2330 - Silbergrasfluren auf Binnendünen

SSYMANK et al. (1998) definieren den LRT 2330 „Offenen Grasfluren auf Binnendünen“ als „Offene, meist lückige Grasflächen auf bodensauren Binnendünen: Kleinschmielen-Rasen (Thero-Airion), Silbergrasrasen (*Corynephorion canescentis*), ausdauernde lückige Sandtrockenrasen mit *Agrostis vinealis*, *Carex arenaria* u.a.“

Silbergrasfluren in der Döberitzer Heide

Silbergrasfluren (Anhang VEG1), waren als Pionierfluren auf Sandböden in der Döberitzer Heide weit verbreitet (vgl. Kapitel 3.1, Fürstenow & Hinrichsen, 2001), sind jedoch nach Aufgabe der militärischen Nutzung stark zurückgegangen.

Die typischen Silbergraspionierfluren auf wenig festgelegten Sandböden sind vergleichsweise artenarm, neben der namensgebenden Art Silbergras (*Corynephorus canescens*) kommen im Frühjahr bis Frühsommer hauptsächlich annuelle Begleitarten wie Acker-Spergel (*Spergula morisoni*), Bauernsenf (*Teesdalia nudicaulis*) oder Krähenfuß (*Ornithopus perpusillus*) vor. Entsprechend ist ein hoher Anteil an offenem humusarmen Sandboden kennzeichnend, gleiches gilt zudem für die Übergangsform zu den Sandtrockenrasen (Untereinheit 2.2).

Ältere Stadien sind zum einen (Untereinheit 2.1) durch das Auftreten von mehrjährigen Arten der Sandtrockenrasen wie z.B. *Kleinem Habichtskraut* (*Hieracium pilosella*), Sand-Strohblume (*Helichrysum arenarium*) oder Rot-Straußgras (*Agrostis capillaris*) oder durch das verstärkte Vorkommen von Flechten und Moosen wie *Polytrichum piliferum* und *Cladonia*- und *Cetraria*-Arten (Untereinheit 1.1) gekennzeichnet. In der Döberitzer Heide sind auf ungestörten, besonders nährstoffarmen, bodensauren Substraten ausgesprochen flechtenreiche Altersstadien zu finden, in denen das Silbergras gegenüber den Flechten und Moosen fast vollständig zurücktritt.

Mosaikartige Bestände mit Heidekraut (*Calluna vulgaris*) können als Übergangsstadien der beiden Gesellschaften angesehen werden (Untereinheit 2.5).

Beeinträchtigungen und mögliche Effekte durch die Wildtierbeweidung

Silbergrasfluren sind v.a. durch den Rückgang der offenen Sandböden und damit der Pionierstadien durch fortschreitende Sukzession, Vergrasung und Verbuschung oder Ruderalisierung gefährdet. Vergraste Stadien finden sich bei den Übergangsstadien zu den Sandtrockenrasen (s.o.). Ruderalisierte Silbergrasfluren (Untereinheit 2.3) werden durch das Auftreten von Landreitgras (*Calamagrostis epigeios*) abgebaut. Es wird davon ausgegangen, dass das anstehende Substrat hier basenreicher ist. Übergänge

zu ruderal geprägten Verbuschungsstadien bilden Bestände in denen sich Brombeeren und Kratzbeere (*Rubus spec.*) oder Gehölzarten ausbreiten (Untereinheit 1.4, 2.4).

Tabelle 3.3.5a: Silbergrasfluren in der Döberitzer Heide (Level 3 und 4)

Einheit Level 3 und 4	charakteristische Merkmale und Arten	Mögliche Beeinträchtigungen	Möglicher Einfluss durch große Pflanzenfresser
1.1 - flechtenreich	Geringe Deckung offener Boden, Flechten und Moose: z.B. <i>Cladonia spec.</i> , <i>Cetraria spec.</i> , <i>Polytrichum piliferum</i>	* Verbuschung * Degradierung durch Beschattung * Alterung * Eutrophierung	+ Zurückdrängung der Verbuschung - teilweise Verdrängung der trittempfindlichen Flechtenrasen
1.4/ 2.4 - verbuscht	Höhere Deckungen von <i>Rubus spec.</i> , <i>Prunus serotina</i>	* Zunahme der Verbuschung * Degradierung durch Beschattung	+ Zurückdrängung der Verbuschung + Zunahme der Pionierarten
2.1/ 2.2 – Übergang zu Sandtrocken-rasen	Geringe bis mittlere Deckung offener Boden, höhere Artenzahl, z.B. <i>Hieracium pilosella</i> , <i>Helichrysum arenarium</i> , <i>Jasione montana</i> , <i>Agrostis capillaris</i>	* Verlust, da Silbergras durch Sukzession verdrängt wird * Ausbreitung von Landreitgras	+ Offenhaltung durch Tritt - Rückgang durch starke Trittbelastung -> typische Ausbildung oder vegetationsloser Sand + Rückdrängung von Landreitgras
2.2 – typisch	Hohe Deckung offener Boden, Artenarmut, annuelle Arten im Frühjahr: z.B. <i>Spergula morisonii</i> , <i>Teesdalia nudicaulis</i> , <i>Ornithopus perpusillus</i>	* Verlust, da Silbergras durch Sukzession verdrängt wird	+ Offenhaltung durch Tritt - Rückgang durch zu starke Trittbelastung -> vegetationsloser Sand
2.3 – ruderalisiert	Höhere Deckung von <i>Calamagrostis epigeios</i>	* Verlust durch Zunahme des Landreitgras	+ Rückdrängung des Landreitgras
2.5. Übergang zu Heiden	Höhere Deckung von <i>Calluna vulgaris</i>	* Verlust, da Silbergras durch Sukzession verdrängt wird	+ Rückdrängung der Heide

Durch die Beweidung mit Wildtieren entstehen z. B. durch Wälzen im Sand und durch Tritt neue offene, vegetationsfreie Sandstellen. Werden diese nur sporadisch genutzt können sich Silbergrasfluren neu ausbilden und damit langfristig im Gebiet erhalten werden. Typische konkurrenzschwache Arten, die entweder durch die Festlegung der Sande während der Sukzession (Pionierarten) oder z.B. durch Tritt verschwinden (störungsempfindliche Arten wie Strauchflechten), können bei einer großflächigen Wildtierbeweidung wieder ökologische Nischen finden.

Funktionsvorschrift zur räumlichen Vorhersage für den LRT 2330

Um den Lebensraumtyp 2330 - Silbergrasfluren auf Binnendünen oder Flugsanden von Silbergrasfluren anderer geologischer Formen abzutrennen, müssen weitere externe Information zur Geologie des jeweiligen Untersuchungsgebietes mit den Ergebnissen des Verfahrens verschnitten werden. Am günstigsten ist es, wenn die räumliche Information „Binnendüne“ schon vorab mit dem Untersuchungsgebiet verschnitten wird. Dieser erste selektive Schritt wurde in der Döberitzer Heide nicht durchgeführt.

Um die Silbergrasfluren von alle anderen Gesellschaften/ LRT abgrenzen zu können, werden Arten vorausgewählt, die sich in der Vegetationstabelle als charakteristisch herauskristallisiert haben (Arten der Silbergrasfluren). Diese Arten wurden im Arten- und Spektralraum der Ordination daraufhin überprüft, ob sie auch dort mit hoher Wahrscheinlichkeit „Silbergrasfluren“ abbilden können.

Als gute diagnostische Arten und Parameter erwiesen sich für die Silbergrasfluren, bzw. den LRT 2330:

- Silbergras (*Corynephorus canescens*),
- Acker-Spörgel (*Spergularia morisonii*),
- das Moos *Polytrichum piliferum*,
- Rentierflechten (*Cladonia spec.*) mit einem Wichtungsfaktor von 0,3 und
- der Anteil an offenem Boden.

Diese Arten/ Artengruppen und Standortparameter werden in allen untersuchten Bewertungsschemata als charakteristisch bzw. LRT-kennzeichnend eingestuft. Sie haben zudem eine enge ökologische Bindung an das Habitat „Offene Grasfluren auf Sandböden“. Da dieses Habitat in seinen flechtenarmen Stadien durch einen gewissen Anteil offenen Sandbodens gekennzeichnet ist, können diese diagnostischen Arten“ Silbergrasfluren gut abbilden (vgl. Abb. Xy in 3.1.3).

Im aggregierten Ordinationsraum der trockenen Standorte nehmen die Silbergrasfluren den linken unteren Bereich ein (Abbildung 3.3.5a). Die zur Vorhersage der Vorkommenswahrscheinlichkeiten genutzte lineare Funktionsvorschrift bezieht mit Ausnahme der Rentierflechten sämtliche diagnostischen Arten und Parameter mit einer einheitlichen Gewichtung ein.

Es lassen sich sowohl Übergänge zu den Sandtrockenrasen als auch zu den Heiden identifizieren (Abbildung 3.3.3c). Aber auch Verbuschungstendenzen (in Richtung Zentrum des Ordinationsraumes) sind bei geringer werdenden Wahrscheinlichkeiten zu detektieren. Als Grenze des potentiellen Auftretens des LRT 2330 wurde eine Wahrscheinlichkeit von >30% gewählt. Für Wahrscheinlichkeiten < 30% sind die Übergänge zu Heiden und Sandtrockenrasen bereits zu stark ausgeprägt, so dass davon ausgegangen wird, dass dort keine lebensraumtypischen Strukturen mehr vorhanden sind, die dem LRT zuzuordnen wären.

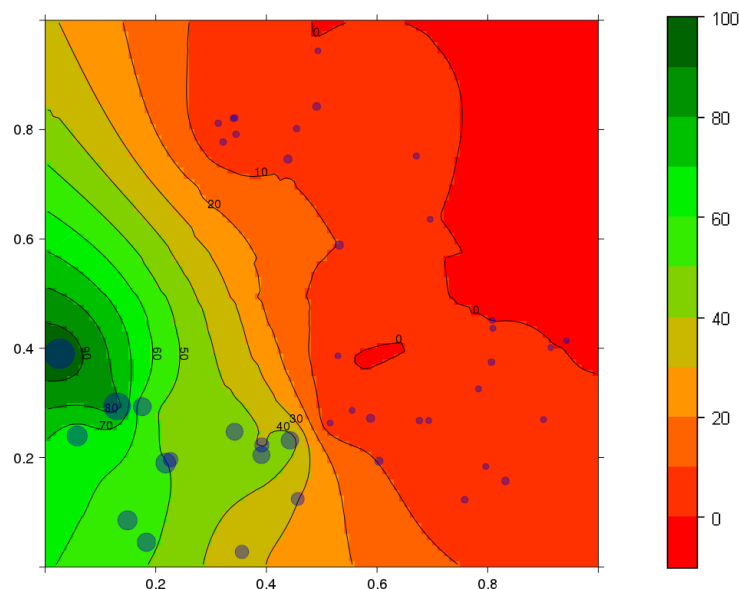


Abbildung 3.3.5a: Aggregierte Vorkommenswahrscheinlichkeit im Ordinationsraum für den LRT-2330

Auf der Grundlage dieses Modells und der Hyperspektraldaten (HyMAP) kann eine räumliche Vorhersage der Wahrscheinlichkeitsverteilung des LRT im Untersuchungsgebiet ermittelt werden, die für die Teilgebiete Hasenheide und Naturschutzzentrum beispielhaft dargestellt sind.

In der Hasenheide (Abb. 3.3.5b) sind entlang der Wege und in ein zwei größeren Komplexen Wahrscheinlichkeiten von über 60% (hellgrün) erfasst worden. Aber auch in den südlichen Bereichen können zwischen Vorwaldstadien Silbergrasfluren mit durchgehend hoher Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden. Es treten verstärkt mosaikartige Übergänge zu Heidestandorten auf (Wahrscheinlichkeit 20%), da in beiden Vegetationstypen die in der Funktionsvorschrift bei den Silbergrasfluren berücksichtigten Kryptogamen stark vertreten sind. Auf Standorten der Sandtrockenrasen werden durchgehend Wahrscheinlichkeiten von 0-10% vorhergesagt. Von einer starken Durchdringung von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen im Gebiet ist daher nicht auszugehen. Vielmehr scheinen sie im Gebiet bei fortschreitender Sukzession zum Übergang zu Heiden zu neigen.

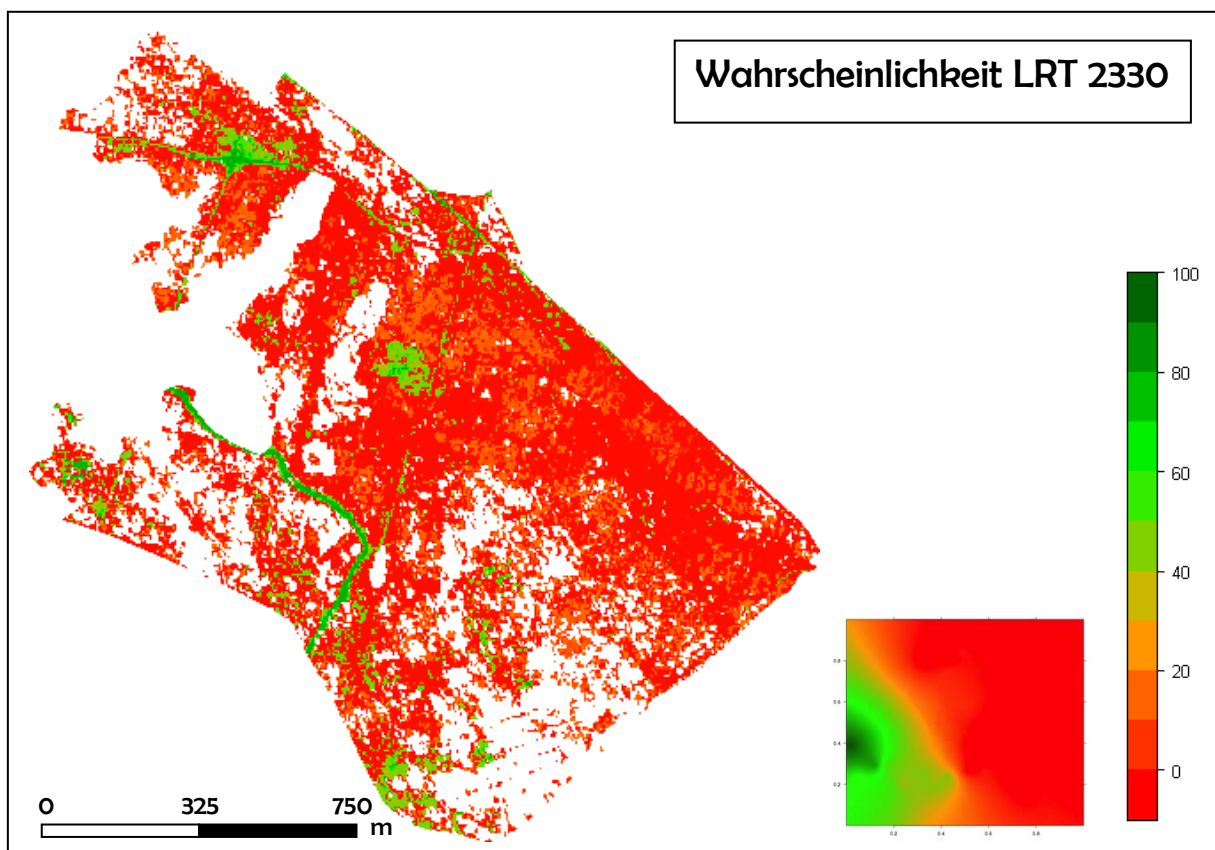


Abbildung 3.3.5b: Vorkommenswahrscheinlichkeit des LRT 2330 im UG Hasenheide. Abk: Wahrscheinlichkeiten (%) als Farbwerte.

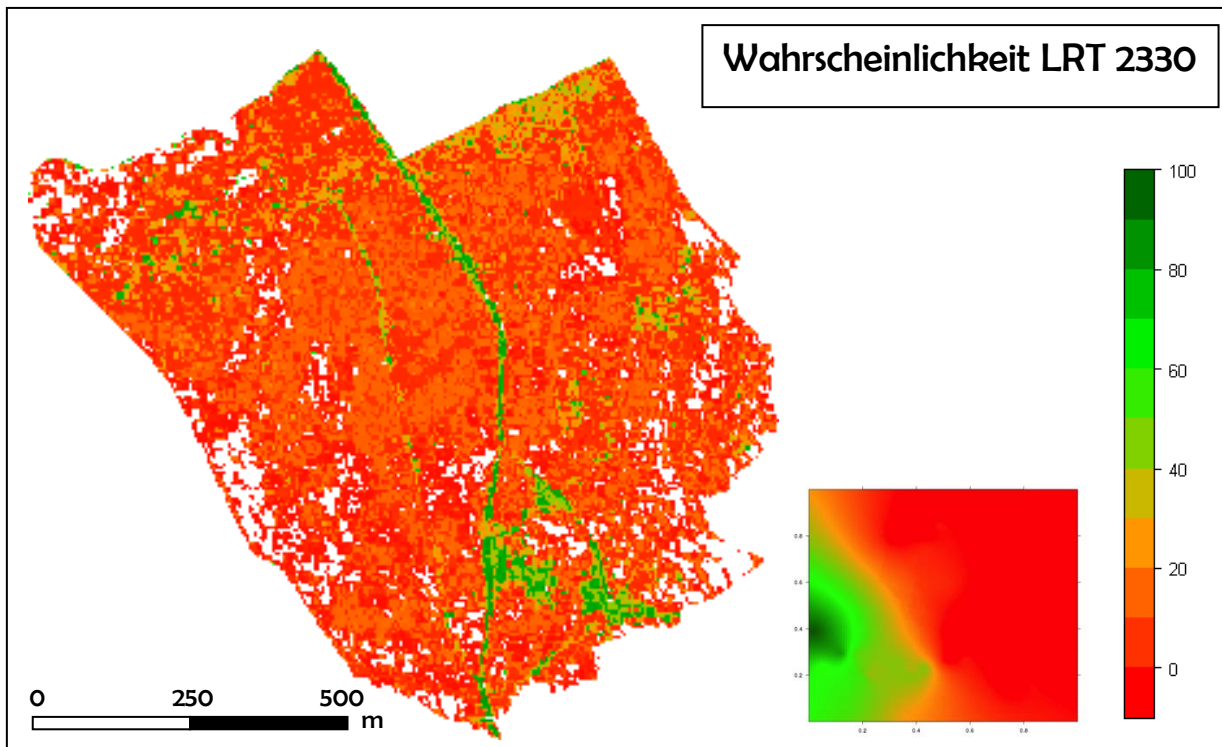


Abbildung 3.3.5c: Vorkommenswahrscheinlichkeit des LRT 2330 im UG Naturschutzzentrum. Abk: Wahrscheinlichkeiten (%) als Farbwerte.

Ein ähnliches Verhalten kann im Untersuchungsgebiet Naturschutzzentrum beobachtet werden. Deutlich erkennt man darüber hinaus die Ausdehnung der Silbergrasfluren bzw. den hohen Anteil an offenem Boden in dem bis 2010 als Eingewöhnungszone genutzten südlichen Gebiet, der mehrere Jahre ein vergleichsweise hohen Tierbesatz aufwies.

An diesem Beispiel lässt sich zudem erkennen, dass im Algorithmus vollkommen vegetationsfreie Sandböden der potentiellen LRT-Fläche zugerechnet werden (z.B. auf den offenen Sandwegen), da keine Obergrenze für offene Sandböden festgelegt wurde. Da auf diesen Flächen bei geringerer Störintensität ein großes Potential für die Neuetablierung von Sandpionierfluren vorausgesetzt werden kann, wurde entschieden, eine falsch positive Zuordnung von vegetationsfreien Sandböden zu tolerieren.

Räumliche Vorhersage von Sandtrockenrasen und „Basenreichen Sandtrockenrasen“ – LRT 6120

Charakterisierung der Sandtrockenrasen

In der Döberitzer Heide sind Sandtrockenrasen in allen Offenflächen vorhanden, aber nur kleinflächig artenreich und mit typischer Struktur ausgeprägt. Es lassen sich basenreichere von basenärmeren Gesellschaften unterscheiden, die ersteren v.a. im UG Hasenheide und in der Nordheide.

Ein Großteil der Ausprägungsformen liegt zumeist als Übergangsbestände zu den Silbergrasfluren und zu den trockenen Ruderlafluren vor. Typische Gräserarten der STR sind auch in Heiden verbreitet, und führen dort bei zunehmender Deckung zur Beeinträchtigung dieser.

Definition des LRT 6120 - Basenreiche Sandtrockenrasen

Der LRT umfasst lückige, reichere Sandtrockenrasen mit Vorkommen subkontinental bis kontinental verbreiteter Arten auf Binnendünen und ebenen Sandstandorten und an sandig-anlehmigen Moränenanschnitten. Als dichtschießende Rasen auf trockenwarmen, nährstoffarmen, sandigen bis kiesigen Böden der Pleistozängebiete sind *Armerion elongatae* – Grasnelken-Gesellschaften und Blauschillergrasrasen (*Koelerion glaucae*) anzutreffen, in die oft Arten der basiphilen Xerothermrasen eindringen. (Zimmermann 2010)

Die Grasnelken-Gesellschaften werden im neu bearbeiteten Bewertungsschlüssel von Brandenburg (Zimmermann 2010) nur dann zum LRT gerechnet, wenn neben *Dianthus carthusianorum*, *Phleum phleoides* oder *Peucedanum oreoselinum* mindestens eine der folgenden Arten nicht nur in Einzelexemplaren auftritt: *Silene otites*, *Silene chlorantha* oder *Pseudolysimachion spicatum*.

Wird dieser Bewertungsschlüssel zugrunde gelegt, kann keiner der Sandtrockenrasen in der Döberitzer Heide als LRT 6120 eingestuft werden. Da der zu Beginn des Projektes gültige Schlüssel (Version vom 29.3.2004) diese Einschränkung nicht enthält, werden die basenreicheren Sandtrockenrasen des Gebietes auch weiterhin als LRT 6120 eingeschätzt.

Sandtrockenrasen in der Döberitzer Heide

Die Sandtrockenrasen in der Döberitzer Heide sind durch eine geschlossene, niedrigwüchsige Krautschicht charakterisiert, die typischerweise von Horstgräsern geprägt wird.

Im Gebiet sind v.a. Grasnelkengesellschaften des Verbandes *Armerion elongatae* entwickelt. NOGATZ (2008) unterscheidet in der Döberitzer Heide mehrere Ausbildungen des Heidenelken-Grasnelken-Rasens (*Diantho-Armerietum*) auf basenärmeren Standorten und des *Sileno-Festucetums* auf basenreicheren Standorten. Die hier vorgestellte Differenzierung weicht etwas von seiner pflanzensoziologischen Einteilung ab, da sowohl die Verbuschungsstadien als auch die ruderalen Einheiten entsprechend ihres Potentials für eine Regeneration zu den Sandtrockenrasen gestellt werden.

Die beiden Sandtrockenrasengesellschaften basenreicher (Tab. 3.3.5b; Anhang VEG2, Level3, Einheit 1) und basenärmerer Standorte (Level 3, Einheit 2) gehen mehr oder weniger kontinuierlich ineinander über. Auch die Übergänge zu den ruderalen (Untereinheit 1.2), vergrastem (Einheit 4) oder verbuschten Stadien (Einheit 3, Untereinheit 1.4, 2.4) sind mehr oder weniger fließend. Doch lassen sich diese anhand unterschiedlicher Artengruppenkombinationen sowohl innerhalb wie zu anderen Pflanzenbeständen trockener Standorte abgrenzen. Im Folgenden wird auf die Arten und Merkmale eingegangen, die sich am besten für eine vegetationskundliche wie spektrale Unterscheidung eignen.

Alle Einheiten der Sandtrockenrasen lassen sich durch eine große Gruppe von typischen Sandmagerrasenarten wie *Festuca ovina* agg., *Agrostis capillaris*, *Armeria maritima*, *Artemisia campestris*, *Hieracium pilosella*, *Trifolium arvense*, *Hieracium umbellatum*, *Euphorbia cyparissias*, *Helichrysum arenarium* u.v.m. charakterisieren. Ihre Zahl ist in den beiden typischen Ausprägungen (Untereinheit 1.1 und 2.1) am größten und nimmt in den beeinträchtigten Einheiten deutlich ab. Dabei konzentrieren sich konkurrenzschwache Arten, die regelmäßig auch in Silbergrasfluren auftreten, besonders auf die typischen Ausprägungen.

Eine zweite weitverbreitete Gruppe der Sandtrockenrasen stellen Arten des mageren Grünlandes dar, so z.B. *Achillea millefolium*, *Plantago lanceolata*, *Poa angustifolia*, *Rumex thyrsoiflorus* oder auch *Holcus lanatus*.

Damit lassen sich die typischen Ausprägungen als artenreiche Bestände mit lückiger bis geschlossener Vegetationsdecke und einer geringe mittlere Höhe beschreiben, die im Jahresverlauf verschiedene Blühaspekte aufweisen.

Die zum LRT 6120 zu rechnenden basenreichen Sandmagerrasen (Untereinheit 1.1) werden durch eine vergleichsweise kleine Gruppe regelmäßig auftretender Arten gekennzeichnet. Unter ihnen bleiben *Peucedanum oreoselinum*, *Dianthus carthusianorum*, *Ononis repens* und *Agrimonia eupatoria et procera* auf diese Einheit begrenzt, während *Koeleria macrantha* und *Galium verum* vereinzelt auch auf die basenärmeren Sandtrockenrasen übergreifen. Räumlich bevorzugen die vergleichsweise selten anzutreffenden basenreichen Bestände Gebiete, in deren Umfeld eine stärkere anthropogene Nutzung stattgefunden hat, so etwa in der Hasenheide entlang eines Weges oder in der Nordheide in der Nähe von ehemaligen Gebäuden.

Die beeinträchtigten Bestände lassen sich in mehrere Untereinheiten gliedern: Bestände die aufgrund von vorangegangenen mechanischen Störungen wie Befahrung oder Bebauung von Landreitgras (*Calamagrostis epigeios*) oder und anderen Störzeigern geprägt sind (Untereinheit 1.2), unterschiedliche Gräserdominanzen (Einheit 4), in denen vergleichsweise wenige Sandtrockenrasenarten auftreten und verbuschte Bestände. Diese können zum einen von Besenginster (*Cytisus scoparius*) bestimmt sein (Einheit 3) NOGATZ (2008) beschreibt, das die Besenginsterbestände im Gebiet v.a. im Übergangsbereich zwischen azidophilen Trockenrasen und angrenzenden Wäldern vorkommen. Hier treten durch die Luftstickstofffixierung des Besenginsters verstärkt Frischwiesenarten wie *Arrhenatherum elatius* oder *Holcus lanatus* auf. Zum anderen wandert im Gebiet verstärkt Zitterpappel (*Populus tremula*) in die Sandtrockenrasen ein (Untereinheit 1.4, 2.4). Als erste Warnzeichen für eine spätere Verbuschung mit Gehölzen kann das Auftreten von *Rubus fruticosus et caesius* und von *Solidago virgaurea* gewertet werden.

Beeinträchtigungen und mögliche Effekte durch die Wildtierbeweidung

Sandtrockenrasen weisen nach den Heidekrautheiden die größten Flächenanteile im Offenland der Döberitzer Heide auf. Sie sind aktuell noch häufig durch das Auftreten von Störzeigern wie *Calamagrostis epigeios* u.a. beeinträchtigt. Doch stellt die durch weitgehend ungestörte Sukzessionsprozesse zunehmende Verbuschung und Vergrasung eine immer stärker in Erscheinung tretende Beeinträchtigung dar. Zudem kommt es durch die anhaltende Verbrachung v.a. in wüchsigeren Beständen zur Streuakkumulation und zu Auteutrophierungseffekten.

Durch den Einfluss der großen Pflanzenfresser kommt es nach Erreichen der maximal möglichen Populationsdichte voraussichtlich zum nachhaltigen Entzug von Biomasse, da die Sandtrockenrasen aufgrund des relativ hohen Futterwertes häufiger aufgesucht werden als Heiden oder Silbergrasfluren (Beobachtung Fürstenow). In Folge werden die Sandtrockenrasen eine vergleichsweise kurze Grasnarbe aufweisen, die Streuakkumulation in den Beständen wird abnehmen und durch Tritt werden offene Bodenstellen entstehen. Hierdurch ist eine Rückdrängung der Brachezeiger (Gehölzarten und hohe Gräser wie z.B. *Arrhenatherum elatius*, *Holcus lanatus*, *Brachypodium pinnatum*) und Ruderalarten sowie eine Förderung konkurrenzschwacher, klein- und niedrigwüchsiger Arten zu erwarten.

Tabelle 3.3.5b: Sandtrockenrasen in der Döberitzer Heide (Level 3 und 4 , Tab. V8.2, Anhang).

Einheit Level 3 und 4	charakteristische Merkmale und Arten	Mögliche Beeinträchtigungen	Veränderung durch Maßnahmen
1.1 – basenreiche STR, typische Ausbildung	Artenreich, charakteristische Basenzeiger wie <i>Koeleria macrantha</i> , <i>Galium verum</i> , <i>Peucedanum oreoselinum</i> , <i>Ononis repens</i> , <i>Dianthus carthusianorum</i> neben vielen anderen Sandtrockenrasen	* Verbuschung, * Ruderalisierung, * Gräserdominanzbildungen	+ Erhaltung des guten Zustandes + Rückdrängung ruderaler Arten oder Verbuschung - bei geringer Nutzung – Verbuschung - bei starker Nutzung – Ruderalisierung durch Störungen durch Tritt und Fraß
1.2 – ruderale STR – <i>Calamagrostis</i> -ausbildung	verstärktes Auftreten von <i>Calamagrostis epigeois</i> , Zurücktreten der Sandtrockenarten	* beeinträchtigte Einheit: Ruderalisierung * Verbuschung	+ Rückgang ruderaler Arten + Zunahme der Trockenrasenarten
1.4 – verbuschte basenreiche STR	<i>Rubus fruticosus et caesius</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Solidago virgaurea</i> , <i>Luzula campestris</i> , Zurücktreten der Sandtrockenarten , vermehrt Arten des mageren Grünlandes	* beeinträchtigte Einheit: Verbuschung	+ Rückdrängung der Verbuschung
2.1 – basenarme STR	Artenreich, Zurücktreten der Basenzeiger von 1, vermehrt Sandpionierarten und magere Grünlandarten wie <i>Holcus lanatus</i> und <i>Plantago lanceolata</i>	s.o.	s.o.
2.4 – verbuschte basenarme STR	Zurücktreten der Sandtrockenrasenarten <i>Rubus fruticosus et caesius</i> , <i>Populus tremula</i>	* beeinträchtigte Einheit: Verbuschung	+ Rückdrängung der Verbuschung
3 – Besenginsterbestände als Verbuschung von STR	Zurücktreten der Sandtrockenrasenarten, Dominanz von <i>Cytisus scoparius</i> , vermehrt <i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Holcus lanatus</i> , <i>Rubus</i> -Arten	* beeinträchtigte Einheit: Verbuschung	+ Rückdrängung der Verbuschung durch Tritt und Fraß
4 – vergraste STR	Artenarm , Dominanz v.a. von Ausläufergräsern: <i>Agrostis capillaris</i> , <i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i>	* beeinträchtigte Einheit: Gräser-Monodominanzen	+ Zunahmeder Sandtrockenrasenarten durch Rückdrängung von Besenginster und Gräsern - s.o.

Bei einer zu starken Konzentration der Tiere auf den Trockenrasen, könnte es jedoch auch zur Förderung von Ruderalarten und Eutrophierungszeigern kommen und zur Zurückdrängung von verbissenspezifischen Arten. Mit der bisherigen extensiven Nutzung durch Schafe konnten diese Effekte nicht erzielt werden.

Räumliche Vorhersage des LRT 6120

Die Sandtrockenrasen als gesamte Einheit lassen sich anhand ihres oben beschriebenen Artenspektrums im Gesamtordinationsraum gut von den drei anderen Einheiten trockener Standorte (Silbergrasfluren, Heiden und Borstgrasrasen) abtrennen und spektral differenzieren. Sie befinden sich im unteren rechten

Bereich des Gesamttraumes und bilden Übergangsbereiche zu verbuschten und vergrasten Stadien aus (Abb. 3.3.5d). Auch eine Unterscheidung von Landreitgrasfluren in den oberen Bereichen der rechten Ordinationsraumseite ist möglich.

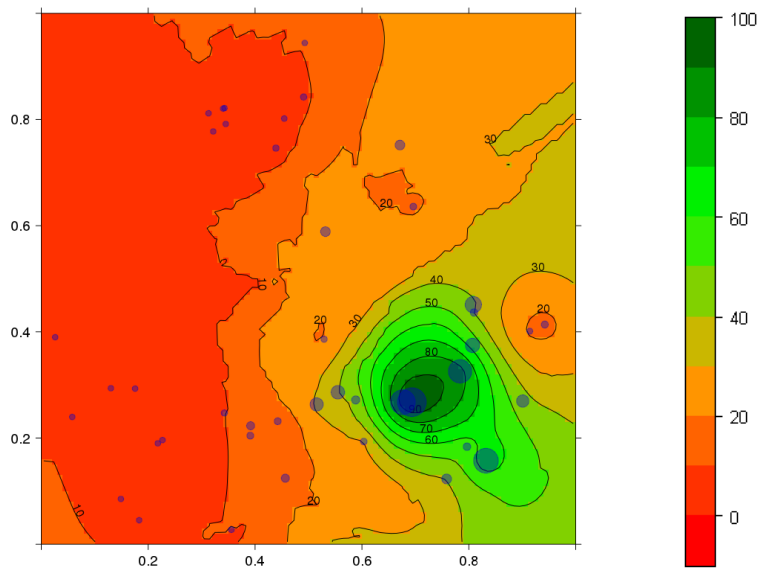


Abbildung 3.3.5d: Aggregierte Vorkommenswahrscheinlichkeit für den LRT6120

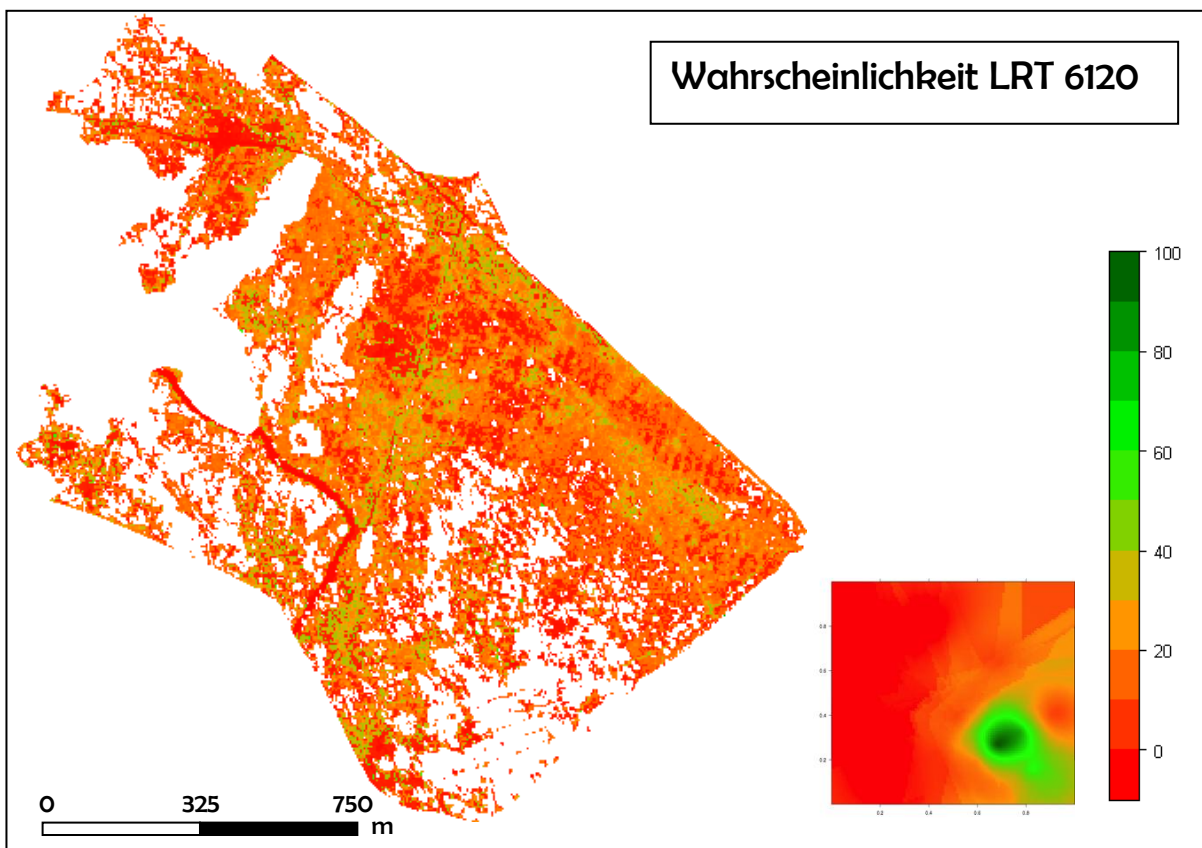


Abbildung 3.3.5e: Vorkommenswahrscheinlichkeit für basenreiche (LRT 6120) und basenarme Sandtrockenrasen im UG Hasenheide.

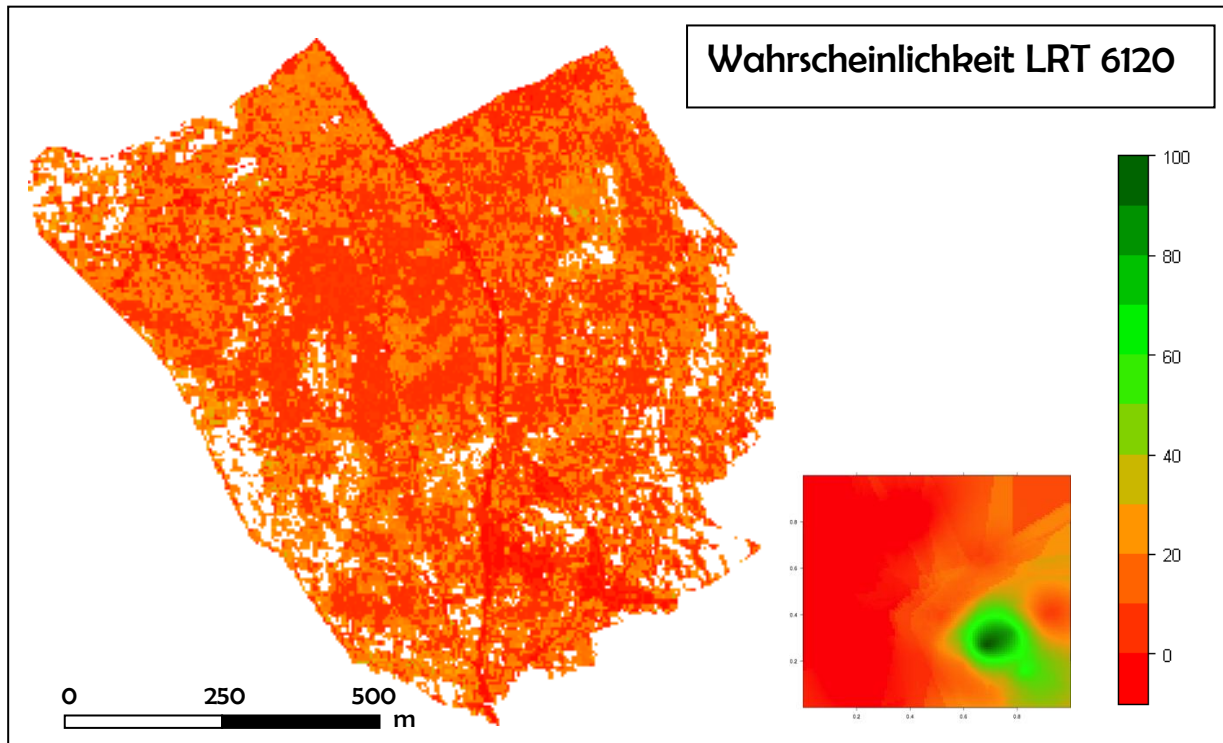


Abbildung 3.3.5f: Vorkommenswahrscheinlichkeit für basenreiche (LRT 6120) und basenarme Sandtrockenrasen im UG Naturschutzzentrum

Im Gesamtartenraum lassen sich die basenreichen Sandtrockenrasen des LRT 6120 von den basenarmen Sandtrockenrasen abtrennen, sie werden durch den blauen Bereich des Ordinationsraumes abgebildet, weisen aber insgesamt starke Übergänge auf. Aufgrund ihrer zu geringen spektralen Variabilität ist es jedoch nicht möglich, eine befriedigende Abgrenzung der beiden Ausprägungen zu definieren. Es ist nur möglich, Bereiche im Untersuchungsgebiet zu kennzeichnen, die einen geringen Blauanteil aufweisen, also ihre maximale Vorkommenswahrscheinlichkeit eher in zentralen Bereichen des Gesamttraums haben und damit mit hoher Wahrscheinlichkeit den basenarmen Sandtrockenrasen zuzuordnen sind.

Funktionsvorschrift für die basenreichen Sandtrockenrasen des LRT 6120 und andere Sandtrockenrasen

Im Folgenden werden die Abgrenzungskriterien für beide Sandtrockenrasenausbildungen insgesamt dargestellt. Damit wird auch die räumliche Vorhersage nicht explizit nur auf den LRT 6120 auf bezogen, sondern alle Sandtrockenrasen des Untersuchungsgebietes.

Als gute Repräsentanten für die Sandtrockenrasen erwiesen sich:

Schafschwingel-Gruppe (*Festuca ovina* agg., zumeist *F. brevipila*),

Zierliches Schillergras (*Koeleria macrantha*),

Karthäuser-Nelke (*Dianthus carthusianorum*),

Gemeine Schafgarbe (*Achillea millefolium*), Wichtungsfaktor 0,8 und

Rot-Straußgras (*Agrostis capillaris*), Wichtungsfaktor 0,2.

Mit Ausnahme von *Achillea millefolium*, einer Grünlandart, gehören diese Arten zu den charakteristischen Arten von Sandtrockenrasen (vgl. z.B. ZIMMERMANN 2007).

Als untere Grenze des potentiellen Auftretens von Sandtrockenrasen wurde eine Wahrscheinlichkeit von 20% angesetzt. Dieser Schwellenwert zur Extraktion von potentiellen Standorten der Sandtrockenrasen

liegt vergleichsweise niedrig. Diese Entscheidung ist durch die insgesamt niedrigen vorhergesagten Wahrscheinlichkeiten in beiden Untersuchungsgebieten begründet (vgl. Abbildungen 3.3.5e und 3.3.5f). Besonders im Gebiet Naturschutzzentrum werden nur auf wenigen Pixeln Sandtrockenrasen mit Wahrscheinlichkeiten >50% abgebildet. Im Vergleich dazu existieren in der Hasenheide weitaus mehr Gebiete in denen typische Ausprägungsformen (die hohen Wahrscheinlichkeiten entsprechen) in räumlich zusammenhängenden Gebieten detektiert werden.

Da die Funktionsvorschrift die typischen Ausprägungen der jeweiligen Kartiereinheit festlegen und erkennen soll, muss insbesondere für das Gebiet Naturschutzzentrum die Annahme getroffen werden, dass der LRT 6120 aufgrund der geringen Vorkommenswahrscheinlichkeiten großflächig nicht in einer guten Ausbildung entwickelt ist (vgl. Abbildung 3.3.5f).

Neben einer schlechten Ausbildung der Sandtrockenrasen könnte aber auch eine nicht optimal festgelegte Funktionsvorschrift für die Abgrenzung der eher artenreichen als von dominanten Arten geprägten Sandtrockenrasen für die geringe Vorhersagewahrscheinlichkeit verantwortlich sein. Hier müssen noch weitere Prüfungen und Anpassungen im Hinblick auf detaillierte, großflächige Vegetationsanalysen und Begehungen im Gelände stattfinden.

Räumliche Vorhersage von Trockenen Europäischen Heiden – LRT 4030

Charakterisierung der Heiden

Heidekrautheiden nahmen Ende der 1990er Jahre in der Döberitzer Heide noch etwa eine Fläche von 1.000 ha ein (Schoknecht 1997). Das war etwa ein Fünftel der Gesamtfläche des ehemaligen Truppenübungsplatzes Döberitz. Der Schwerpunkt der Vorkommen liegt auch heute noch auf den großen Offenflächen, vor allem aber im Nordwesten, im Nordosten und auf dem Standortübungsplatz der Bundeswehr im Südosten.

Es ist davon auszugehen, dass sich Heidekrautheiden in den letzten Jahren auf ehemaligen Silbergrasfluren weiter verbreitet haben. Der überwiegende Teil der älteren Bestände wurde zwar durch Schafhaltung genutzt, jedoch fand eine deutliche Zurückdrängung der Verbuschung und teilweise Verjüngung erst durch eine mechanische Pflege in Form von Mulchen statt. Im Gegensatz zu den Silbergrasfluren bleiben Heidekrautbestände im Gebiet selbst im lichten Wald noch lange erhalten.

Definition LRT 4030 – Heidekrautheide

Im Bewertungsschema von Brandenburg beschreibt Zimmermann (2010) „Trockene europäische Heiden“ des LRT 4030: „Baumarme oder mit lichten Gehölz- und Baumbeständen bewachsene, von Zwergsträuchern (*Calluna*, *Genista*, und selten *Arctostaphylos*) geprägte trockene Heiden auf silikatischen bzw. oberflächlich entkalkten und kalkarmen Böden aus glazialen und fluviatilen Ablagerungen, geringe Nährstoff- und Basengehalte sowie geringes Wasserhaltevermögen bei hoher Versickerungsrate; Verzahnung mit offenen Sandstellen und Silbergrasfluren; ...“.

Heidekrautheiden in der Döberitzer Heide

Die Heidekrautheiden in der Döberitzer Heide können in vier unterschiedliche Untereinheiten untergliedert werden, die alle als LRT 4030 eingestuft werden. Die typische Heidekrautheide (Tab. 3.3.5c, Einheit 1) ist durch eine mehr oder weniger geschlossene, vitale bis verholzte *Calluna vulgaris*-Decke gekennzeichnet, in der einige andere Arten regelmäßig auftreten, jedoch keine höhere Deckungen erreichen. Alle drei anderen Einheiten stellen beeinträchtigten Stadien der Heidekrautheiden dar: in der ruderalen

Ausprägung kommt *Calamagrostis epigeios* als Störzeiger verstärkt vor (Einheit 2), in der vergrasteten Ausprägung (Einheit 3) haben sich verstärkt Gräser trockener Standorte ausgebreitet und in der verbuschten Ausbildung konnten sich neben Heidekraut verstärkt Gehölze ausbreiten (Einheit 4)

Tabelle 3 3.3.5c: Heidekrautheiden in der Döberitzer Heide (Level 3, Tab. 8.2, Anhang).

Einheit Level 3	charakteristische Merkmale und Arten	Mögliche Beeinträchtigungen	Veränderungen durch Maßnahmen
1 – typisch	Gräser und Kräuter nur gering deckend, keine höhere Deckung von Streu/holzigen Bestandteilen, <i>Calluna vital</i>	* Überalterung * Vergrasung * Verbuschung v.a. mit <i>Betula pendula</i> , <i>Populus tremula</i> , <i>Cytisus scoparius</i>	+ Aufrechterhaltung des guten Zustandes - Degradation durch zu starken Tritt - bei ausbleibender Nutzung Verbuschung, Vergrasung
2 – ruderal mit <i>Calamagrostis</i>	<i>Calamagrostis epigeios</i> mit höherer Deckung (>=2a), Gräserdeckung insgesamt hoch	* Beeinträchtigte Einheit: Überalterung & Ruderalisierung * weitere Ausbreitung von <i>Calamagrostis</i>	+ Rückdrängung von <i>Calamagrostis</i> + Verjüngung und Ausbreitung von <i>Calluna</i> - keine Veränderung
3 – vergrast	Höhere Deckung von Gräsern der Sandtrockenrasen (z.B. <i>Agrostis capillaris</i> , <i>Festuca ovina</i> agg., <i>Danthonia decumbens</i> , <i>Deschampsia flexuosa</i> , <i>Luzula campestris</i> agg.)	* Beeinträchtigte Einheit: Überalterung * weitere Ausbreitung von typischen Gräsern und <i>Calamagrostis</i> * Verbuschung	+ Rückdrängung der Gräser + Verjüngung von <i>Calluna</i> - keine Veränderung oder Zunahme von Vergrasung und Verbuschung durch ausbleibende Nutzung
4 – flechtenreich	Höhere Deckung der Kryptogamenschicht, z.B. z.T. geschützten und gefährdeten <i>Cladonia</i> - & <i>Cetraria</i> -Arten, <i>Polytrichum piliferum</i>	* Beeinträchtigte Einheit - Überalterung	+ Verjüngung der Heide, +- Rückgang der Kryptogamenschicht - Trittschäden/Verbiss bei zu starker Nutzung - Verbuschung bei ausbleibender Nutzung

Beeinträchtigungen und mögliche Effekte durch die Wildtierbeweidung

Nach ersten Erkenntnissen aus der Eingewöhnungszone wird *Calluna vulgaris* von den großen Pflanzenfressern fast nur im Winterhalbjahr befressen. Eine Beeinflussung der Heiden durch Tritt ist kaum feststellbar. Interessant sind hier die Fragen, ob sich die Bestände durch den Einfluss der großen Pflanzenfresser ausreichend verjüngen und in welchem Umfang sie sich ausbreiten können. Dabei sind zwei Varianten möglich: Ausbreitung auf die Standorte der Silbergrasfluren oder auf neu geschaffene vegetationsfreie Flächen.

Funktionsvorschrift für die Abgrenzung der Heidekrautheiden – LRT 4030

Die Heidekrautheiden lassen sich anhand der potentiellen Deckungsverteilung (Vorkommenswahrscheinlichkeit) von *Calluna vulgaris* im Gesamtordinationsraum gut von den drei anderen Einheiten trockener Standorte (Silbergrasfluren, Heiden und Borstgrasrasen) abtrennen und spektral differenzieren

(vgl. Abbildung 3.3.3c). Sie befinden sich im oberen Bereich des Ordinationsraums und weisen deutliche Übergänge zu kryptogamenreichen Vegetationsbeständen sowie zu Silbergrasfluren auf (Abb. 3.3.5g). Auch eine Abgrenzung gegen die Landreitgrasfluren und verbuschte Bereiche ist möglich. Die entsprechenden Übergänge werden durch Gradienten zu den rechten?? und zentralen Bereichen (Rot, Hellblau) des Ordinationsraumes deutlich. Wird demnach die räumliche Verteilung des Deckungsgrades dieser dominierenden Art ohne Berücksichtigung weiterer den Heidebestand durchdringenden Arten einbezogen. In der funktionalen Aggregierungsvorschrift erfolgt die Definition des LRT 4030 deshalb ausschließlich über die namensgebende Art Heidekraut (*Calluna vulgaris*).

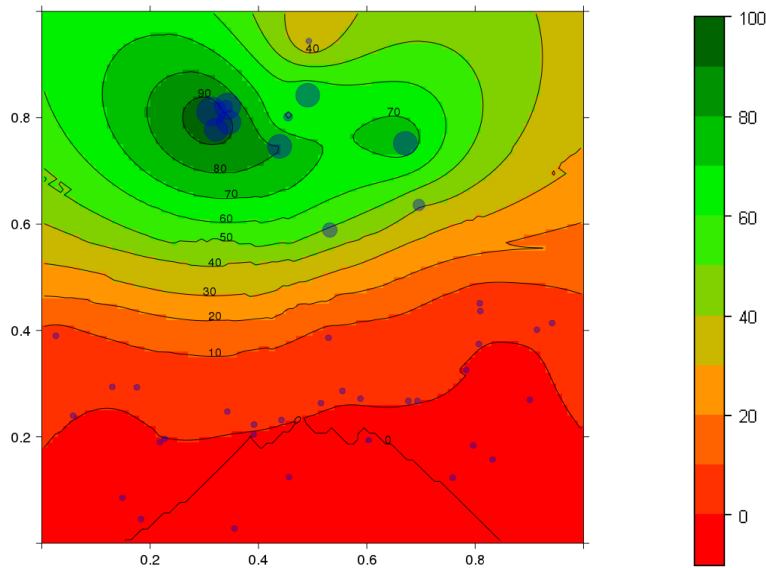


Abbildung 3.3.5g: Aggregierte Vorkommenswahrscheinlichkeit für Heidekrautheiden (LRT4030)

Als untere Grenze für die Zuordnung zum Lebensraumtyp 4030 wurde eine Vorkommenswahrscheinlichkeit von 40% angesetzt. In beiden Untersuchungsgebieten können damit durchgehend hohe Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten von Heidekrautheide vorhergesagt werden (vgl. Abbildungen 3.3.5h & 3.3.5i). Bei Wahrscheinlichkeiten von <40% dominieren in den Übergangsbereichen z.B. Arten der Silbergrasfluren, Sandtrockenrasen oder Verbuschungszeiger, so dass davon ausgegangen wird, dass hier keine LRT-Ausprägung mehr auftritt. Doch könnte man diese Bereiche zwischen 30 und 40% Vorkommenswahrscheinlichkeit separat als potentielle Entwicklungsflächen des LRT einstuftbar ausweisen

Die Kernbereiche von Heideflächen in der Hasenheide sind durch Vorkommenswahrscheinlichkeiten von >90% gekennzeichnet, so dass hier von größeren homogenen Bereichen typischer Ausprägungsformen ausgegangen werden kann (Abb. 3.3.5h). Im Untersuchungsgebiet Naturschutzzentrum werden lediglich Maximalwerte von 80% erreicht (Abb. 3.3.5i). Hieraus lässt sich ableiten, dass es sich in diesem Gebiet im Vergleich zu Formationen der Hasenheide um stärker beeinträchtigte Heidekrautheiden handelt. b. Dieses Ergebnis dokumentiert die im Gebiet der Hasenheide umfangreich vorgenommenen Pflegemaßnahmen (Mulchen, Beweidung) und die stärker von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen durchsetzten, aber auch gemulchten Heiden am Naturschutzzentrum. Obwohl auf Grund größerer homogener Flächenanteile von typischen Ausprägungsformen die Heide spektral gut erfassbar ist kann in abnehmenden Wahrscheinlichkeitsbereichen der räumliche Einfluss von Beeinträchtigungsparametern in einem hinreichenden Maße quantifiziert werden.

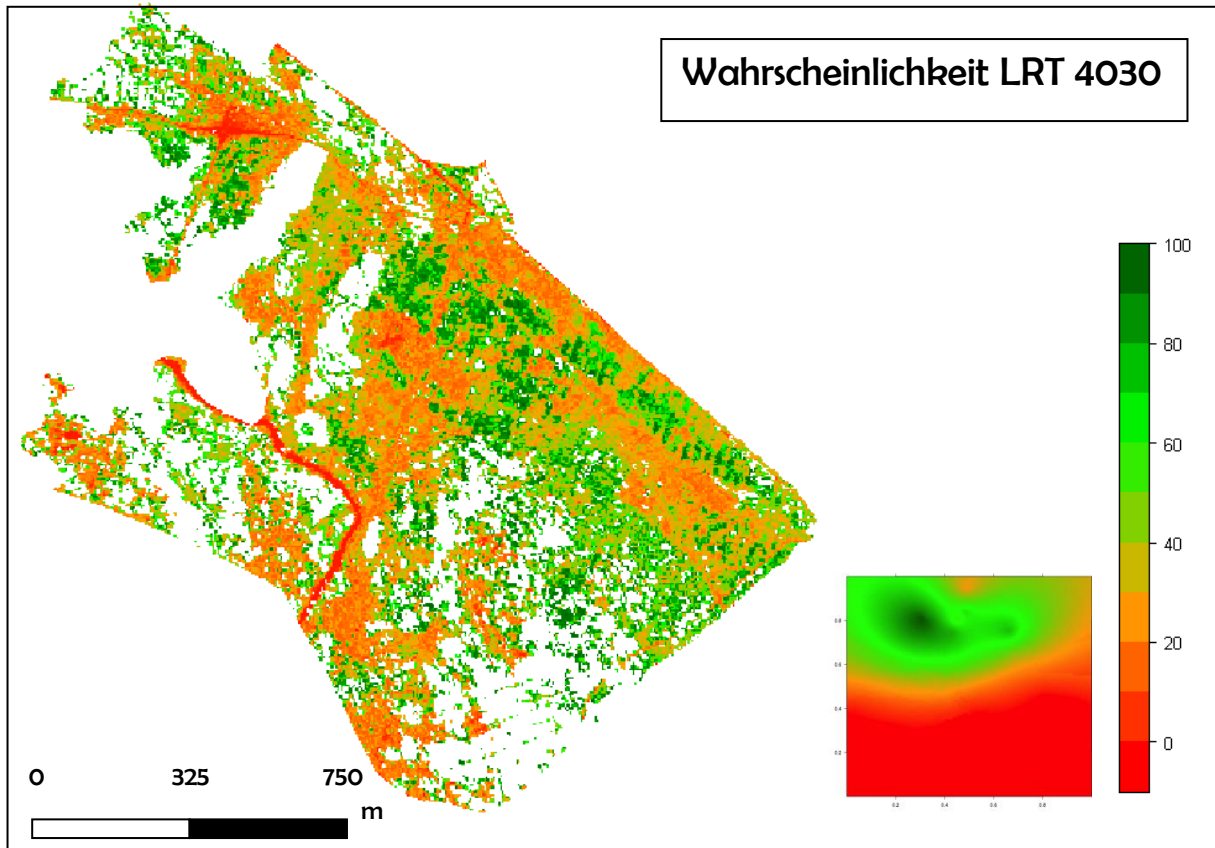


Abbildung 3.3.5h: Vorkommenswahrscheinlichkeit von Heidekrautheiden (LRT 4030) im UG Hasenheide.

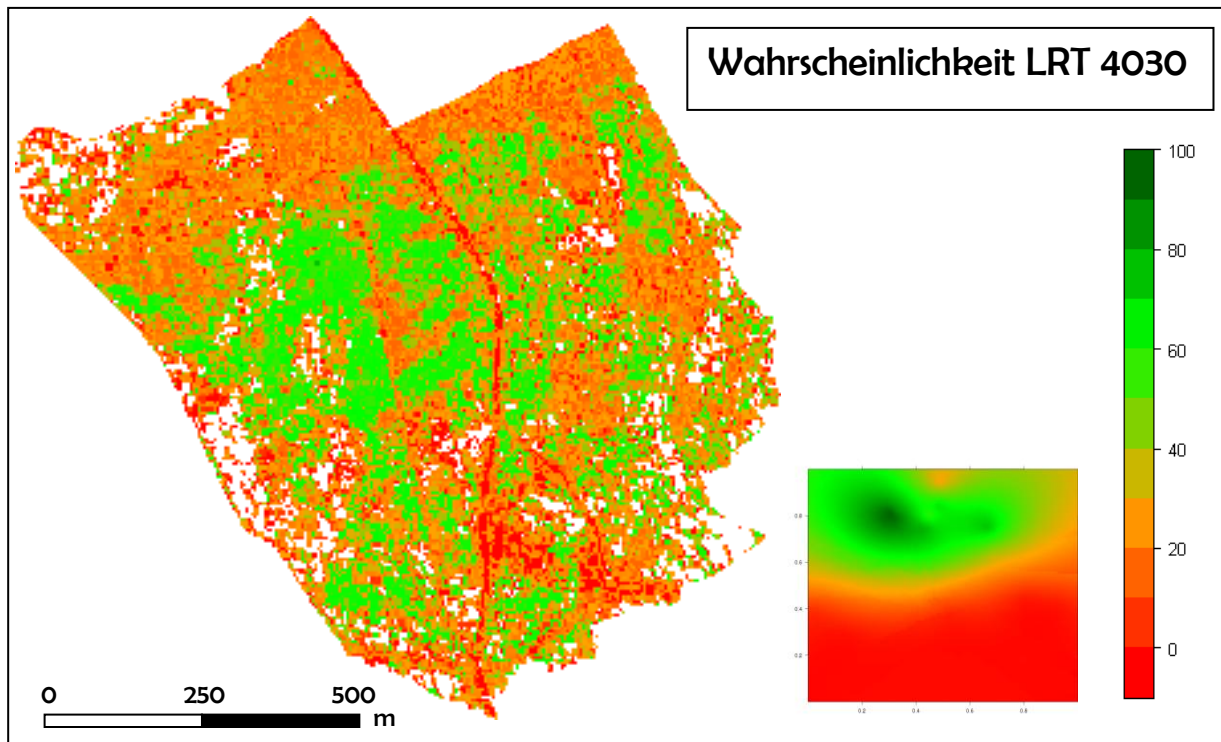


Abbildung 3.3.5i: Vorkommenswahrscheinlichkeit von Heidekrautheiden (LRT 4030) im UG Naturschutzzentrum.

Zusammenfassung

Die Vorkommenswahrscheinlichkeiten der FFH-Lebensraumtypen 2330 - Silbergrasfluren, und 4030 – Heidekrautheiden sowie teilweise der LRT 6120 - basenreiche Sandtrockenrasen wurden in den Untersuchungsgebieten Hasenheide und Naturschutzzentrum mit dem neu entwickelten ordinalen Monitoringverfahren exemplarisch ermittelt. Die vorgenommene Abgrenzung erfolgte dabei nicht anhand a priori definierter Vegetationseinheiten, sondern a posteriori auf Grundlage eines das Vegetationskontinuum beschreibenden Ordinationsraumes. Die spektrale Modellierung des gesamten Ordinationsraumes erlaubt eine variable Abgrenzung von Vegetationseinheiten (Biotoptypen, FFH-Lebensraumtypen, o.a.) nach nachvollziehbaren Kriterien, die in einer funktionalen Aggregierungsvorschrift hinterlegt sind. Im Ergebnis wird keine binäre Entscheidung über das Vorhandensein einer Klasse ausgegeben, sondern ein Wahrscheinlichkeitsraum, der das Vorkommen dieser Klasse kennzeichnet.

Werden die definierten Schwellenwerte der Vorkommenswahrscheinlichkeiten z.B. eines LRT zur räumlichen Abgrenzung genutzt, erhält man eine Karte der LRT-Verbreitung (Abb. 3.3.5j und 3.3.5k).

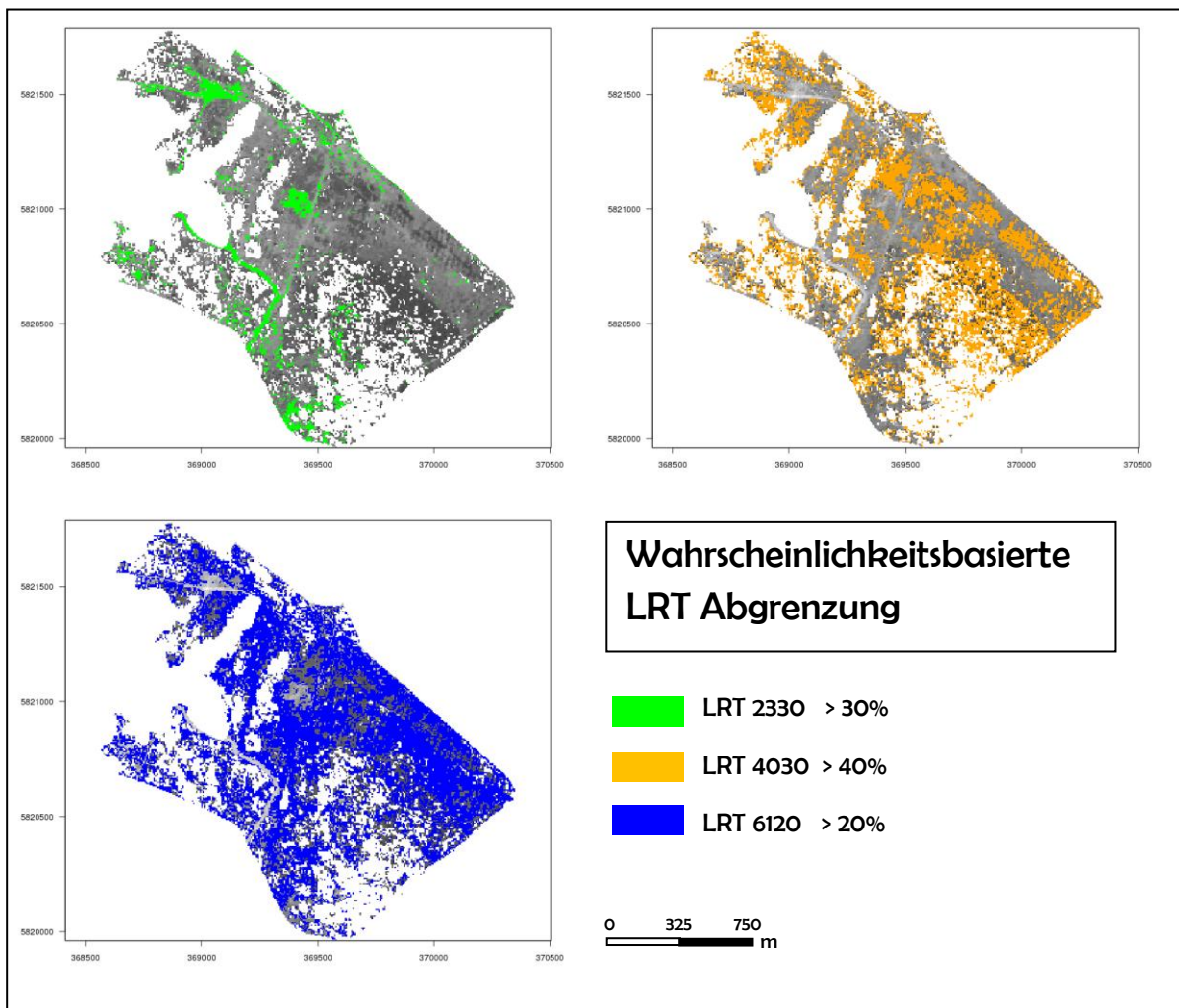


Abbildung 3.3.5j: Potentielle Verbreitung der LRT 2330, 4030 und Sandtrockenrasen (6120) im UG Hasenheide (wahrscheinlichkeitsbasierte Abgrenzung).

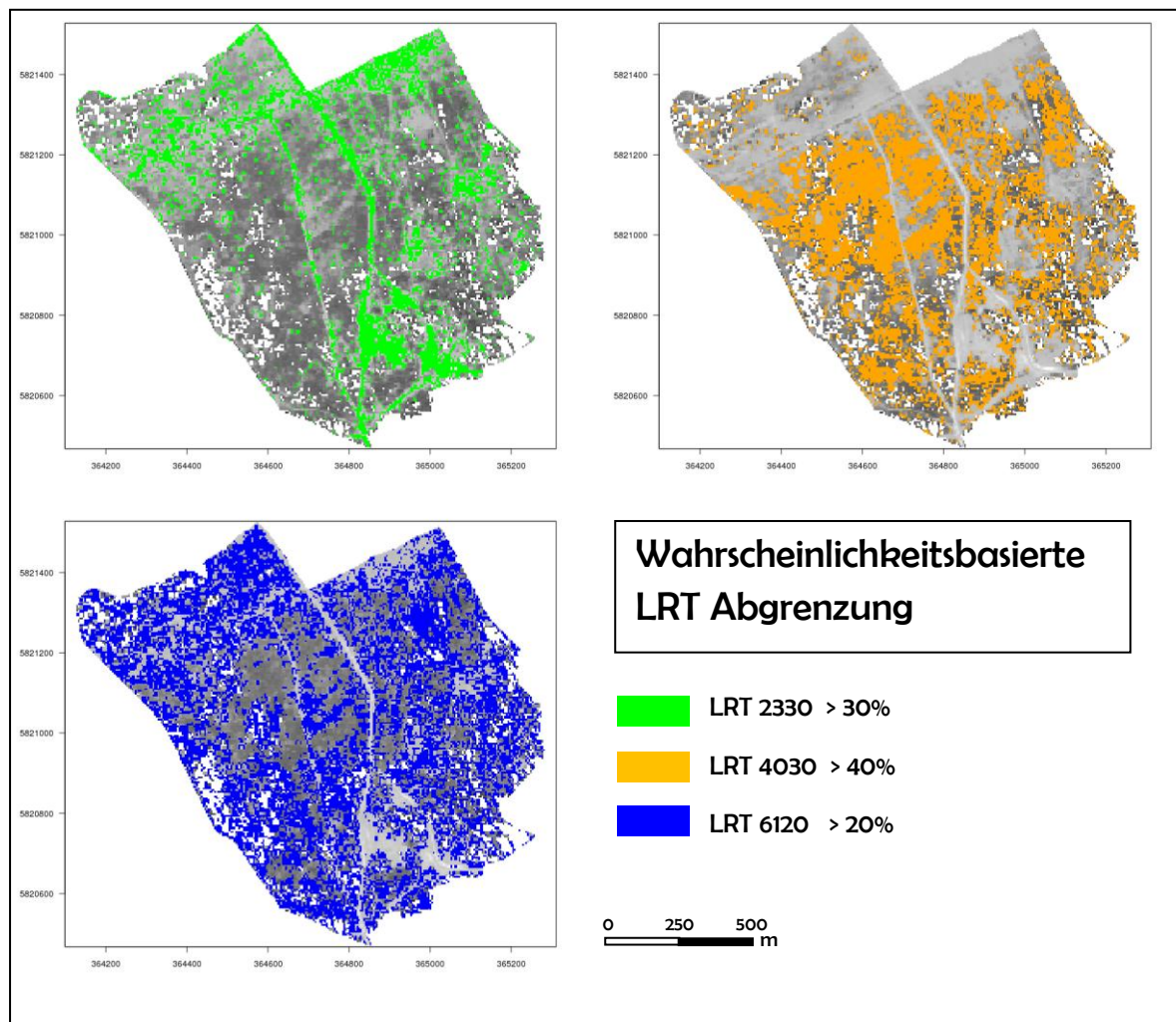


Abbildung 3.3.5k: Potentielle Verbreitung der LRT 2330, 4030 und Sandtrockenrasen (6120) im UG Naturschutzzentrum (wahrscheinlichkeitsbasierte Abgrenzung).

Die so abgegrenzten Lebensraumtypen besitzen keine gemeinsamen Grenzen. Im Unterschied zu herkömmlichen Klassifizierungsverfahren überlagern sich die jeweiligen Typen in Übergangsbereichen zueinander. Damit erhalten diese Bildpixel mehrere Informationen (Vorkommenswahrscheinlichkeiten mehrerer Klassen). Diese Überlagerungsbereiche stellen wahrscheinlich Übergangsbereiche bzw. Ökotope dar, in denen die typischen Ausprägungen eines LRT z.B. durch Sukzessionsabfolgen oder das Vorkommen/ die Ausbreitung habitatatypischer Arten beeinträchtigt sind oder wo sie als Vegetationskomplex mit anderen Einheiten in einer Größe vorkommen, die unterhalb der Auflösung des Bildpunktes des Hyperspektralsensors liegt.

Werden diese Übergangsbereiche räumlich abgegrenzt, erhält man die Landschaftsbereiche, in denen ökologische Prozesse z.B. durch Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen am effektivsten gesteuert werden könnten. Die Detektion solcher Übergangsbereiche in den einzelnen Lebensraumtypen in Verbindung mit einer Bewertung des Erhaltungszustandes wird Inhalt des folgenden Kapitels sein. Dabei wird das entworfene hyperspektrale Monitoringverfahren auf die Anforderungen einer FFH-Lebensraumbewertung erweitert.

3.3.6 Anwendungsbeispiele zur Bewertung von FFH-Lebensraumtypen

Um eine Bewertung der Vorkommen eines Lebensraumtypen in einem konkreten Landschaftsausschnitt vornehmen zu können, muss dieser aus dem Gesamtdatensatz extrahiert worden sein (vgl. letzter Abschnitt). Die Bewertungsvorschriften beziehen sich demzufolge auf die nach den jeweiligen Schwellenwerten für die Vorkommenswahrscheinlichkeit abgegrenzten Flächen der jeweiligen Lebensraumtypen.

Spektrale Bewertung und räumliche Vorhersage des Erhaltungszustandes von LRT-2330

Die im Vorfeld der Verfahrensentwicklung durchgeführte Analyse von drei Bewertungsschlüsseln (LANA, Brandenburg, Sachsen) wurde im Zwischenbericht 2010 dargestellt.

Bewertungskriterien des LRT 2330

Die drei Beeinträchtigungskriterien Verbuschung, Vergrasung und Störzeiger bilden das Grundgerüst für die Ermittlung des potentiellen Erhaltungszustandes des LRT 2330 in der Döberitzer Heide (Tab. 3.3.6a). Dabei werden die Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Einzelkriterien durch die Aggregation von gewichteten Deckungen/ Vorkommenswahrscheinlichkeiten der zum jeweiligen Kriterium dazugehörigen Einzelarten gebildet. Für jede Bewertungsstufe jedes Kriteriums wird eine funktionale Beziehung definiert. Der Gesamtwert des Hauptkriteriums „Beeinträchtigungen“ ergibt sich aus dem schlechtesten Einzelwert.

Im zweiten Schritt werden die Habitatstruktur-Kriterien „Anteil offener Boden“ und „Moosdeckung“ berücksichtigt.

Erreicht die „Moosnarbe“ eine Deckung >50%, wird der Erhaltungszustand um eine Wertstufe abgewertet. Dieser Deckungswert wurde gewählt, um den in einigen Bewertungsschlüsseln bei Bewertungsstufe C genannten Strukturmerkmal „gelegentlich geschlossene Moosnarbe“ als schlechte Habitatstruktur zu berücksichtigen. Hintergrund dabei ist, dass sich Silbergrasfluren mit einer geschlossenen Moosdecke in einem Degenerationsstadium befinden, in dem eine Regeneration der charakteristischen Pionierarten nicht mehr oder nur in geringem Umfang möglich ist.

Der „Anteil offener Boden“ führt ab einem Deckungswert von 25% zur Aufwertung um eine Wertstufe. Dieser Aufwertung liegt der Gedanke zugrunde, dass Silbergrasfluren mit einem höheren Anteil an offenem Boden neben Optimal- und Finalstadien auch Initialstadien aufweisen und damit einer ganzen Reihe von konkurrenzschwachen Pionierarten die Möglichkeit zur Etablierung ermöglichen, so dass das Artenspektrum dieser Bestände größer und die Habitatstruktur besser sein (vgl. Kap. Silbergrasfluren in der Döberitzer Heide).

Tabelle 3.3.6a: Kriterien für die spektrale Bewertung des Erhaltungszustandes des LRT 2330.

Parameter	Bewertung A	Bewertung B	Bewertung C	Bemerkung
Beeinträchtigungen				
Verbuschung	<10%	10-50%	50-70%	
Vergrasung	<10%	10-50%	50-70%	
Störzeiger	0%	<10%	10-50%	inklusive Streu!
Auf- und Abwertungskriterien				
Offener Sandboden	≥25%			Aufwertung bei Stufe A
Moosdeckung			≥50%	Abwertung bei Stufe C

Arten-Auswahl für die Bewertungskriterien

Als typische Arten von Verbuschungsstadien waren in den Silbergrasfluren der Döberitzer Heide vertreten und wurden als spektral relevante Verbuschungszeiger berücksichtigt: *Prunus serotina*, *Sarothamnus scoparius*, *Populus tremula*, *Quercus robur*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*

Als Vergrasungszeiger wurden berücksichtigt: *Agrostis capillaris*, *Festuca ovina* agg., *Deschampsia flexuosa*.

Als Störzeiger wurden berücksichtigt: *Calamagrostis epigeios*, *Rubus caesius*.

Obwohl weitere Störzeiger vorhanden sind, lässt sich das Kriterium „Störzeiger“ durch diese beiden Arten ausreichend gut abbilden.

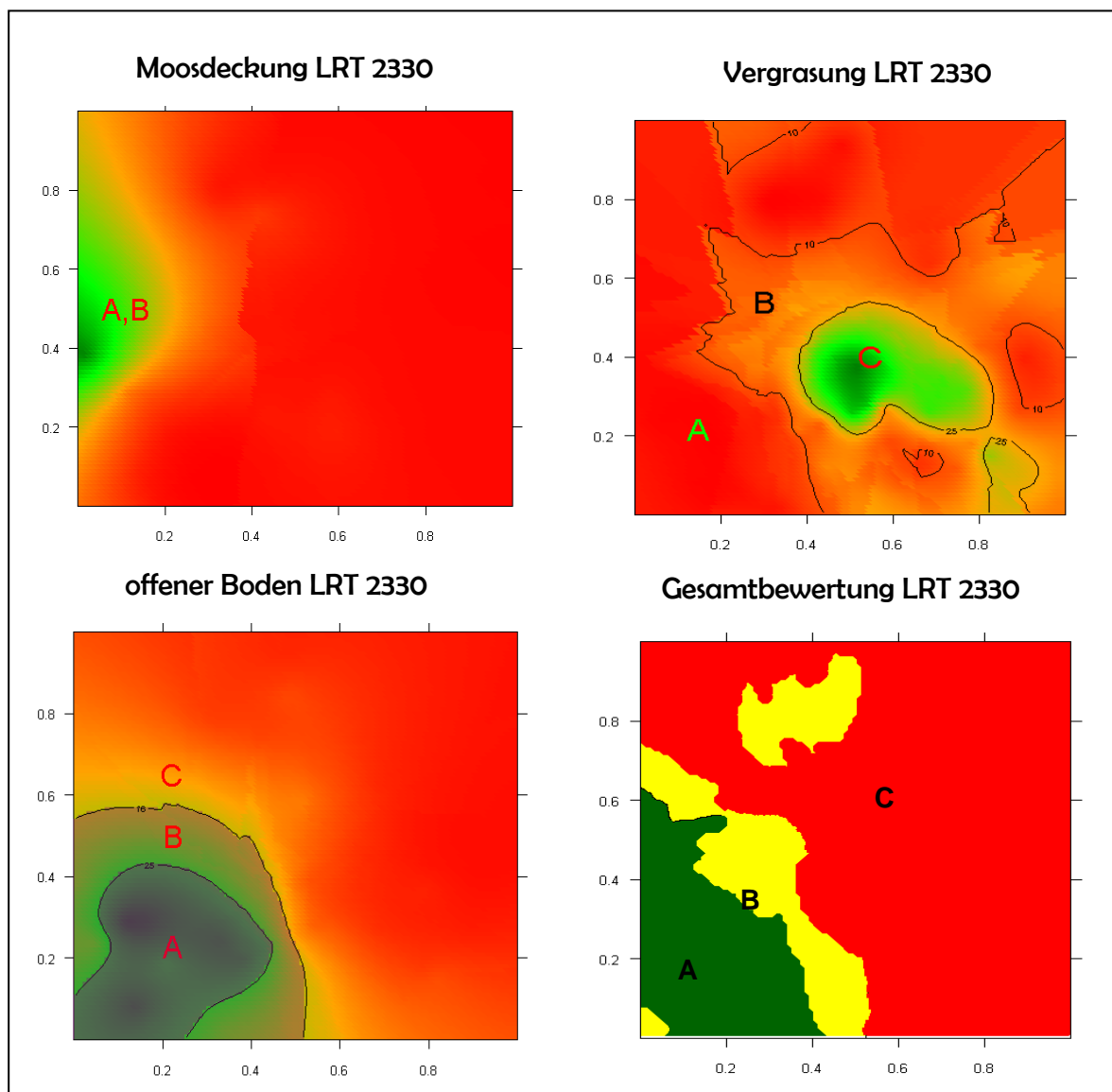


Abbildung 3.3.6a: Aggregation von potentiellen Bewertungsstufen für den LRT 2330 durch Überlagerung von Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Bewertungsparameter im Ordinationsraum (dargestellt ist nur ein Teil der Bewertungskriterien).

In Abbildung 3.3.6a wird die zur Ermittlung der Bewertungsstufen für den LRT-2330 vorgenommene Ordinationsraumaggregation exemplarisch für einen Beeinträchtigungsparameter und zwei Zusatzkriterien zur Auf- bzw. Abwertung dargestellt. Dabei werden die Schwellenwerte der Bewertungsstufen (Tabelle 3.3.6a) in den Ordinationsraum mittels Isolinien projiziert. Jeder durch eine Isolinie abgegrenzte Bereich ist das Ergebnis einer vorherigen Ableitung von Vorkommenswahrscheinlichkeiten für einen Bewertungsparameter basierend auf der funktionalen Vorschrift zur Verknüpfung der oben genannten Arten. Handelt es sich um eine Einzelart oder einen Einzelparameter werden die Vorkommenswahrscheinlichkeiten/ Deckungswerte direkt für den Ordinationsraum vorhergesagt.

Es ist zu erkennen, dass die Wahrscheinlichkeit einer Vergrasung im rechten mittleren Bereich die sich im linken unteren Bereich befindlichen Silbergrasfluren beeinflusst. Der Aufwertungsparameter offener Boden begünstigt typische Ausprägungsformen. Die Deckungsgradverteilung von Moosen führt zu keinen Abwertungen da die Vorhersagen im Ordinationsraum keine Deckungswerte von >50% ergeben.

Als Ergebnis wird der Ordinationsraum in die drei 3 Bewertungsstufen eingeteilt.

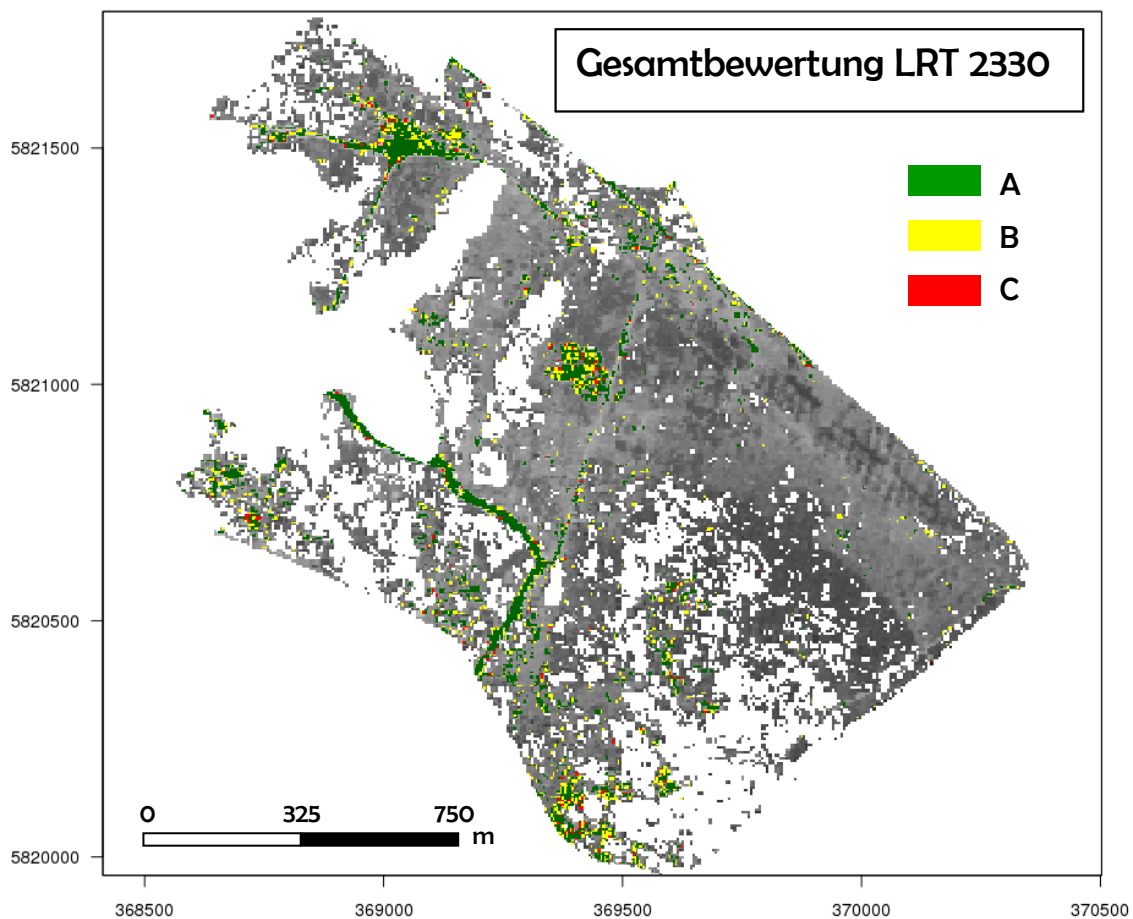


Abbildung 3.3.6b: Räumliche Verteilung der potentiellen Bewertungsstufen (A, B, C) für den LRT 2330 im UG Hasenheide

Die Bewertungskategorien werden auf zur räumlichen Vorhersage innerhalb der im letzten Arbeitsschritt extrahierten Bereiche des Lebensraumtyps in den Untersuchungsgebieten übertragen (Abb. 3.3.6b und 3.3.6c). In der Hasenheide kommen innerhalb der abgegrenzten Gebiete mit LRT 2330 weniger fragmentierte Bereiche bzw. Einzelpixel mit isoliertem Vorkommen von Silbergrasfluren vor. Im

UG Naturschutzzentrum sind die Flächen mit LRT 2330 dagegen stärker fragmentiert. Diese an Heiden und Sandtrockenrasen angrenzenden Silbergrasfluren werden durchgehend mit C bewertet, d.h. sie weisen einen ungünstigen Erhaltungszustand auf. Es ist davon auszugehen, dass diese Habitats als kleinflächige Vegetationsmosaik vorliegen (Übergangsbestände zu Sandtrockenrasen oder Heiden) oder sich in einem fortgeschrittenen Sukzessionsstadium befinden. Die Beeinträchtigung wird hauptsächlich durch eine Zunahme von Vergrasungszeigern (in Richtung Sandtrockenrasen) oder eine Abnahme des zu detektierenden Bodensignals beim Übergang zu Heiden verursacht. Die mit A abgegrenzten Silbergrasbestände befinden sich gehäuft auf und entlang von Wegen, aber auch in den durch einen hohen Anteil an offenen Boden gekennzeichneten Offenlandbereichen der Eingewöhnungszone im UG Naturschutzzentrum. Auf ehemaligen Abgrabungsflächen z.B. im Zentrum des UG Hasenheide, oder im Nord-Westen des UG Naturschutzzentrum dominieren Silbergrasfluren in Erhaltungszustand B, welche in nahe liegender Vergangenheit noch in typischen Ausprägungsformen (Bewertung A) vorlagen. Diese unterliegen ebenfalls dem Einfluss der natürlichen Sukzession, so dass eine zunehmende Kryptogamendeckung und beginnende Vergrasung im spektralen Signal zur Abwertung in B detektiert werden kann.

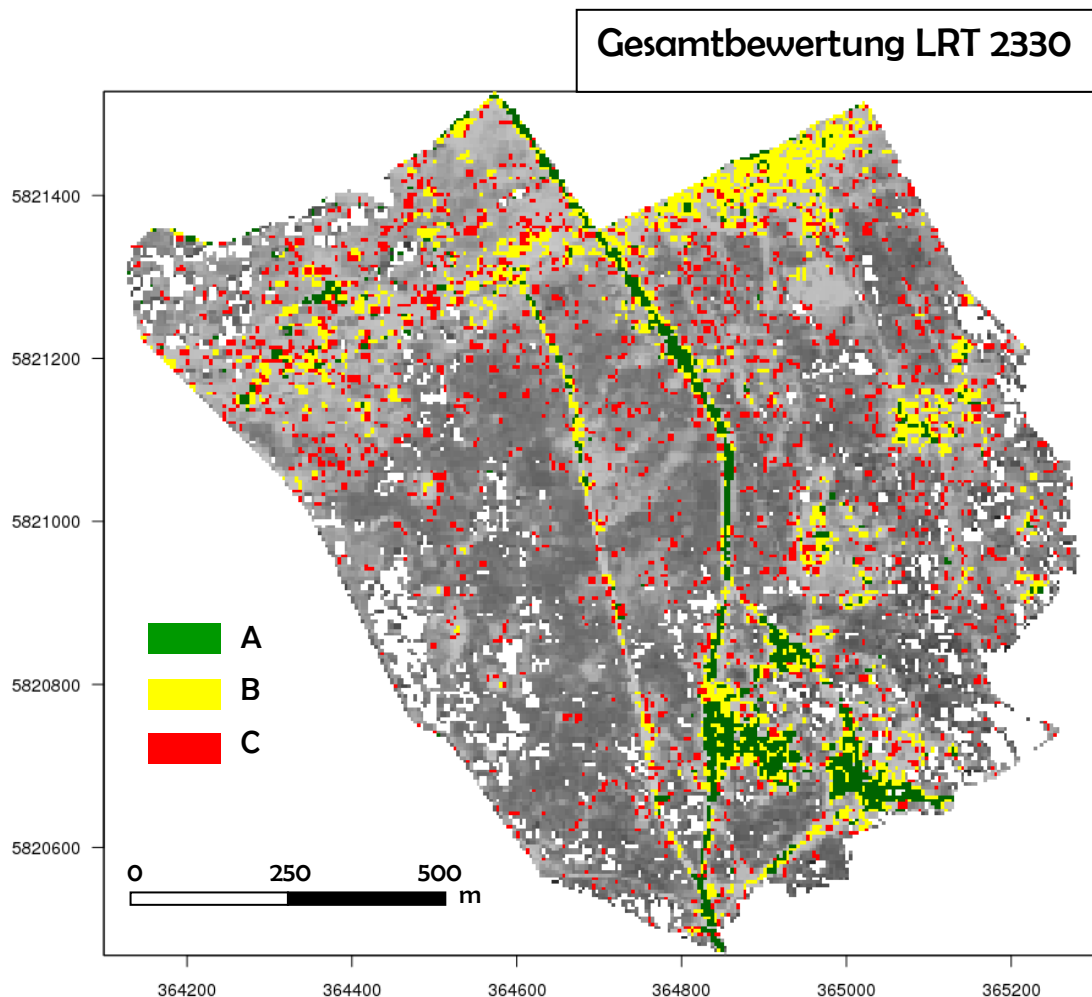


Abbildung 3.3.6c: Räumliche Verteilung der potentiellen Bewertungsstufen (A, B, C) für den LRT 2330 im UG Naturschutzzentrum.

Spektrale Bewertung und räumliche Vorhersage des Erhaltungszustandes von LRT-6120

Bewertungskriterien des LRT 6120

Die drei Beeinträchtigungskriterien Verbuschung, Vergrasung und Störzeiger bilden auch das Grundgerüst für die Ermittlung des potentiellen Erhaltungszustandes des LRT 6120 in der Döberitzer Heide (Tab. 3.3.6b). Als Gesamtbewertung für die Beeinträchtigungen wird der schlechteste der drei Werte verwendet.

Als weiteres Kriterium wird der Deckungsanteil an „Horstgräsern“ verwendet. Er kann als „Indikator“ für die Habitatstruktur auch den Zustand des Vegetationsaufbaus abdecken. Die Überprüfung eines weiteren Kriteriums „Kryptogamendeckung“ erbrachte keine besseren Vorhersagen für den Erhaltungszustand des LRT im Untersuchungsgebiet. Dies liegt v.a. an der meist nur geringen Deckung der Kryptogamen in den Sandtrockenrasen und der geringen positiven Korrelation von Kryptogamendeckung und einer guten Ausprägung des LRT, wie sie im Bewertungsschlüssel z.B. von Brandenburg angenommen wird. Insgesamt lassen sich die terrestrisch erfassbaren Deckungen von Kryptogamen in recht dichten Vegetationsbeständen spektral nicht abbilden.

In einem zweiten Schritt werden die Wertstufen der Beeinträchtigungen und der Habitatstruktur wie im terrestrischen Verfahren gemittelt.

Im letzten Schritt wird das Habitatstruktur-Kriterium „Anteil offener Boden“ ab einem spektral unterscheidbaren und in den Bewertungsschemata angegebenen Grenzwert von 10% zur Aufwertung um eine Wertstufe genutzt. Dieser Aufwertung liegt der Gedanke zugrunde, dass Sandtrockenrasen mit einem höheren Anteil an offenem Boden einer ganzen Reihe von konkurrenzschwachen Arten die Möglichkeit zur Etablierung ermöglichen, so dass das Artenspektrum dieser Bestände größer sein wird (vgl. Kap. 3.3.5 - Sandtrockenrasen).

Tabelle 3.36b: Kriterien für die spektrale Bewertung des Erhaltungszustandes des LRT 6120.

Parameter	Bewertung A	Bewertung B	Bewertung C	Bemerkung
Beeinträchtigungen				
Verbuschung	<10%	10-30%	30-70%	
Vergrasung	<20%	20-50%	50-70%	Gegenüber terrestrischen Schwellenwerten erhöht
Störzeiger	<20%	20-30%	30-70%	inklusive Streu!
Habitatstrukturen				
Deckung Horstgräser	>50%	25-50%	<25%	
Aufwertungskriterium				
Offener Sandboden	10%-30%			Aufwertung bei Stufe A

Arten-Auswahl für die Bewertungskriterien

Auch die Bewertungskriterien werden aus dem Verhalten von einzelnen Arten, Artengruppen oder Standorteigenschaften im Ordinationsraum ermittelt.

Als typische Arten von Verbuschungsstadien der Sandtrockenrasen der Döberitzer Heide, die auch spektral erfassbar sind, wurden folgende Arten berücksichtigt: *Sarothamnus scoparius*, *Populus tremula*, *Betula pendula*.

Als Vergrasungszeiger wurden für die Sandtrockenrasen im Gegensatz zu den Heiden und Silbergrasfluren v.a. mesomorphe Gräser berücksichtigt: *Agrostis capillaris*, *Arrhenatherum elatius*, *Holcus lanatus*, *Poa angustifolia*, *Dactylis glomerata*.

Als Störzeiger wurden berücksichtigt: *Calamagrostis epigeios*, *Rubus spec.*, *Tanacetum vulgare*. Obwohl weitere Störzeiger vorhanden sind, lässt sich das Kriterium „Störzeiger“ durch diese Arten ausreichend gut abbilden.

Das Ergebnis des Bewertungsverfahrens für den LRT-6120 ist in Abbildung 3.3.6d dargestellt. Im Vergleich mit den Silbergrasfluren zeigen sich beim Bewertungskriterium Vergrasung deutliche Unterschiede. Obwohl der die Verortung innerhalb des Ordinationsraumes ähnlich ist, bewirkt die unterschiedliche Auswahl von „Vergrasungszeigern“, aus denen das Kriterium aggregiert wurde, eine andere Verteilung der Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Bewertungsstufen. Beinhaltet die Funktionsvorschrift für die Silbergrasfluren eine höhere Gewichtung xeromorpher Grasarten, werden für die Sandtrockenrasen v.a. mesomorphe Grasarten stärker gewichtet.

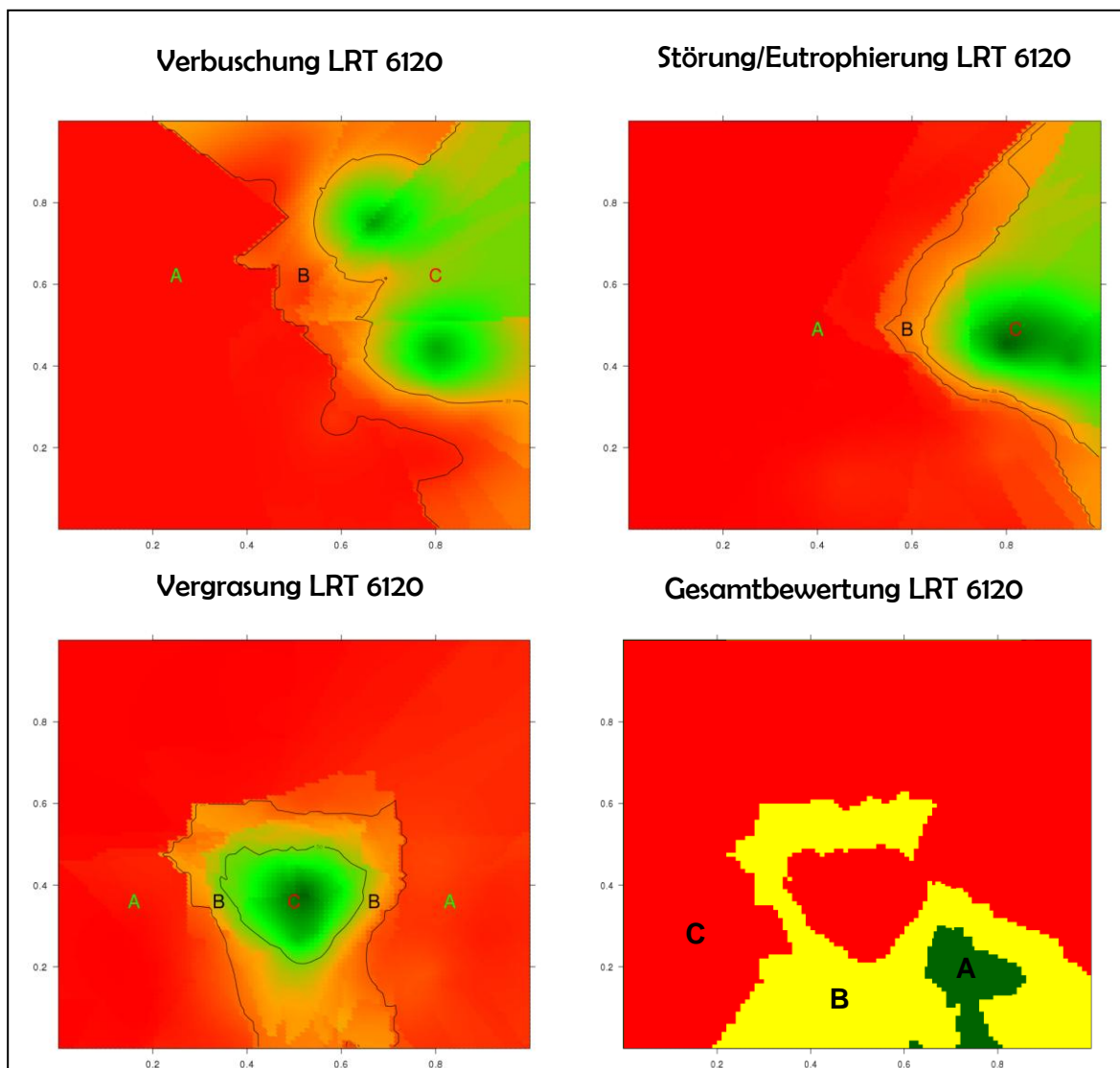


Abbildung 3.3.6d: Aggregation von potentiellen Bewertungsstufen für den LRT 6120 durch Überlagerung von Vorkommenswahrscheinlichkeiten der Bewertungsparameter im Ordinationsraum (dargestellt ist nur ein Teil der Bewertungskriterien).

Die aus der Zusammenführung der einzelnen Bewertungskriterien definierten spektralen Gesamtbewertungsstufen im Ordinationsraum werden erneut über das Spektralmodell in flächenhafte Vorhersagen übertragen (Abbildungen 3.3.6e und 3.3.6f).

Im UG Hasenheide können größere homogene Bereiche von Sandtrockenrasen typischer Ausprägungsformen (potentielle Gesamtbewertung A) im Osten, im Süden sowie entlang eines Weges im Zentrum des UG detektiert werden. Ausgehend von diesen Kernflächen verringern sich die Bewertungsstufen graduell hin zu den Außenbereichen. Sie gehen in Verbuschungsbereiche oder aber auch in Heidebestände über. Der Erhaltungszustand von Sandtrockenrasen mit räumlicher Nähe zu Silbergrasfluren wird mit A oder B bewertet. Dies ist darin zu begründen, dass entsprechend den terrestrischen Bewertungsverfahren, bei höheren Anteilen offenen Bodens zwischen 10% und 30% in der Aggregierungsvorschrift eine Aufwertung des LRT 6120 festgelegt wurde. Hierdurch werden Übergangsbereiche, die auch den Silbergrasfluren des LRT 2330 zugewiesen wurden erfasst. Sie kennzeichnen Entwicklungsstadien einer natürlichen Sukzessionsabfolge, wobei ein bestimmter Lebensraumtyp noch nicht festgelegt sein muss. Vielmehr sind solche mit A/B bewerteten Ökotonbereiche wichtige Initialstadien für die Ausbildung von Sandtrockenrasenstrukturen. Bereiche mit einer potentiellen Gesamtbewertung C, entsprechen bereits degenerierten Standorten (stärker verbuscht, gestört oder vergrast), die meist durch fortgeschrittene Sukzessionsstadien gekennzeichnet sind.

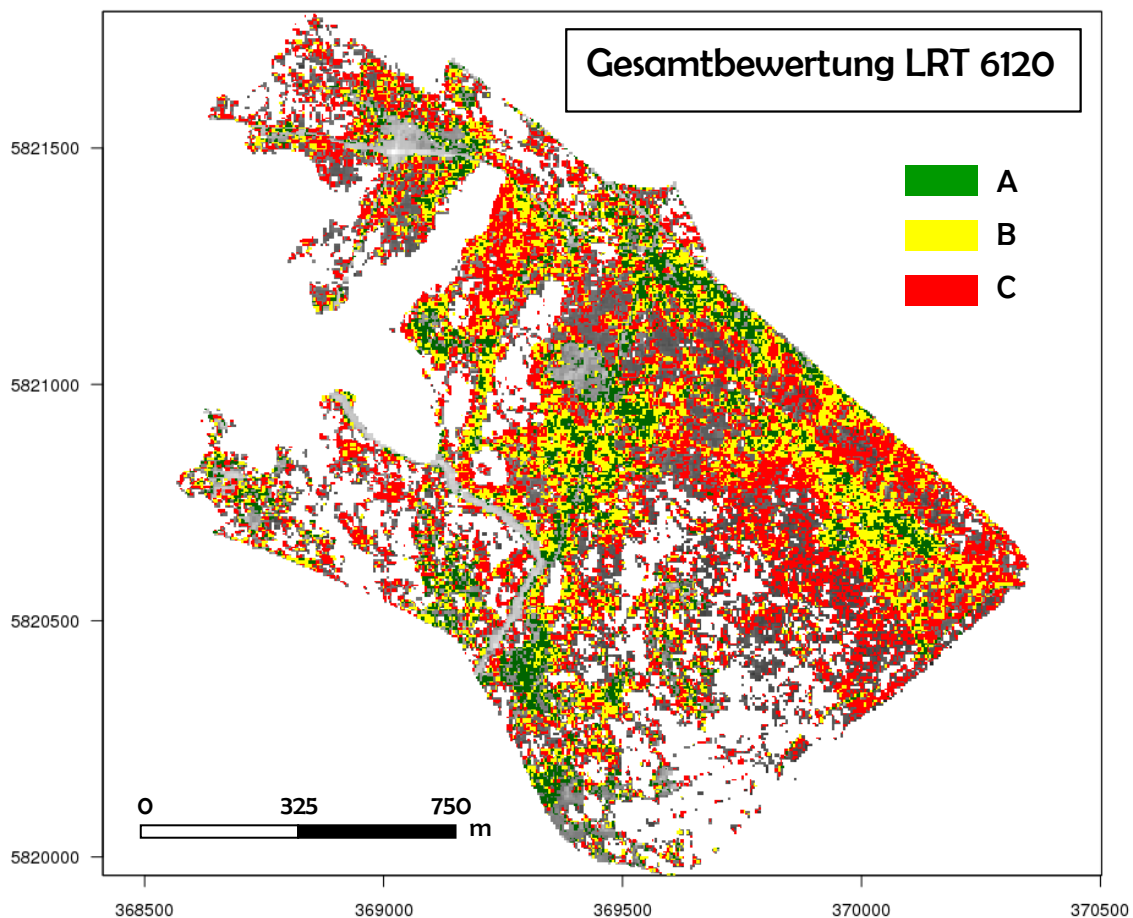


Abbildung 3.3.6e: Räumliche Verteilung der potentiellen Bewertungsstufen (A, B, C) gemeinsam für Sandtrockenrasen und den LRT 6120 im UG Hasenheide.

Im UG Naturschutzzentrum dominieren Sandtrockenrasen mit ungünstigem Erhaltungszustand (Bewertungsstufe C). Nur kleinflächig fragmentiert existieren Sandtrockenrasen in typischen Ausprägungsformen (Bewertung A). Im Norden des UG führt vorwiegend eine hohe Tendenz zur Vergrasung zu starken Beeinträchtigungen. Im Zentrum des UG werden typische Sandtrockenrasen durch den Einfluss von flächenhaft ausgebildeten Landreitgrasfluren in die Bewertungsstufe C überführt. Andere Flächen mit ungünstigem Erhaltungszustand werden durch einen starken Übergang zu den Heidestandorten (Mosaikbestände) gekennzeichnet. Hier zeigt sich, dass es besonders in fragmentierten Beständen zu schlechten Bewertungen kommen kann, da die räumliche Auflösung des zugrundeliegenden HyMap-Bilddatensatzes von 4 Metern den spektralen Einfluss dicht beieinander liegender Flächen integriert. Dadurch können kleinskalige Effekte heterogener Habitatverteilungen spektral nicht erfasst und somit nur unzureichend räumlich abgebildet werden. Die vorgenommenen hyperspektralen Bewertungsvorhersagen beziehen sich aus diesem Grund immer auf eine von den Sensoreigenschaften determinierte Betrachtungsskala.

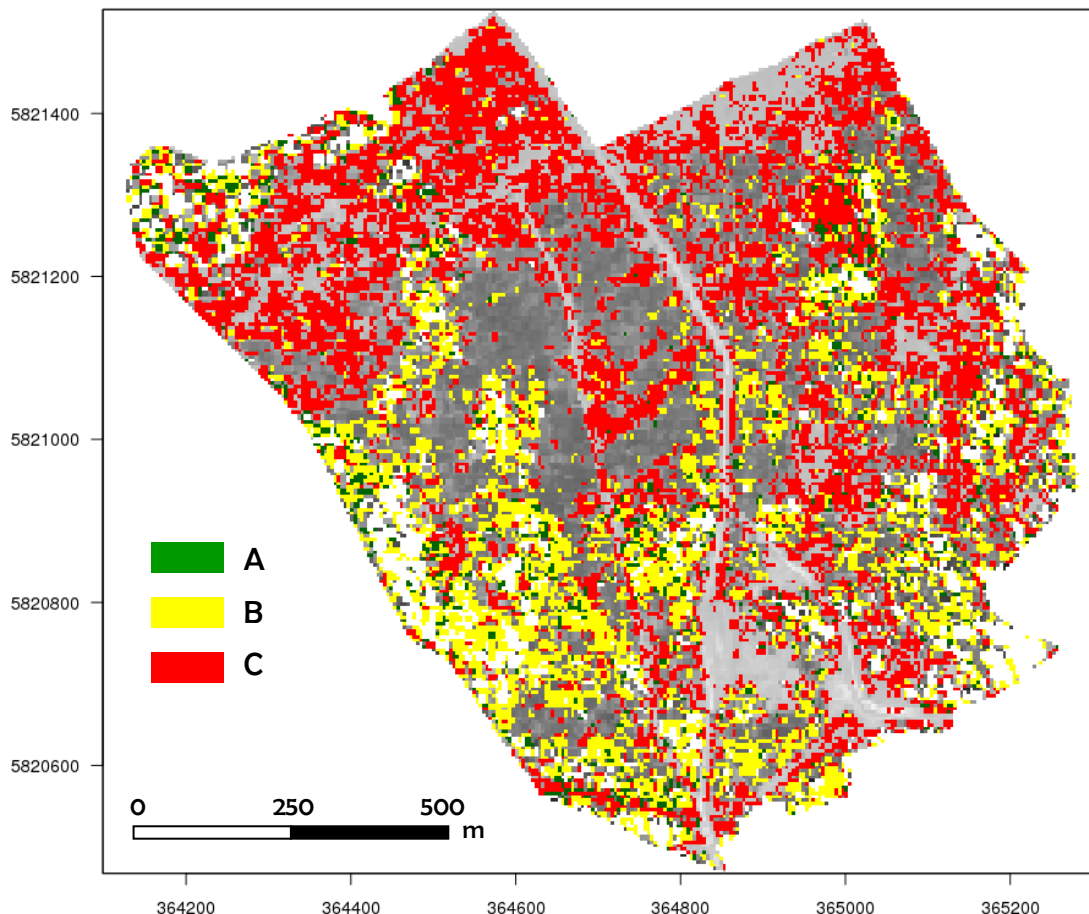


Abbildung 3.3.6f: Räumliche Verteilung der potentiellen Bewertungsstufen (A, B, C) gemeinsam für Sandtrockenrasen und den LRT 6120 im UG Naturschutzzentrum.

Spektrale Bewertung und räumliche Vorhersage des Erhaltungszustandes von LRT-4030

Bewertungskriterien des LRT 4030

Die Beeinträchtigungskriterien Verbuschung und Störzeiger bilden das Grundgerüst für die Ermittlung des potentiellen Erhaltungszustandes des LRT 4030 in der Döberitzer Heide (Tab. 3.3.6c). Als Bewertungsstufe der Beeinträchtigungen wird der schlechteste der beiden Werte verwendet.

In einem weiteren Schritt werden die Kriterien „Vergrasung“ und „Anteil offener Boden“ zur Aufwertung oder Abwertung der Wertstufe genutzt. Durch die Aufwertung aufgrund von einem höheren Anteil Boden oder einer geringen Vergrasung, soll der dadurch erhöhten Regenerationsmöglichkeit von Heidekraut und konkurrenzschwachen Arten Rechnung getragen werden. Gleichzeitig kann zumindest beim Parameter Boden von einer höheren Vielfalt an Standorten und Altersphasen ausgegangen werden. Umgekehrt behindert eine hohe Gräserdeckung, bzw. fehlender offener Boden die Regeneration und die Wahrscheinlichkeit der Überalterung des Bestandes steigt.

Arten-Auswahl für die Bewertungskriterien

Auch die Bewertungskriterien werden aus dem Verhalten von einzelnen Arten, Artengruppen oder Standorteigenschaften im Ordinationsraum ermittelt.

Als typische Arten von Verbuschungsstadien der Heiden der Döberitzer Heide, die auch spektral erfassbar sind, wurden folgende Arten berücksichtigt: *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Sarothamnus scoparius*.

Verbuschung durch neophytische Gehölzarten besteht durch: *Prunus serotina* und eingeschränkt durch *Robinia pseudoacacia*.

Als Vergrasungszeiger wurden im Gegensatz zu den Heiden und Silbergrasfluren in den Sandtrockenrasen mehr oder weniger mesomorphe Gräser berücksichtigt: *Agrostis capillaris*, *Deschampsia flexuosa*, *Festuca ovina* agg. und weniger häufig auch durch *Nardus stricta* und *Danthonia decumbens*.

Als Störzeiger wurden berücksichtigt: *Calamagrostis epigeios*, *Rubus spec.*

Tabelle 3.3.6c: Kriterien für die spektrale Bewertung des Erhaltungszustandes des LRT 4030.

Parameter	Bewertung A	Bewertung B	Bewertung C	Bemerkung
Beeinträchtigungen				
Verbuschung	<10%	10-35%	30-75%	
Störzeiger	0%	<10%	>10%	
Habitatstrukturen				
Anteil Degenerationsphase	<50%	50-75%	>75%	
Aufwertungskriterium				
Offener Sandboden	>10-30%		0	
Vergrasung	<15%		50-70%	

In den räumlichen Vorhersagen des Erhaltungszustandes des LRT 4030 werden in beiden Untersuchungsgebieten großflächig homogene Bereiche mit einer hervorragenden Bewertung (A) abgegrenzt (Abbildungen 3.3.6g und 3.3.6i). In beiden Untersuchungsgebieten kann daher vom Vorhandensein von räumlich zusammenhängenden Einheiten typischer Heidekrautheiden ausgegangen werden. Die Tendenz zur Verbuschung ist im UG Hasenheide im Vergleich zum UG Naturschutzzentrum stärker ausgeprägt (mehr Flächen mit Bewertungsstufe C). Besonders im Zentrum des UG Hasenheide und zwischen

den Vorwaldstadien führt die aufkommende Verbuschung zu starken Beeinträchtigungen der Heiden. Aber auch in den Randbereichen größerer Heiden in gutem bis sehr gutem Erhaltungszustand kennzeichnen C-Bewertungen die höher werdende Wahrscheinlichkeiten von Verbuschungen. Es kann hier von einer Abbildung der natürlichen Sukzessionsabfolge ausgegangen werden.

Im Nord-Osten der Hasenheide tritt vermehrt Bewertungskategorie B auf. Besonders an diesen Stellen führt eine beginnende Durchdringung der Heiden mit xeromorphen Gräsern (Vergrasung) zu veränderten spektralen Signalen. Hier finden sich Mosaikkomplexe mit Borstgrasrasen und Schafschwingel-Ausbildungen. Im Kernbereich blieben fragmentierte Heiden mit gutem Erhaltungszustand erhalten, wobei es immer wieder auf einzelnen Bildelementen zur Abwertung durch höhere Deckungen von Verbuschungszeigern kommen kann.

Auch für das UG Naturschutzzentrum lassen sich ähnliche Aussagen über den Zustand der Heidekrautheiden des LRT 4030 ableiten, wobei besonders östlich des zentralen Weges eine Zunahme von Vergrasungszeigern detektierbar ist (Bewertung B, C). Neben den großflächig homogenen Bereichen mit älterem Heidebestand (als A interpretiert) kommen vereinzelt und in großer räumlicher Heterogenität vergraste und verbuschte Einheiten vor. Diese können in den Bildelementen erkannt und den Bewertungsstufen B bzw. C zugeordnet werden.

Eine Abbildung der realen Geländebedingungen im UG Hasenheide kann in Abbildung 3.3.6h nachvollzogen werden. Es werden die oben beschriebenen Gebiete im Nord-Osten (a) und im Zentrum (b) der Heide mit Fotografien aus dem Monat April dargestellt.

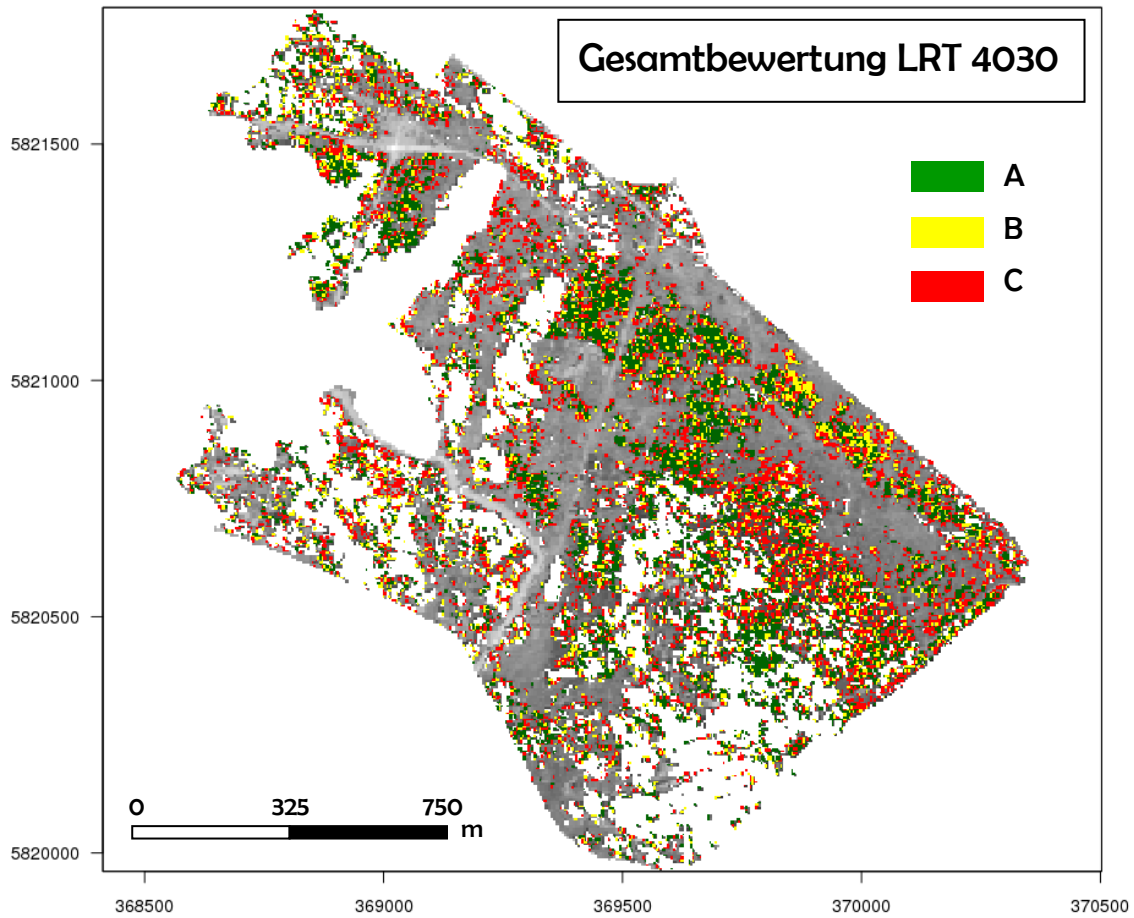


Abbildung 3.3.6g: Räumliche Verteilung spektraler Bewertungsstufen im UG Hasenheide

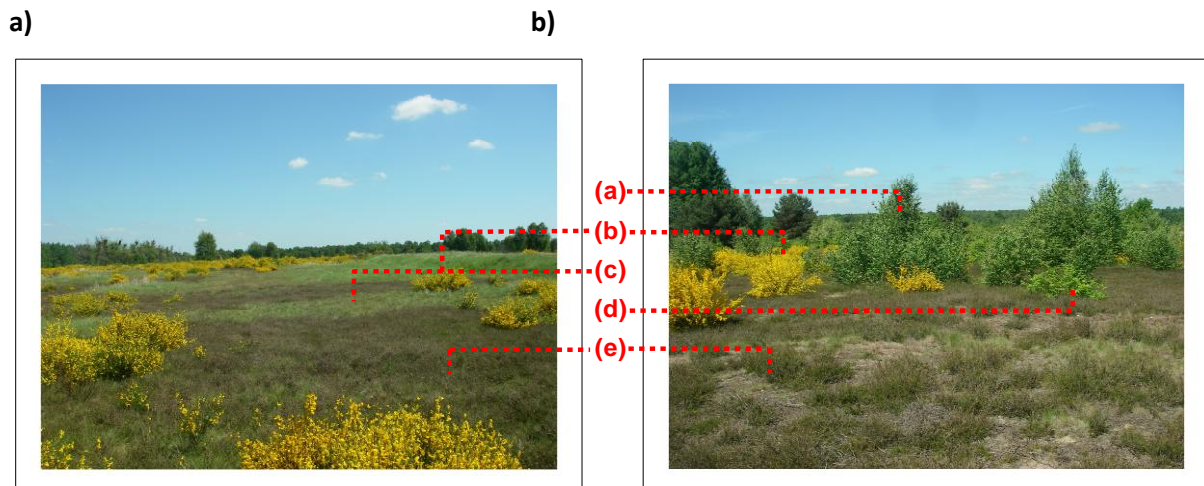


Abbildung 3.3.6h: typische Ausbildung von a) Vegetationskomplexen und b) Sukzessionsabfolgen, in Rot gekennzeichnet: (a) *Betula pendula* (b) *Sarothamnus scoparius* (c) *Nardus stricta* (d) *Prunus serotina* (e) *Calluna vulgaris*; eigene Aufnahme, Juni 2009

Es lassen sich wie beschrieben sowohl die im Gelände vorkommenden Mosaik- und Durchdringungskomplexe, als auch Gradienten einer Sukzessionsabfolge räumlich explizit abbilden und in nachvollziehbare Bewertungskategorien überführen. Dabei kann mit Hilfe des spektralen Modellansatzes der Einfluss einzelner Beeinträchtigungsparameter in einem hinreichenden Maß unterschieden werden, so dass eine Interpretation über die Struktur von Heideformationen ermöglicht werden kann. Auch für das UG Naturschutzzentrum lassen sich ähnliche Interpretationsansätze über den Zustand von Vegetationsformationen der Heiden ableiten, wobei besonders östlich des zentralen Weges eine Zunahme von Vergrasungszeigern detektierbar ist. Neben den großflächig homogenen Bereichen mit älterem Heidebestand kommen vereinzelt und in großer räumlicher Heterogenität vergraste und verbuschte Einheiten vor. Diese können in den Bildelementen erkannt und den Bewertungsstufen B bzw. C zugeordnet werden.

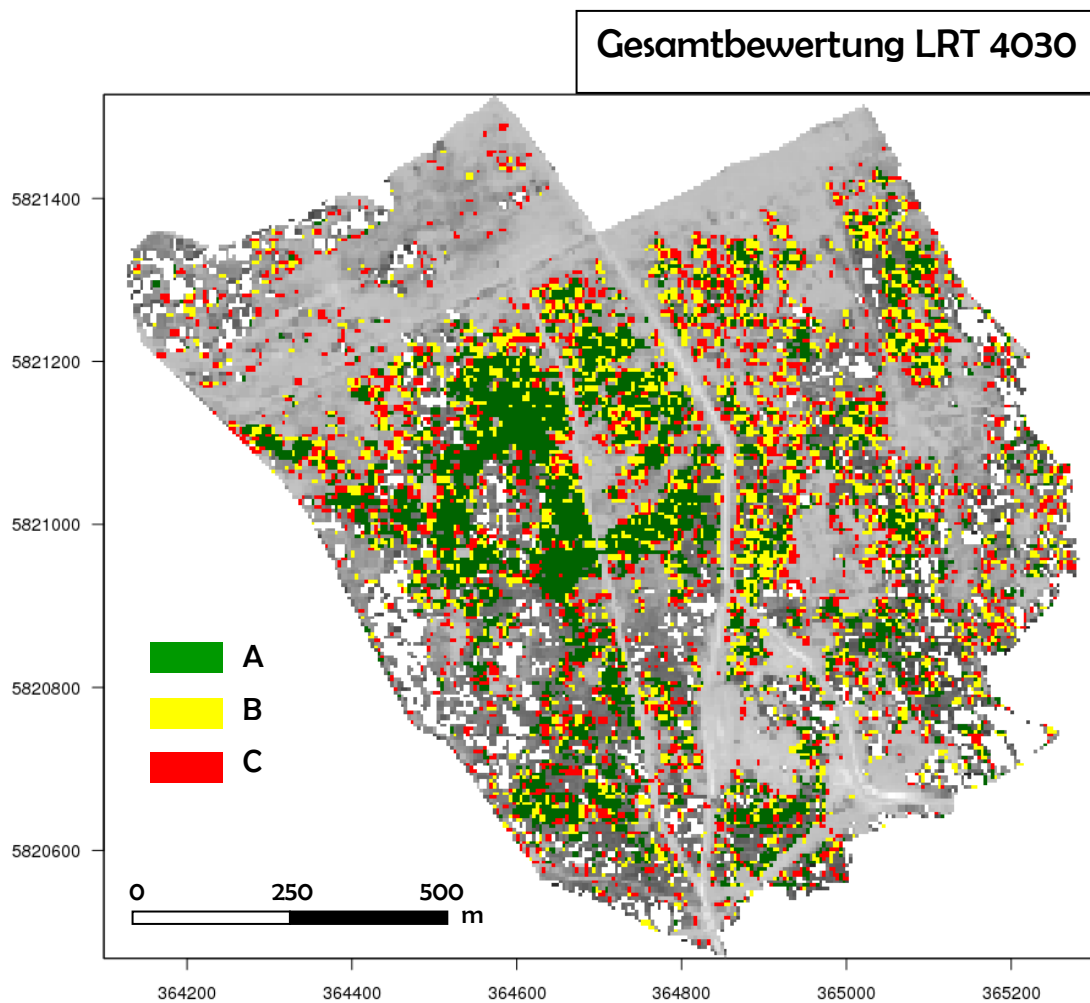


Abbildung 3.3.6i: Räumliche Verteilung spektraler Bewertungsstufen im UG Naturschutzzentrum

Zusammenfassung und externe Validierung

Das entwickelte hyperspektrale Bewertungsverfahren basiert auf einer Verknüpfung von Eigenschaften des Ordinationsraums (Artenkombinationen, Strukturparameter der Vegetations-Aufnahmeflächen) mit den spektralen Eigenschaften dieser Aufnahmeflächen. Mit Hilfe von funktionalen Aggregierungsvorschriften konnten Bewertungskriterien im Ordinationsraum aggregiert und in räumliche Vorhersagen anhand übertragbarer spektraler Signaturen in digitalen Bilddaten überführt werden.

Die Extraktion von FFH-Lebensraumtypen (räumliche Abgrenzung) auf der Grundlage der Definition von Schwellenwerten der Vorkommenswahrscheinlichkeit ermöglichte zudem die Bewertung des Erhaltungszustandes der Flächen. Dabei sind Aussagen zu Entwicklungstendenzen und Beeinträchtigungen der Lebensraumtypen insbesondere in Übergangsbereichen möglich. Aber auch Beeinträchtigungen in Kernflächen (größere zusammenhängende Gebieten) der potentiellen Lebensraumtypen konnten ermittelt und als Interpretationsansatz zur Identifikation von Strukturmerkmalen herangezogen werden.

Die Grenzwerte für die Bewertungsstufen der Bewertungskriterien wurden an die spektrale Differenzierbarkeit von Vegetationsparametern angepasst.

Für eine erste Validierung der mit dem Modell vorausgesagten Ergebnisse ist es wichtig, zwei Betrachtungsebenen zu differenzieren. Zum einen müssen die für die Bewertungskriterien zur Aggregierung im Ordinationsraum herangezogenen Arten mit Hilfe der spektralen Signaturen in ihren Deckungsgraden vorhersagbar sein um somit die Plausibilität vorhergesagter Bewertungsstufen zu begründen. Zum anderen können die räumlich vorhergesagten Bewertungskategorien direkt mit den Werten aus einem terrestrischen Verfahren verglichen werden.

Zur Überprüfung der erzielten Vorhersagen wurden drei im Gelände erhobene Transekte analysiert. Diese repräsentierten typische mosaikartige Übergangsbereiche mit kleinflächig wechselnden Abfolgen von Silbergrasfluren, Heidekrautheide und Sandtrockenrasen, so dass eine Evaluation des entwickelten Verfahrens im Hinblick auf die Vorhersagbarkeit kleinskalig variabler Vegetationsstrukturen unter Berücksichtigung von Sukzessionsabfolgen ermöglicht wird (Abbildung 3.3.6j). Die Transekte bestehen aus insgesamt 23 Quadranten mit einer Kantenlänge von 1 Meter sowie einem mittlerem Abstand von 6 Metern. Auf den jeweiligen Einzelflächen wurden nach demselben Verfahren wie für die spektralen Untersuchungsflächen das Arteninventar sowie strukturelle Pflanzen- und Umweltparameter aufgenommen. Außerdem wurde für jeden Quadranten eine Bewertung des FFH-Erhaltungszustandes nach einem terrestrischen Verfahren vorgenommen.



Abbildung 3.3.6j: Lage der Vegetationstransekte im UG Hasenheide.

Im ersten Schritt der Validierung der Vorhersagen wurde die pixelgenaue Vorhersage von Deckungsgraden zweier diagnostischer Arten der Lebensraumtypen 6120 (*Festuca ovina* agg.) und 4030 (*Calluna vulgaris*) sowie die Deckungsgrade eines bedeutenden Strukturparameters des LRTs 2330 (Anteil offener Boden) verglichen. In der Abbildung 3.3.6k sind jeweils die im Bilddatensatz vorhergesagten Werte mit den Kartierungen auf den Untersuchungsflächen in Bezug gesetzt.

Es ist zu erkennen, dass *Festuca ovina* agg. bei höheren Deckungswerten vom spektralen Modell zunehmend unterschätzt wird. Dieses Verhalten ist in der spektralen Response zu grüner Vegetation zu erklären. Bei hohen Gräserdeckungen wird eine spektrale Differenzierung einzeln hervortretender Arten erschwert. Insbesondere bei Mischpixelinformationen bei einer im Bilddatensatz vorhandenen räumlichen Auflösung von 4 Metern fallen die Modellvorhersagen zu Gunsten niedriger Score-Werte der 1. Ordinationsachse aus. Die Varianz der Vorhersagen erhöht sich, da andere Grasarten ebenfalls ähnliche spektrale Eigenschaften aufweisen. Dennoch können die Modellvorhersagen insgesamt 79% der Variabilität der Deckungswerte von *Festuca ovina* agg. erklären.

Anders verhält es sich bei *Calluna vulgaris*. Das spektrale Modell kann insgesamt die Variabilität in der Deckungsgradverteilung zu 83% erklären, wobei es zu keinen gerichteten Abweichungen kommt. Lediglich bei besonders homogenen Bereichen mit Deckungswerten >70% erhöhen sich die Vorhersagefehler signifikant. Dies ist durch den engen Bereich innerhalb des Ordinationsraumes zu erklären in dem solche Deckungswerte detektiert wurden. Die spektrale Varianz überschreitet in diesem Fall die Varianzstruktur

im Ordinationsraum durch Häufung ähnlicher Aufnahmen. Mittels Modifikationen der im Ordinationsraum integrierten Untersuchungsflächen in Richtung größerer Variabilität im aufgenommenen Arteninventar sind geringere Fehlerabweichungen zu erwarten.

Der Strukturparameter offener Boden lässt sich mit der größten Genauigkeit räumlich abbilden. Das spektrale Modell erklärt das Auftreten von unterschiedlichen Anteilen offenen Bodens mit einer Genauigkeit von 84%. Auch hier werden bei zunehmenden Anteilen offenen Bodens in der Regel niedrigere Werte als kartiert vorhergesagt. Dieses Verhalten kann wiederum mit den auf geostatistischen Verfahren beruhenden Vorhersagen der Deckungsgrade im Ordinationsraum begründet werden. Die räumliche Varianzstruktur erlaubt auf Grundlage der Verteilung von Untersuchungsflächen einen größeren Bereich mit ähnlichen Anteilen offenen Bodens im Ordinationsraum. Die spektrale Anpassung bezieht sich jedoch auf die für die Interpolation genutzten Einzelflächen, so dass beim Parameter offener Boden auch bei Überlagerung mit das spektrale Signal beeinflussenden Pflanzenarten hohe Anteile offener Boden aggregiert sind. Eine individuelle Anpassung der Variogrammmodelle in Abhängigkeit vom jeweiligen Untersuchungsraum kann zu einer Optimierung der Vorhersageergebnisse führen.

Zusammenfassend konnten für beide diagnostische Arten und für einen Strukturparameter hinreichend hohe Vorhersagegenauigkeiten erreicht werden. Die mittlere Fehlerabweichung beträgt 3,8%, so dass von guten Schätzungen von räumlichen Einzelartennachweisen ausgegangen werden kann. Die detektierten und erörterten Ursachen im Sinne einer Fehlerabschätzung können so auch auf andere zur Bewertung genutzte Arten und Parameter übertragen werden. Für eine umfangreiche Evaluierung der aus den Einzelparametern abgeleiteten Bewertungsstufen wurden im Folgenden die Bewertungskategorien direkt verglichen.

Die Beurteilung der externen Validierung vorhergesagter Bewertungsstufen soll detailliert anhand einer Fehlermatrix vorgenommen werden. Dabei sollten die für die Bildpixel der Transekte abgeleiteten spektralen Bewertungskategorien mit denen einer terrestrischen Vorgehensweise verglichen werden. Zwar erhöht sich somit der Anteil falsch vorhergesagter Kategorien aufgrund der Anpassung des hyperspektralen Verfahrens auf spektral zu differenzierende Bewertungsstufen. Dennoch können auf diese Weise Hinweise für die Interpretation von räumlichen Vorhersagen in Bezug auf die Anwendbarkeit für FFH-Meldepflichten bezogen werden.

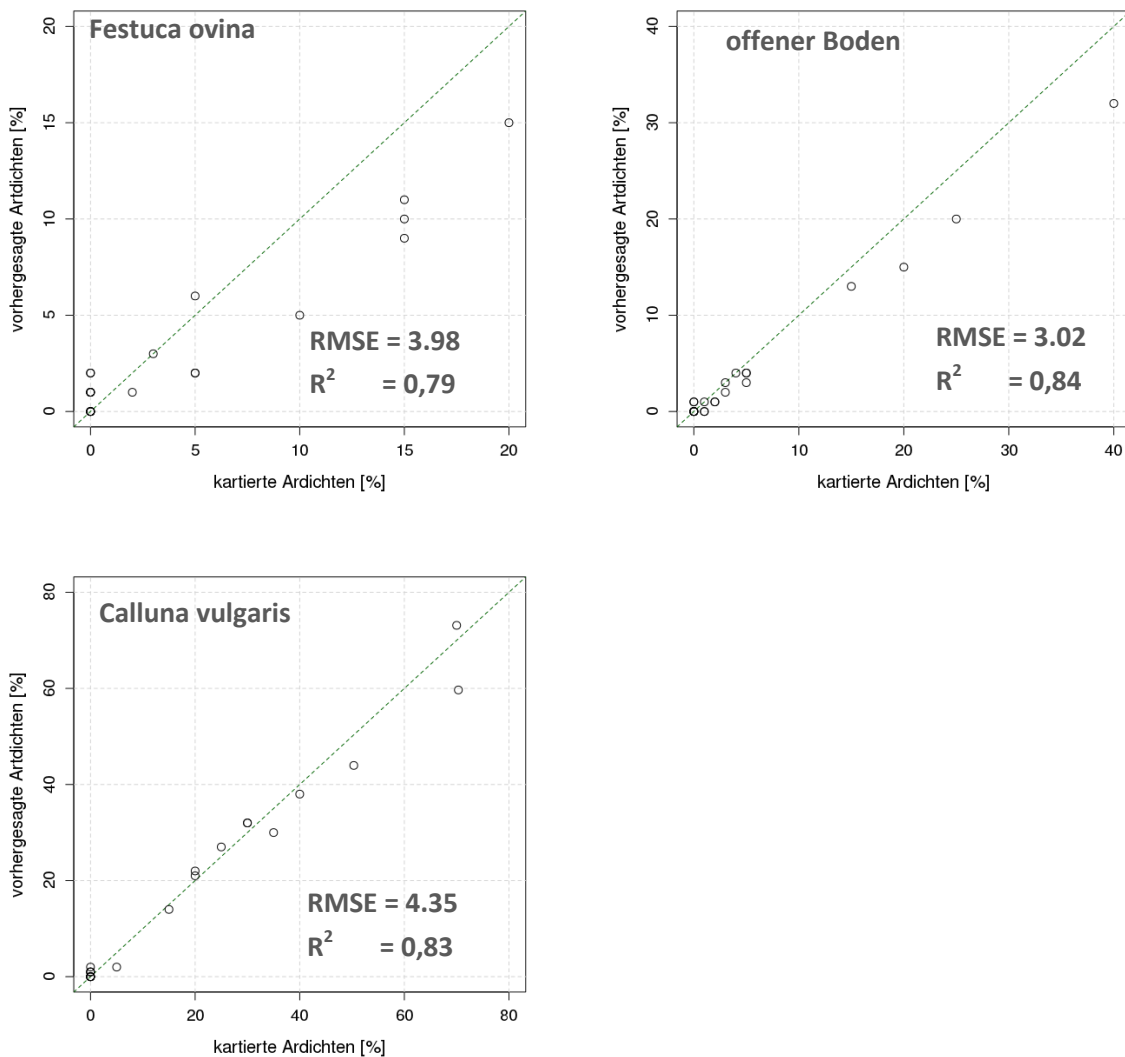


Abbildung 3.3.6k: Vergleich zwischen kartierten und räumlich vorhergesagten Deckungen von *Festuca ovina* agg., *Calluna vulgaris* und Anteil offener Boden auf Untersuchungsflächen entlang von Transekten im UG Hasenheide.

In Tabelle 3.3.6d sind die Zuordnungen der Bewertungskategorien für die Transekte dargestellt. Die Spaltensummen kennzeichnen dabei die Wahrscheinlichkeiten mit denen eine terrestrische Bewertungskategorie richtig bzw. falsch den Bildelementen der Vorhersagen zugeordnet wurde. So wird beispielsweise die Kategorie A in 62,5 % der Fälle vom hyperspektralen Verfahren richtig erkannt. Die Kategorie B lässt sich mit der höchsten Genauigkeit vorhersagen, wobei der Fehler 2. Art, also die Falschbelegung der räumlichen Vorhersagen dieser Kategorie maximiert ist.

Dies bedeutet bei einer Falschzuweisung von Kategorie A oder C kommt es mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Vorhersage von Kategorie B. Daraus sowie aus den jeweiligen Spaltenzahlen für A und C ist abzuleiten, dass eine fehlerhafte Detektion einer Bewertungsstufenbelegung maximal zu einer Abweichung von einer Stufe führt. Dieses Verhalten kann ebenfalls bei der tabellengebundenen Überführung der terrestrischen Vorgehensweise zu spektralen Bewertungskategorien beobachtet werden. Die auf diese Weise generierten Abweichungen werden in Anhang BEW 1 bis BEW 3 ersichtlich.

Es fällt ebenfalls auf, dass bei Falschbelegungen von Bewertungskategorien selten zu Gunsten eines reinen Typus (Stufe A) entschieden wird. Vielmehr führen Mischpixelinformationen eher zu Abwertungen als zur Prognose guter Erhaltungszustände. Bei Anwendung räumlich hoch aufgelöster Daten könnten in Zukunft auch kleinräumig fragmentierte typische Bereiche, wie in Kapitel 3.3.8 erläutert wird, detektiert werden.

Tabelle 3.3.6d: Vergleich zwischen terrestrischen und vorhergesagten spektralen Bewertungskategorien für Transektenstandorte

		Terrestrischen FFH-Bewertung				2. Fehler %
Vorhersage	Kategorie	A	B	C		
	A	5	1	0		20,0
	B	3	8	1		57,1
	C	0	2	3		50
1. Fehler %		37,5	27,3	33,3		

Insgesamt wurde eine Gesamtgenauigkeit von 30,4 % erreicht was bei Berücksichtigung der Überführungsabweichungen für eine gute Anpassung des hyperspektralen Verfahrens an die Realität spricht. Es muss an dieser Stelle deutlich gemacht werden, dass das spektrale Bewertungsschema dem Anwender des Verfahrens bekannt sein muss. Nur so können Abweichungen in den Vorhersagen plausibel erklärt und interpretiert werden. Dem Kartierer und letztendlich dem Verantwortlichen für die Erfüllung von FFH-Berichtspflichten muss die spektrale Differenzierbarkeit einzelner Bewertungsstufen bekannt sein. Nur so können die erhaltenen Bewertungskarten als Potentialzeiger von Entwicklungstendenzen in Vegetationsbeständen objektiv interpretiert werden.

3.3.7 Veränderungsanalyse durch Wildtierbesatz aus hyperspektralen Zeitreihendaten

Das auf digitale HyMap Bilddaten angewendete hyperspektrale Verfahren zur Vorhersage und Aggregation des Vegetationskontinuums wurde im Rahmen des DBU-Projektes auf Übertragbarkeit auf unterschiedliche Aufnahmetermine und auf variierende hyperspektrale Datensätze überprüft. Zum einen sollte somit das Verfahren auf Stabilität hinsichtlich sich im phänologischen Zyklus verändernder Pflanzenbestände getestet werden. Zum anderen muss die Sensibilität eines auf Fernerkundungsdaten beruhenden empirischen Modellansatzes bezüglich der an hyperspektralen Sensoren angewandten Prozessierungsketten evaluiert werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und einer Herleitung von Anwendungsbezügen zu Monitoringaufgaben soll diese Überprüfung an konkreten Beispielen in den folgenden beiden Kapiteln erörtert werden.

Im ersten Anwendungsbeispiel wurde ein Testgebiet südlich der Hasenheide zur Vorhersage der Vorkommenwahrscheinlichkeiten von Silbergrasfluren innerhalb und außerhalb der Wildniskernzone ausgewählt. Dabei sollte überprüft werden, ob bei einer Anwendung des Verfahrens auf einen zweiten hyperspektralen Bilddatensatz (AISA) im Herbst 2010 der Einfluss von Großweidetieren in den spektralen Signalen zu signifikanten Unterschieden in den Vorhersagen beider Sensoren führt. Es wurde demnach untersucht, inwieweit die Variabilität der Vorhersagen basierend auf sensorspezifischen und phänologischen Varianzen noch deutliche Differenzierungen von Veränderungen im Vegetationsbestand zulassen.

In Abbildung 3.3.7a sind die Vorhersagen beider Sensoren des ausgewählten Raumausschnittes dargestellt. Die linienhafte grüne Struktur im Zentrum des Bildes kennzeichnet den Zaun der Wildniskernzone. Westlich dieser Begrenzung wurden Anfang Mai 2010 Wisente und Przewalski Pferde aus den Eingewöhnungszonen überführt, so dass die HyMap-Szene ohne und die AISA-Szene mit Wildtierbesatz aufgezeichnet wurde. Die Besenderung einer Wisentkuh ermöglicht die Erzeugung einer Karte der Aufenthaltsorte (Abb. 3.3.7b – links, LUGV 2011). Auch der Einfluss einer Gruppe Pferde (6 Tiere) auf die Bodendeckung konnte im Bereich der Nordheide nachgewiesen werden (Abb. 3.3.7b – rechts, Foto: Fürstenow 2011). Für die Kalibrierung der spektralen Modelle wurden Vegetationsspektren aus der Spektralbibliothek bezogen, die in den jeweiligen phänologischen Phasen der Aufnahmezeitpunkte aufgenommen wurden. Es ist deutlich zu erkennen, dass die räumlichen Vorhersagen für die Wahrscheinlichkeit von Silbergrasfluren im Oktober 2010 insgesamt höhere Werte annehmen. Dieses Verhalten ist in den höheren Zellulosegehalten von bereits im Oktober abgestorbenen Pflanzenbestandteilen zu begründen. Der noch in der August-Aufnahme 2009 vitale Pflanzenbestand korreliert in seinen spektralen Eigenschaften verstärkt mit xeromorphen Pflanzenkonglomeraten im Oktober 2010. Das spektrale Modell kann daher geringe Deckungsgrade xeromorpher Arten im Ordinationsraum schlechter von in ihrer Vitalität verringerten Arten der Sandtrockenrasen differenzieren. Dennoch werden typische Ausprägungsformen von Silbergrasfluren mit ähnlichen Wahrscheinlichkeitswerten (60 – 75%) vorhergesagt. Gut in den Abbildungen zu erkennen sind deckungsgleiche, homogene hellgrüne Bereiche. Besonders hohe Wahrscheinlichkeiten im Kern der Zaunrassen im Jahr 2009 verringern sich im Vergleich in der Oktober-Aufnahme, da die nach dem Bau frisch entstandenen vegetationsfreien Oberflächen wieder zuwachsen. Neben der erschwerten spektralen Differenzierung zu degradierten Vegetationsstadien der Trockenrasen ist demzufolge von einer guten Vorhersagbarkeit typischer Silbergrasfluren mit hohen Anteilen offenen Bodens auszugehen.

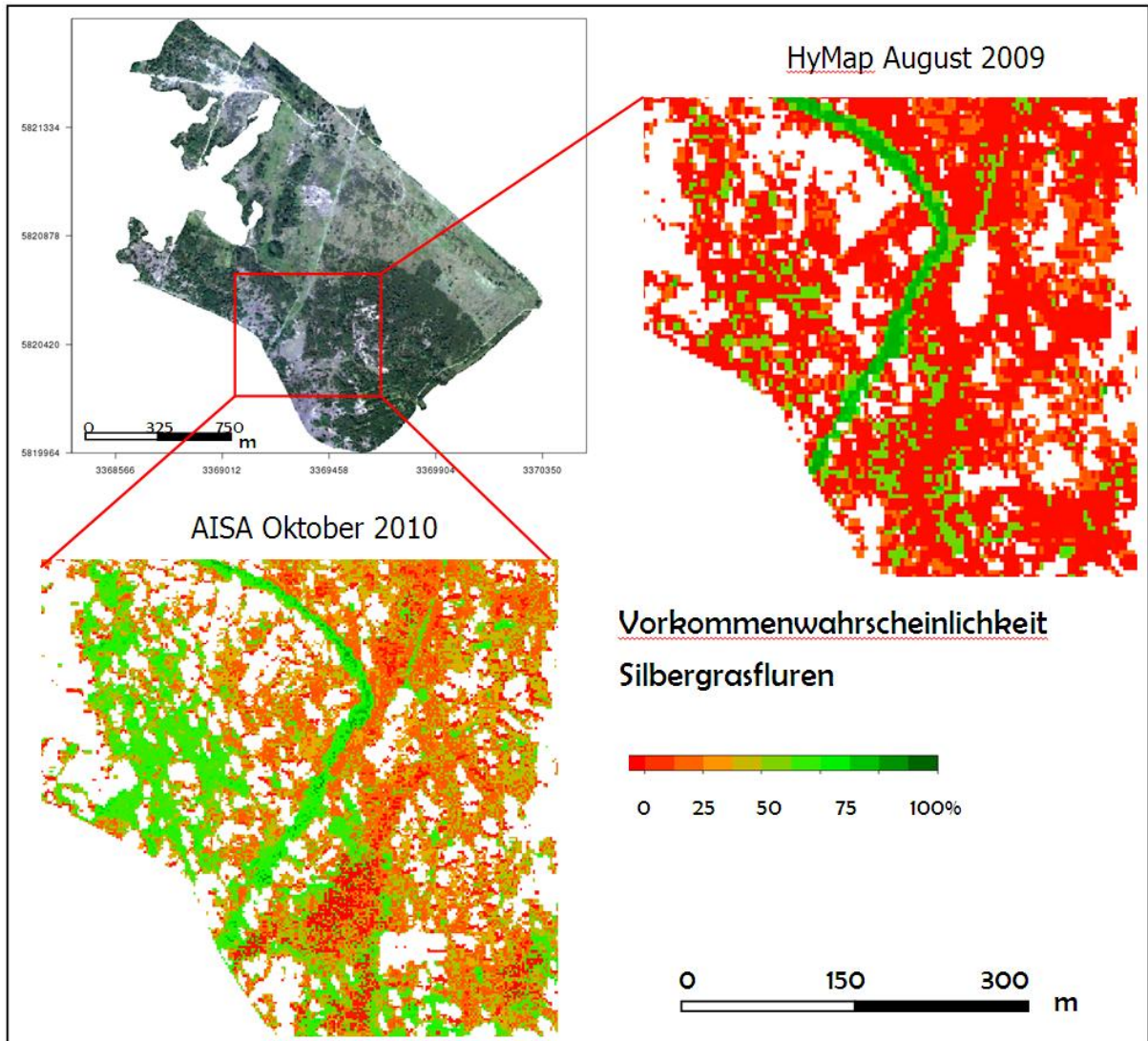


Abbildung 3.3.7a: Vergleich von Modellvorhersagen zweier hyperspektraler Sensoren für die Vorkommenswahrscheinlichkeit von Silbergrasfluren im Bereich der Wildniskernzone

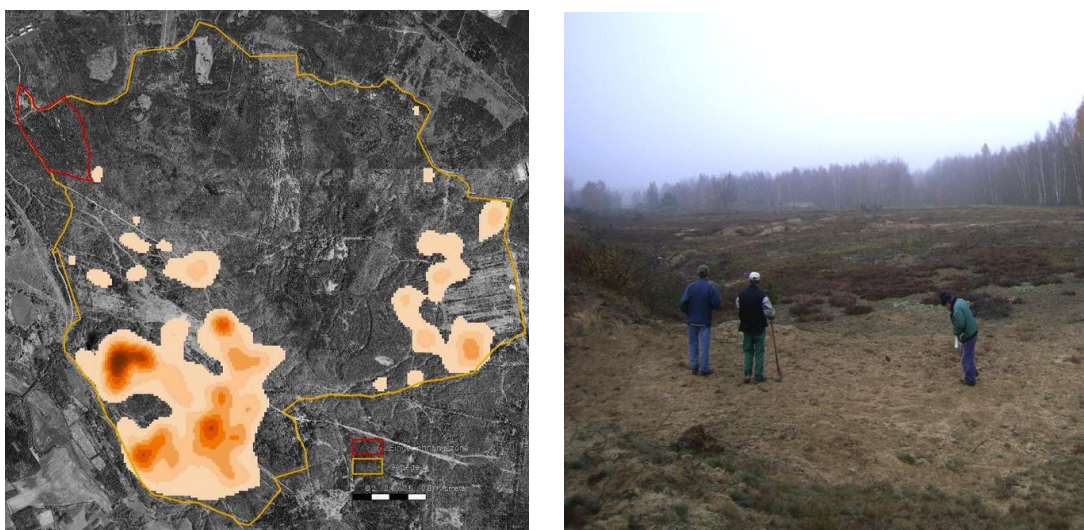


Abbildung 3.3.7b: Karte der Aufenthaltsorte der besenderten Wisentkuh vom 26.Mai 2010 bis 30. November 2011 (LUGV - links) und Foto von Trittspuren der Pferdegruppe an der Nordheide (Fürstenow)

Die Nutzbarkeit des Verfahrens für Monitoringaufgaben lässt sich an einem weiteren Beispiel nachweisen. Im Bereich der im Winter 2008 erstmals von Tieren (7 Pferde, 4 Wisente) genutzten 50 ha großen Eingewöhnungszone nahe dem Naturschutzzentrum (Abbildung 3.3.7c) ist über eine Abfolge von drei Aufnahmen ein ähnliches Verhalten nachzuweisen wie an der Hasenheide. Auch wenn der Besatz mit 0,2 Großvieheinheiten nicht hoch ist, so sind doch die nährstoffarmen und trockenen Standorte in dem Areal schon anfällig für diese Einwirkung. Im HyMap-Bild vom August 2008 könnten demzufolge bereits Spuren der Aktivität der Tiere sichtbar sein, allerdings gibt es keine weitere zeitlich zuvor liegende Aufnahme, die einen entsprechenden Vergleich ermöglicht.

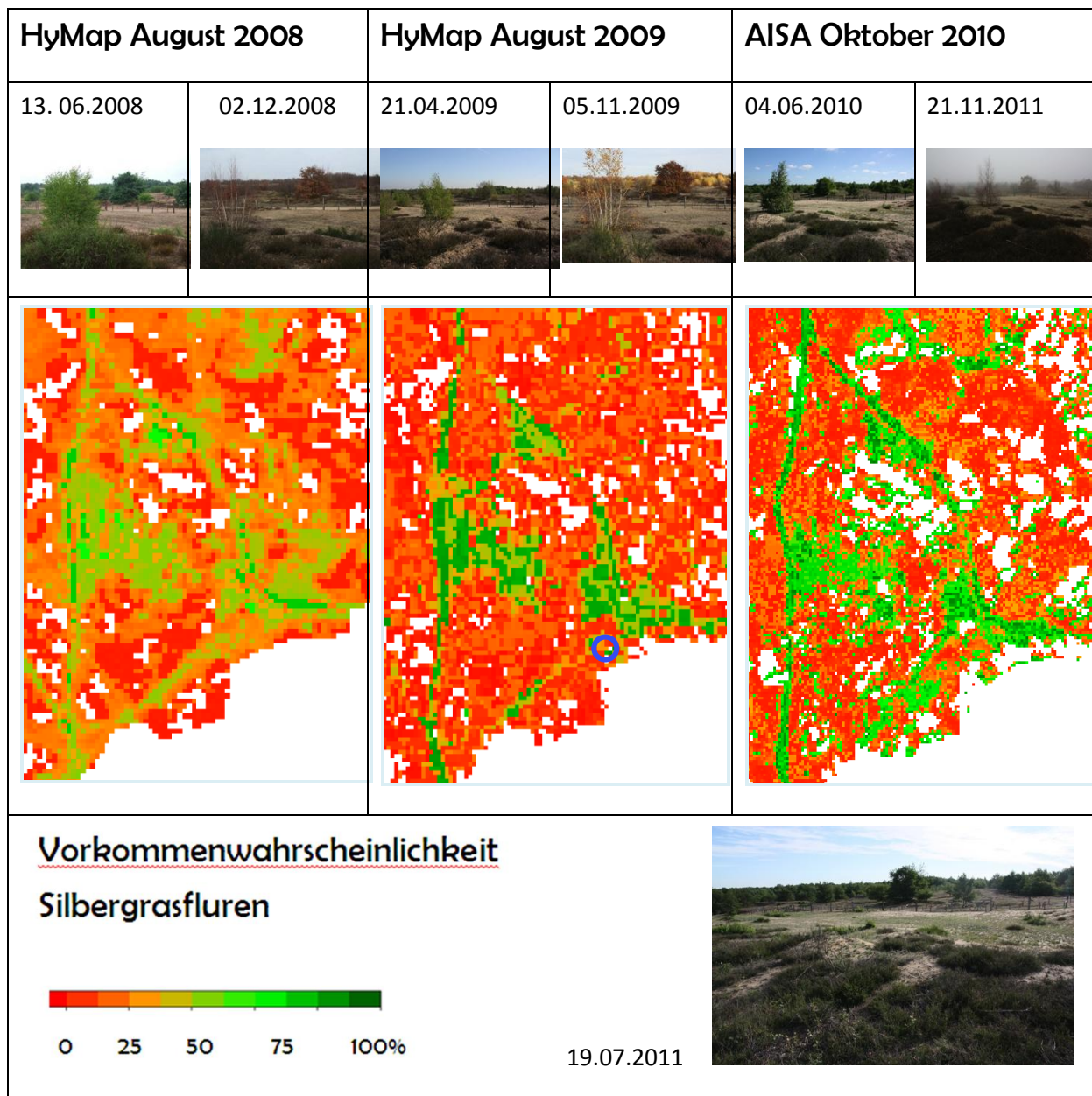


Abbildung 3.3.7c: Karten der Vorkommenswahrscheinlichkeiten von Silbergrasfluren für 3 Hyperspektralaufnahmetermine mit Realaufnahmen des Bereiches an Dauerbeobachtungsfläche 1a (Fotos 2008: Fürstenow, alle weiteren Fotos: Schoknecht); blauer Kreis: Fotostandort

Wie den Fotos der Dauerbeobachtungsfläche 1a (Schoknecht & Fürstenow) zu entnehmen ist, sind die Beeinträchtigungen in 2008 jedoch nicht stark. Erst mit Einsetzen des Winters 2008/2009 haben die Tiere verstärkt begonnen, die Offenbereiche stark zu befressen und die Pflanzendecke zu öffnen. Das zeigt sich sowohl in den Fotos als auch in der deutlich erhöhten Vorkommenswahrscheinlichkeit von Silbergrasfluren in der HyMap-Aufnahme von 2009.

Seit dem Frühjahr 2010 sind die Wisente in die Wildniszone entlassen und halten sich nicht mehr in der Eingewöhnungszone auf (vgl. Abb. 3.3.7b), eine Gruppe von 6 Pferde ist noch häufig da. Die zurückgehende Besatzdichte hat sichtbar zum wieder aufkommenden Schluss der Pflanzendecke geführt, die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Silbergras gehen in den am stärksten betroffenen Bereichen von 100% auf 70% zurück.

Aufgrund der beschriebenen Annahmen über eine hinreichend genaue Vorhersagbarkeit typischer Silbergrasfluren können die Aufnahmetermine zur Detektion von raum-zeitlichen Veränderungen in der Vegetationsstruktur herangezogen werden. So ist in der Oktober-Aufnahme eine deutliche Zunahme der Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten typischer Silbergrasfluren innerhalb der Wildniskernzone detektierbar. Es kann davon ausgegangen werden, dass in diesem Gebiet eine ausreichende Verweildauer von pflanzenfressenden Wildtieren zu erkennbaren Veränderungen der Vegetationsdecke beigetragen haben. Die Schaffung von im Vergleich zu 2009 größeren Bereichen von offenen Boden oder aber auch ein Zertreten und einem somit induzierten Absterben von Pflanzenbestandteilen kann als Begründung für die veränderten spektralen Responses der Bildelemente hergeleitet werden. Mit Hilfe des entwickelten hyperspektralen Verfahrens kann somit unter Berücksichtigung der erörterten Fehlerquellen ein Monitoringansatz zur Beobachtung des Einflusses von Megaherbivoren auf typische FFH-Lebensraumtypen eingeführt werden. Im Verlauf der Gebietsentwicklung innerhalb der Kernzone müssen in Zukunft weitere Fallbeispiele zur Evaluation der entwickelten Vorgehensweise in Betracht gezogen werden.

3.3.8 Hyperspektraler Klassifikationsalgorithmus zur Abbildung hierarchischer Vegetationseinheiten

Neben der empirischen Modellierung von Ordinationsraumachsen sollten, wie im Ablaufschema des Projektentwurfs beschrieben, maschinelle Lernsysteme zur Abbildung von Vegetationseinheiten angewendet werden. Dabei wurde versucht die hierarchische Aggregation von Vegetationseinheiten in unterschiedlichen Leveln räumlich explizit vorherzusagen.

Als Klassifikationsalgorithmen wurden Verfahren des maschinellen Lernens getestet. Es kamen sowohl Random Forest als auch Support Vector Machine Algorithmen zum Einsatz, wobei anhand von Feldspektren die entsprechenden Klassifikatoren kalibriert und anschließend auf digitale Bilddaten angewendet worden sind. Die Vorhersagen für Random Forest Klassifikatoren sind der Diplomarbeit von Neumann, 2010 zu entnehmen und werden im Folgenden nicht näher spezifiziert. In den Abbildungen 3.3.8a bis 3.3.8j werden die Ergebnisse eines Support Vector Machine Klassifikators basierend auf Feldspektren dargestellt. Dabei werden sowohl zwei unterschiedliche Sensoren mit Aufnahmen an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, als auch verschiedene Ebenen der Aggregierungsstufen für die UG Hasenheide und Naturschutzzentrum gegenübergestellt. Es kann dementsprechend der Einfluss der räumlichen und spektralen Auflösung sowie der spektralen Trennbarkeit auf Levelebene verglichen werden. Die Eigenschaften der jeweils zur räumlich Abbildung genutzten Sensoren sind in Tabelle 3.3.8a dargestellt.

Tabelle 3.3.8a Aufnahmeparameter der Sensoren AISA-Eagle und HyMap für den 19. bzw. 20.08.2009

Sensor	AISA-Eagle	HyMap
Spektralbereich	395 – 973 nm	453 – 2480 nm
Anzahl der Kanäle	252	125
Aufnahmehöhe	1280 m	2180 m
Bodenauflösung (GSD)	2 m	4 m
Öffnungswinkel	36,7°	60,3°

Im ersten Vergleich wurde der 2. Level für die in den Abbildungen 3.3.8a bis 3.3.8d dargestellten Vegetationseinheiten abgeleitet. Diese Vegetationseinheiten lassen sich mit den aus dem hyperspektralen Monitoringverfahren abgeleiteten FFH-Lebensraumtypen vergleichend in Bezug setzen. Die Ergebnisse hierfür aus den Abbildung 3.3.5j & 3.3.5k korrelieren weitgehend mit den Vorhersagen aus der Klassifikation. Es ist zu erkennen, dass die Gesamtflächen eines jeden abgeleiteten Typus in der hyperspektralen Vorhersage größer sind, da gemeinsame Übergangsbereiche zu beiden Flächen dazugezählt werden können. In der geringer aufgelösten HyMap Vorhersage (Abbildung 3.3.8b und 3.3.8d) ist eine Vielzahl von Bildelementen zu Gunsten von Sandtrockenrasen transformiert. Hier wird das spektrale Signal angrenzender, mit grüner Vegetation durchdrungener Bereiche in den größeren Bildelementen gemischt, so dass die SVM Trennfunktion vermehrt die Klasse der Sandtrockenrasen ausweist. Im selben Bildsatz können im hyperspektralen Bewertungsverfahren diese Informationen erhalten und für eine anschließende Bewertung eines Konversionsstadiums eines bestimmten Typus herangezogen werden. In der höher aufgelösten AISA Szene verliert sich die erläuterte Überrepräsentation der Sandtrockenrasen aufgrund der Verringerung von Mischpixelinformationen. Vielmehr können auch kleinräumig mosaikierte Bestände wie die Borstgrasrasen identifiziert werden (Abbildung 3.3.8a).

In einer externen Validierung basierend auf für die Untersuchungsflächen abgeleiteten Vegetationseinheiten, wurden Gesamtgenauigkeiten in der Klassifikation auf Ebene des 2. Levels von 89,13% für AISA und 75% für HyMap erreicht.

Am Beispiel des UG Hasenheide wurde die räumliche Vorhersagbarkeit von Vegetationseinheiten mittels SVM Klassifikatoren auf Level 3 dargestellt. Für jeden der drei auch im hyperspektralen Verfahren ausgewählten FFH-Lebensraumtypen wurden spezifische Differenzierungen nach floristischen und strukturellen Bestandsmerkmalen vorgenommen. Die abgebildeten Einheiten eines jeden Typus (Abbildungen 3.3.8g bis 3.3.8j) können ebenfalls zur Ableitung von Zustandsbewertungen herangezogen werden. Eine vergleichende Betrachtung mit der direkt aus den hyperspektralen Bewertungsstufen erzielten räumlichen Verteilung von Bewertungskategorien soll im Folgenden unternommen werden.

In den Abbildungen 3.3.8 e-f) werden die ableitbaren Vegetationseinheiten für die Sandtrockenrasen dargestellt. Ein Großteil dieses Typus wird der Einheit Verbuschung zugeordnet. Entlang der Wege und im Norden des Untersuchungsgebietes sind basenarme Sandtrockenrasen dargestellt. Lediglich in stark fragmentierten Bereichen kommen seltener die basenreicheren Standorte vor. Besenginsterbestände in unterschiedlichen Altersstadien lassen sich nur in den hoch aufgelösten Szenen identifizieren. Beim Zustandekommen von Mischpixelensignalen werden diese ansonsten den Baumbeständen zugeordnet. Es ist zu bemerken, dass jedem Pixel nur eine Vegetationseinheit zugewiesen werden kann, so dass sich eine

Verbuschung oder speziell einem Besatz von Besenginster nicht der jeweilige Typus des Sandtrockenrasen zuordnen lässt. Im Gegensatz dazu wurde im hyperspektralen Ansatz die Wahrscheinlichkeit der basenärmeren Sandtrocken pixelgenau ausgegeben. Eine Unterscheidung zu basenreicheren Standorten konnte auf Grundlage der Ordinationsraumergebnisse nicht flächendeckend vorgenommen werden (Abbildung 3.3.5d), was ebenfalls mit den in der Klassifikation von HyMap nur vereinzelt detektierten Pixeln korreliert.

Insgesamt stimmen die abgeleiteten Verbuschungsbereiche mit denen aus dem Klassifikationsansatz überein (vgl. Abbildungen 3.3.8f & 3.3.4a). Zusätzlich können im hyperspektralen Kontinuum-Ansatz auch noch Vergrasungstendenzen, die Verteilung von Stör- und Eutrophierungszeigern sowie andere für eine Bewertung maßgebende Parameter abgeleitet und dargestellt werden. Eine Abbildung solcher Zusatzkategorien kann beim Klassifizierungsansatz nur unter erneuter Kalibrierung eines SVM Klassifikators erfolgen.

Die Level 3 Klassifikation der Heiden unternimmt eine Unterscheidung der typischen Standorte von den vergrasteten und kryptogamenreichen (Abbildungen 3.3.8 g-h), wobei die gröbere Auflösung der HyMap Szenen keine adäquate Wiedergabe kryptogamenreicher Bestände ermöglicht. Die stark vergrasteten Bestände im Nord-Westen, Süd-Osten sowie im Westen des Untersuchungsgebietes werden in den räumlichen Vorhersagen des hyperspektralen Verfahrens durchgehend mit C, in Einzelfällen auch mit B bewertet. Die Verteilung der typischen Standorte deckt sich mit den Vorhersagen für die Bewertungskategorie A (Abbildung 3.3.6g), wobei eine Abweichung davon im Einbezug weiterer Bewertungsparameter beim hyperspektralen Verfahren zu begründen ist.

Auch die räumliche Abgrenzung der Silbergrasfluren stimmt mit der Verteilung der Vorhersagen des hyperspektralen Verfahrens überein (vgl. Abbildungen 3.3.8 i-j). Aufgrund der flexiblen Integration sämtlicher für diesen FFH-Lebensraumtyp bedeutenden Bewertungsparameter können im hyperspektralen Ansatz weitere Bewertungskriterien abgeleitet werden. So wurden beispielsweise die Anteile offenen Bodens, die Deckung diagnostischer Arten wie Silbergras und Rentierflechte sowie die Übergänge zu Heiden und Sandtrockenrasen mit hinreichenden Genauigkeiten quantifiziert (vgl. Kapitel 3.3.5 & 3.3.6). Der Klassifikationsansatz für HyMap Daten erlaubt im Wesentlichen die Detektion typischer Standorte als einzige Kategorie.

Die Vorhersagegenauigkeiten liegen in diesem Falle jedoch bei unzureichenden 25 % was den Einfluss weiterer das Spektralsignal beeinflussender Vegetationsparameter deutlich hervorhebt. Gerade diese Zusatzparameter kennzeichnen Konversionsstadien, die mit den Mitteln einer klassengebundenen Vorhersage von Vegetationseinheiten demnach nur unzureichend berücksichtigt werden können. Ein deutlicher Hinweis darauf kann in den Ergebnisse der AISA Klassifikation identifiziert werden. Darin werden in größeren Anteilen Flechtenfluren detektiert, welche den Prozessen der natürlichen Sukzession folgend eine beginnende Schließung der vormals offenen Bereiche und damit eine Konversion zu festgelegten Vegetationsstadien kennzeichnet. Beide Klassen werden hier mit einer Genauigkeit von 68,75 % vorhergesagt.

Die Gesamtgenauigkeiten der Vorhersage von Level 3 in einer externen Validierung betragen 77,27 % für AISA und 63,64 % für HyMap, wobei die Klassen der Heiden und Sandtrockenrasen bei beiden Sensoren mit der höchsten Genauigkeit zu differenzieren sind.

Zusammenfassend sind im Klassifikationsansatz mittels maschinellen Lernsystemen Differenzierungen des Vegetationsbestandes bis auf Ebene von Level 3 in hinreichenden Genauigkeiten möglich. Die Ergebnisse korrelieren weitgehend mit den Vorhersagen des hyperspektralen Verfahrens. Für eine Bewertung nach Kriterien von FFH-Erhaltungszuständen oder eine detaillierte Identifikation von Vegetationseigenschaften scheinen diese Ansätze jedoch zu unflexibel. Zum einen kann pro Pixel nur schwellenwertbasiert eine Kategorie ausgegeben werden, was bei Überlagerung von Typus und Beeinträchtigung zum Informationsverlust führt. Zum anderen ist die Vorhersagbarkeit von Übergangsbeständen (z.B. bei Pionierfluren) stark eingeschränkt bzw. nur unter wiederholter Neueinteilung von Vegetationseinheiten und entsprechender Kalibrierungen von Klassifikatoren möglich.

Dennoch erlaubte die räumliche Abbildung hierarchischer Vegetationseinheiten eine grundlegende Beurteilung der Verknüpfbarkeit von Geländespektren mit spektralen Bildinformationen. Neben der Detektion von Unterscheidungsmerkmalen auf Ebene der Feldspektren (Kapitel 3.2.5) konnte somit mit Hilfe einer räumlichen Übertragung eine allgemeine Veranschaulichung von Vegetationsstrukturen in der Döberitzer Heide erreicht werden.

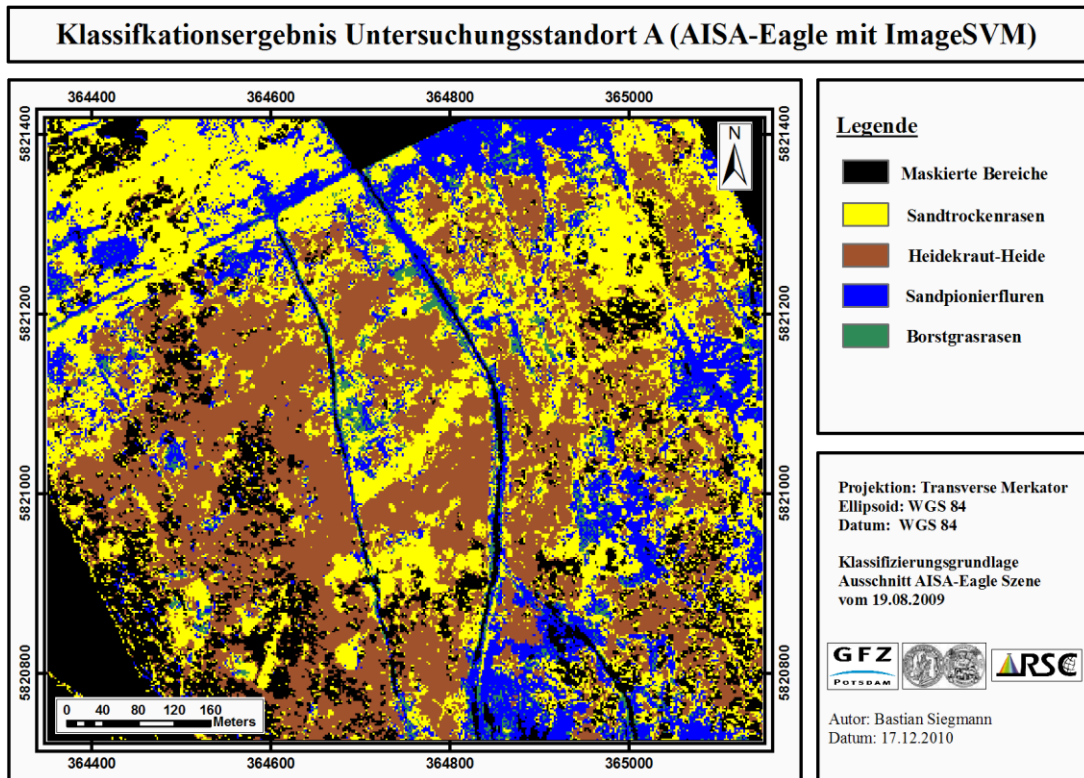


Abbildung 3.3.8a: Klassifikationsergebnis Level 2 für den Untersuchungsstandort Naturschutzzentrum auf Grundlage der AISA-Eagle Daten

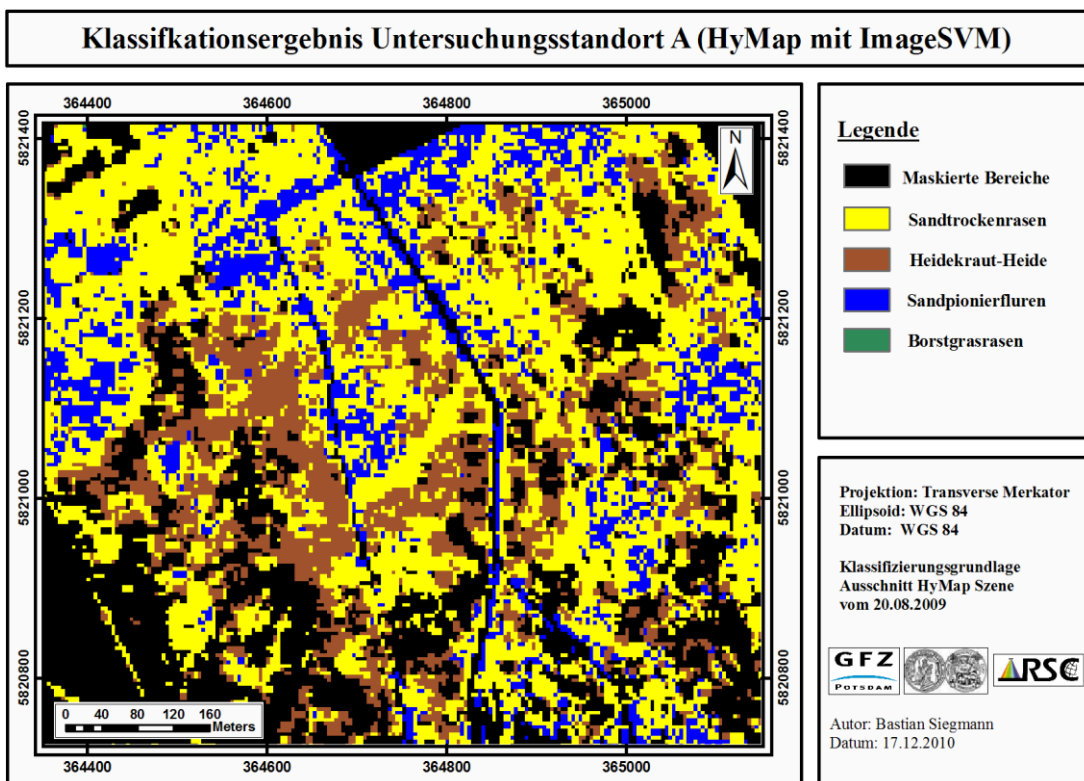


Abbildung 3.3.8b: Klassifikationsergebnis Level 2 für den Untersuchungsstandort Naturschutzzentrum auf Grundlage der HyMap Daten

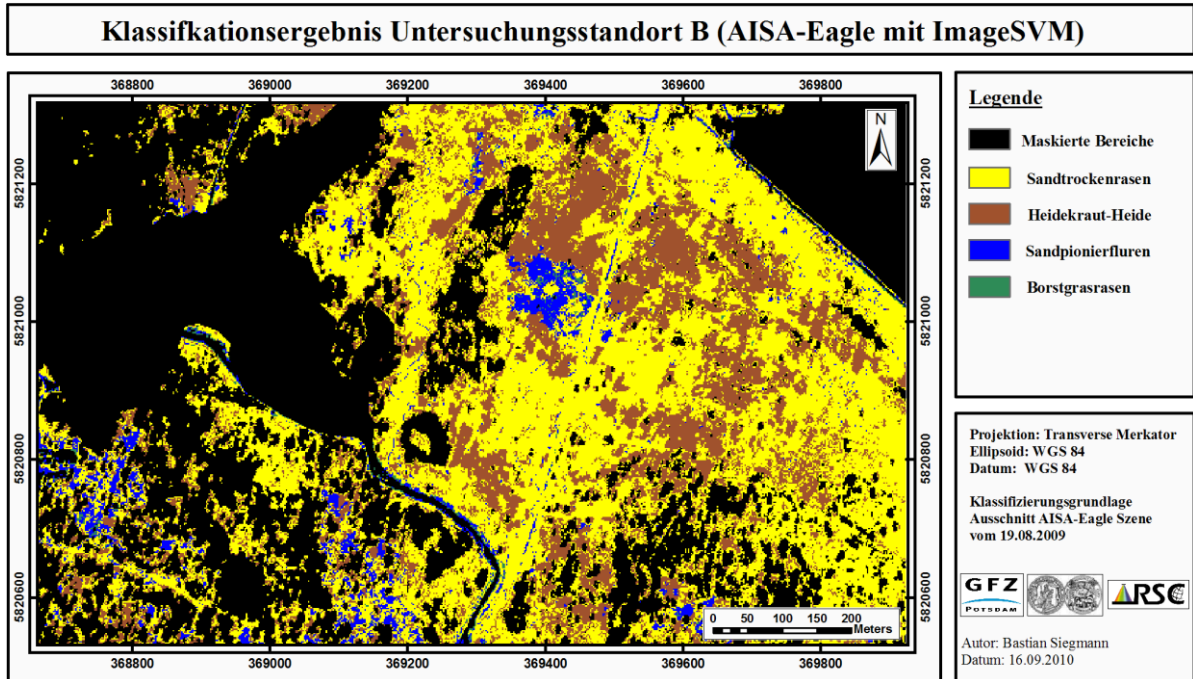


Abbildung 3.3.8c: Klassifikationsergebnis Level 2 für den Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der AISA-Eagle Daten

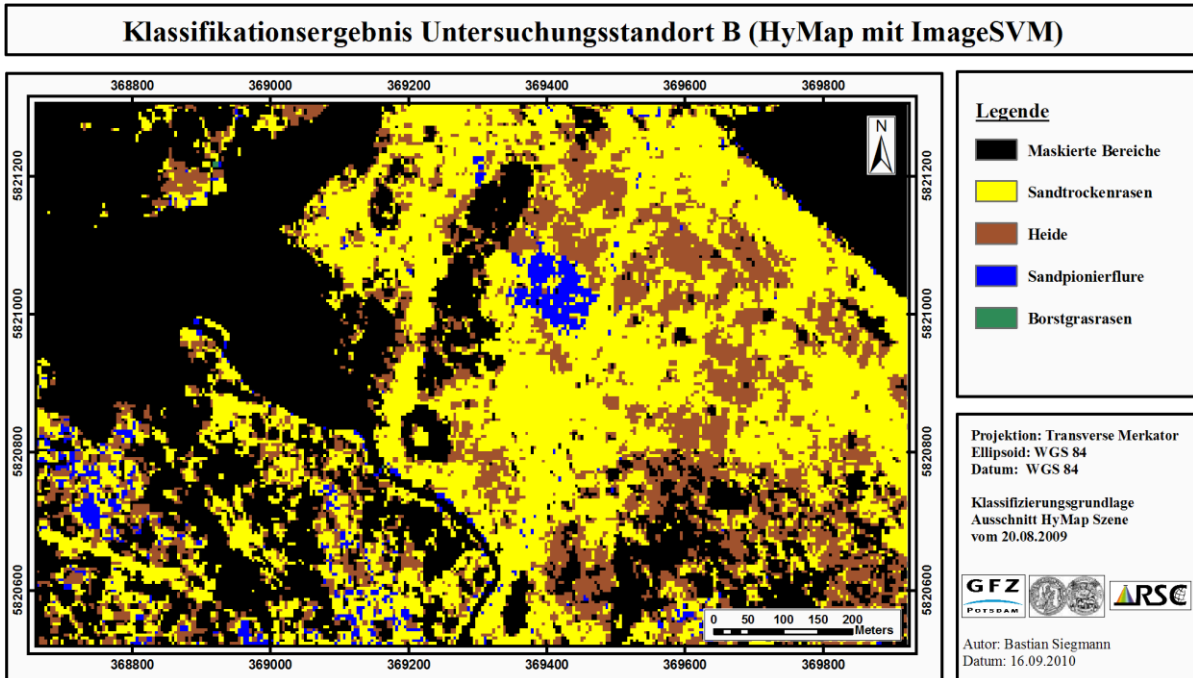


Abbildung 3.3.8d: Klassifikationsergebnis Level 2 für den Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der HyMap Daten

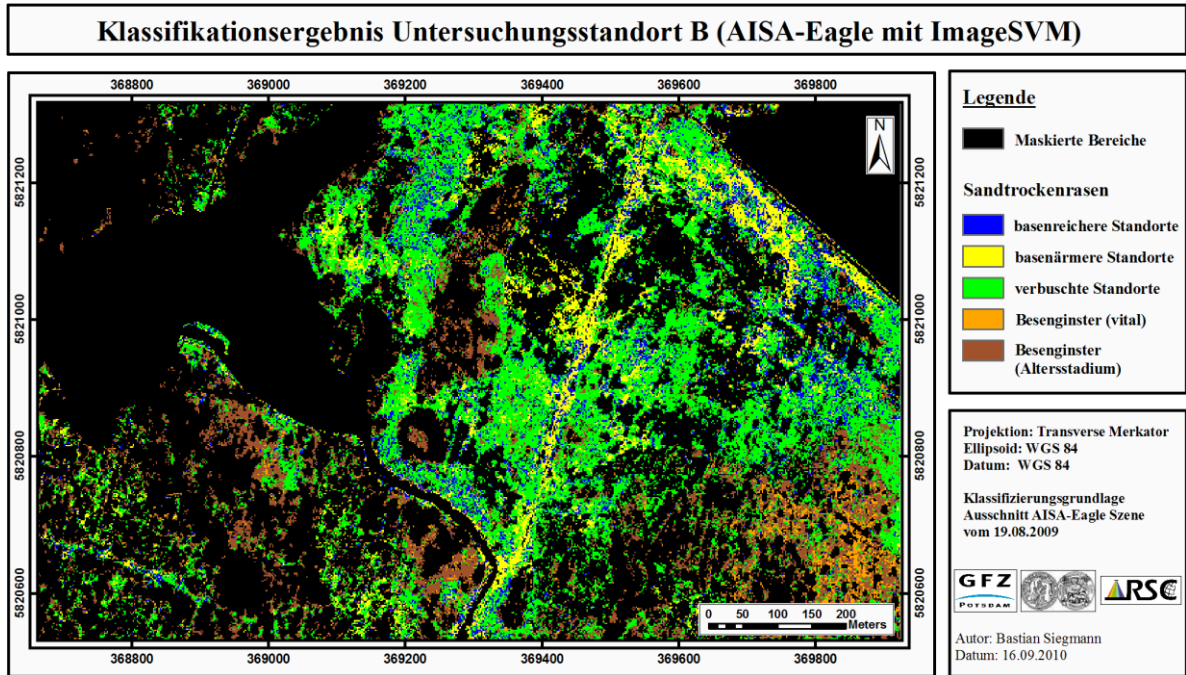


Abbildung 3.3.8e: Klassifikationsergebnis Level 3 für die Sandtrockenrasen in Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der AISA-Eagle Daten

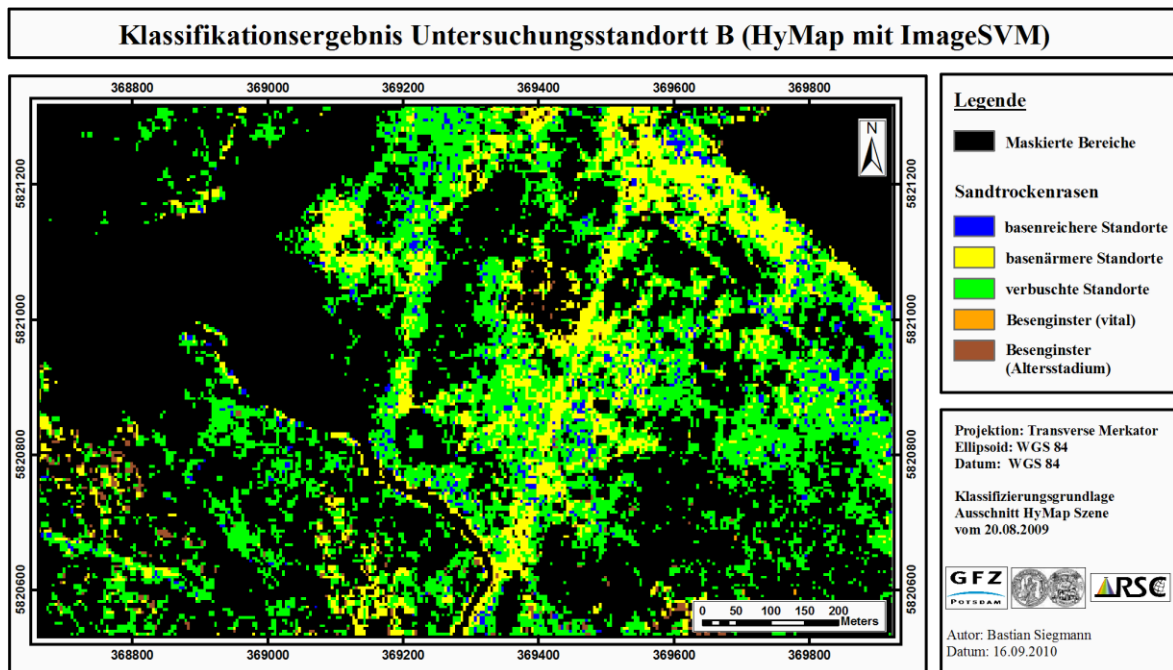


Abbildung 3.3.8f: Klassifikationsergebnis Level 3 für die Sandtrockenrasen in Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der HyMap Daten

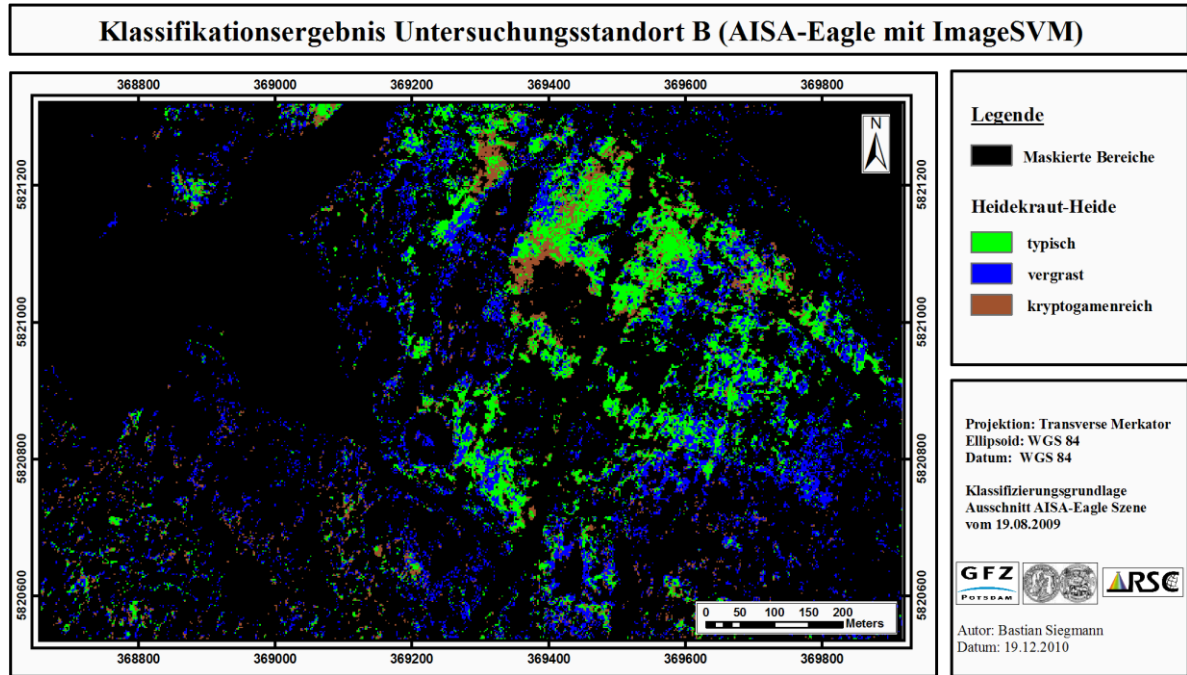


Abbildung 3.3.8g: Klassifikationsergebnis Level 3 für die Heidekraut-Heiden in Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der AISA-Eagle Daten

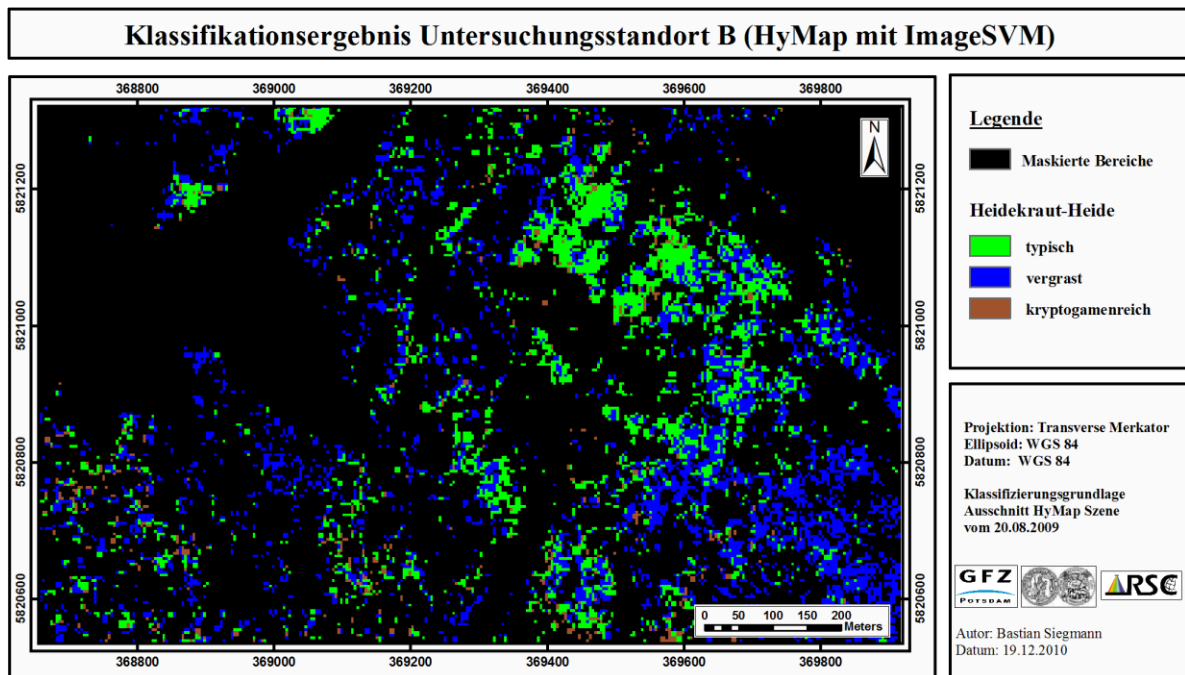


Abbildung 3.3.8h: Klassifikationsergebnis Level 3 für die Heidekraut-Heiden in Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der HyMap Daten

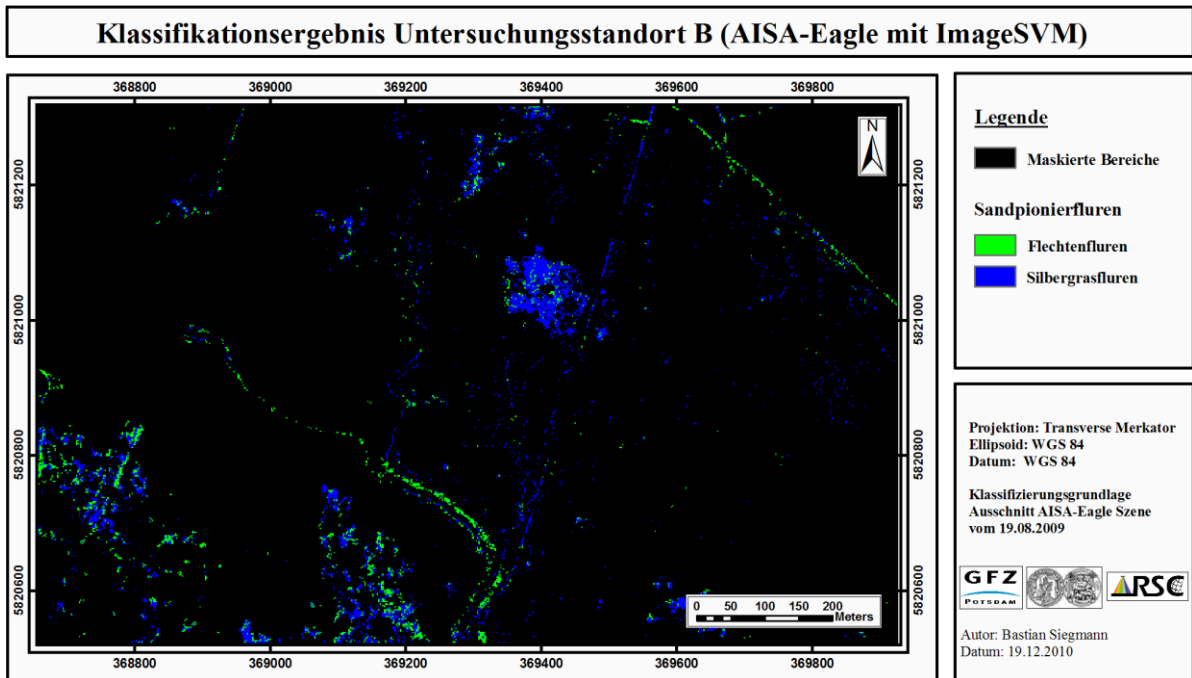


Abbildung 3.3.8i: Klassifikationsergebnis Level 3 für die Silbergrasfluren in Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der AISA-Eagle Daten

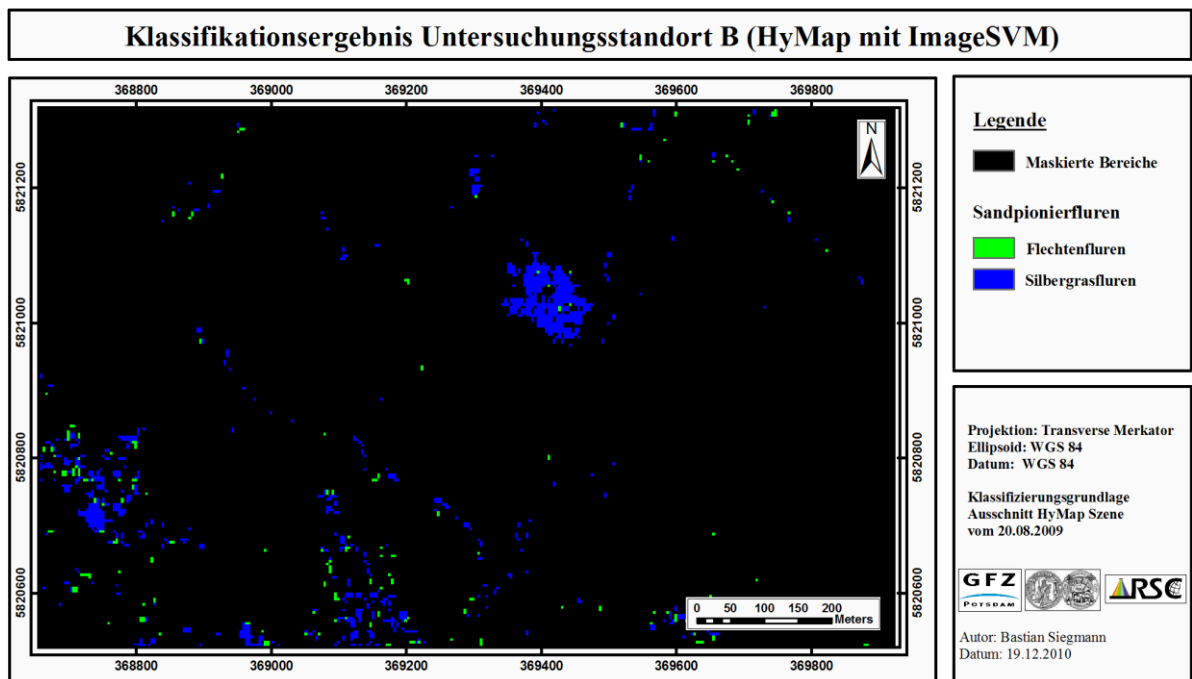


Abbildung 3.3.8j: Klassifikationsergebnis Level 3 für die Sandpionierfluren in Untersuchungsstandort Hasenheide auf Grundlage der HyMap Daten

3.4. Methodik des Monitorings von feuchten Offenlandstandorten mit Hyper-spektralfernerkundung

Da, wie zuvor erläutert, im Projekt vom Arbeitsaufwand her das Verfahren der Abbildung von Vegetationskontinua nicht für alle Gesellschaften der Döberitzer Heide getestet werden konnten, wird für die Betrachtung der feuchten Offenländer die Methodik vorgeschlagen, die im Projekt SARA EnMAP (LUP GmbH, 2010; FÖRSTER & FRICK, 2010) entwickelt worden ist. Die Autoren sind zwar der Meinung, dass das Verfahren auch in diesen Gesellschaften erfolgreich angewendet werden kann, solange der Nachweis jedoch aussteht, kann nicht sicher davon ausgegangen werden. In der noch laufenden Promotion von C. Neumann soll dieser Nachweis noch erbracht werden.

Das Projekt SARA_EnMAP hatte in den Laufzeitjahren 2007 bis 2009 die Verbesserung der SARA'04-Methoden und die Entwicklung eines Verfahrens für das Monitoring von Pflanzengesellschaften bzw. Biotoptypen des Offenlandes auf Basis spektral sehr hoch aufgelöster Fernerkundungsdaten zum Ziel. Es wurde mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft des Landes Brandenburg gefördert und von der Europäischen Union (Europäischen Fond für Regionale Entwicklung) kofinanziert. Unter Projektleitung der LUP GmbH und der Mitarbeit des Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches Geoforschungszentrum lag ein Hauptaugenmerk auf dem Aufbau einer umfassenden Spektralbibliothek für ausgewählte Biotoptypen und Pflanzengesellschaften. Neben der Frage, wie die Informationen aus der spektralen Geländeaufnahme in die Klassifizierung der Hyperspektraldaten einbezogen werden kann, ist hier auch das Problem untersucht worden, wie gröber aufgelöste Hyperspektraldaten dennoch für das Monitoring von Pflanzengesellschaften genutzt werden können. In der folgenden Darstellung wird nur der Teil des Verfahrens erläutert, der sich auf die Nutzung von Spektralanalysen zur Extraktion der Bildinformation bezieht (roter Rahmen in Abbildung 3.4a).

Vegetationskundliche Kenntnisse des Raumes und die Aufnahme der Pflanzengesellschaften im Gebiet hat die Konzentration auf 32 Standorttypen der Vegetation ergeben, für die an den in 81 Referenzflächen Spektralinformationen im Laufe der Vegetationsperioden erhoben wurden. Um eindeutige Pflanzengesellschaften unter verschiedenen Nutzungen darstellen zu können, wurden Kombination aus Ober- und Unterklasse gewählt. Insgesamt wurden 20 Pflanzengesellschaften mit 18 Biotoptypen kombiniert. Die Tabelle 3.4a stellt die untersuchten Typen zusammen. Sie umfasst neben Gesellschaften der feuchten Offenländer auch solche der trockenen Offenlandbereiche. Anders als in der Verfahrensweise, die für die Trockenräume vorgestellt wurde, wird mit dieser a-priori Klasseneinteilung und Spektralinformation zuordnung das Suchintervall strikt vorgegeben.

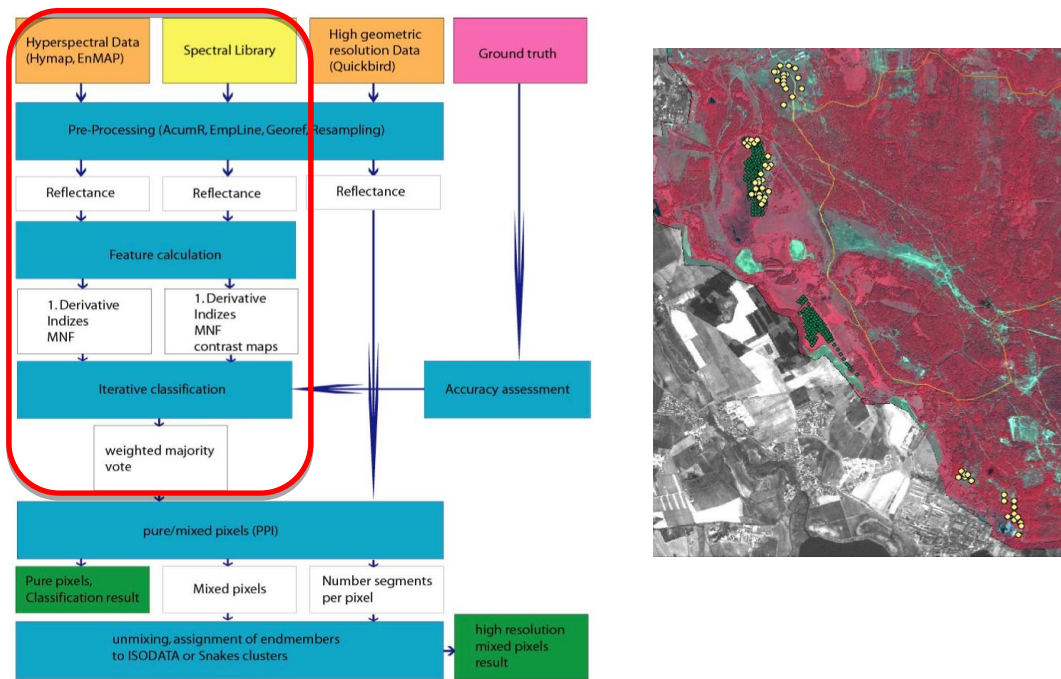


Abbildung 3.4a: *Bearbeitungsschema der Fernerkundungsdaten im Projekt SARA EnMAP (links, roter Rahmen: hier besprochener Teil) und Verteilung der Messpunkte im Projekt SARA EnMAP (rechts); Quelle: LUP 2010*

Tabelle 3.4a: *Klasseneinteilung der Spektralbibliothek als Kombination aus Ober- und Unterklasse in SARA EnMAP, Quelle: LUP, 2010*

Oberklasse	Unterklasse	LRT	Biotop-typ
GAFJ	Grünlandbrachen feuchter Standorte, von Binsen dominiert Verband: Eleocharito-Sagittarion sagittifoliae Pass. 1964, Assoziation: Eleocharitetum uniglumis Almqu. 1929	6510	051315
GSMR	artenreiche Staudenfluren frischer, nährstoffreicher Standorte Verband: Convolvulo-Agropyron Görs 1966, Assoziation: Rubo-Calamagrostietum epigeji Coste (1974) 1975	6430	051421
GTSN	Borstgrasrasen trockener Ausprägung Verband: Violion caninae-Nardion strictae (Schwick 1944) Ellenb. 1978, Assoziation: Polygalo-Nardetum strictae Oberd. 1947	6230	051214
MEPA	Rohrglanzgras-Röhricht eutropher bis polytropher Moore und Sümpfe Verband: Caricion elatae W. Koch 1926, Assoziation: Phalaridetum arundinaceae Lib. 1931		04514
GMWR	artenreiche Magerweiden Verband: Arrhenaterion elatioris (Br.-Bl. 1925) W. Koch 1926, Assoziation: Arrhenatheretum elatioris Braun 1915	6510	051111
GAFP	Grünlandbrachen feuchter Standorte, von Schilf dominiert Verband: Phragmition australis W. Koch 1926 em. Pass. 1964, Assoziation: Phragmitetum australis (Gams 1927) Schmale 1939	6510	051311
GFRR	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte, artenreiche Ausprägung Verband: Calthion palustris Tx. 1937, Assoziation: xxx	6410	051031
GFRR	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte, artenreiche Ausprägung Verband: Übergang Calthion palustris Tx. 1937, Assoziation: xxx	6410	051031
GMRA	verarmte ruderalen Wiesen Verband: Arction lappae R. Tx. 1937, Assoziation: Solidago canadensis-Gesellschaft		051132
GMRA	verarmte ruderalen Wiesen Verband: Arrhenaterion elatioris (Br.-Bl. 1925) W. Koch 1926, Assoziation: Tanaceto vulga-		051132

	ris-Arrhenatheretum elatioris A. Fischer 1985		
GMRA	verarmte ruderales Wiesen Verband: xxx, Assoziation: xxx		051132
GMRR	artenreiche ruderales Wiesen Verband: Arrhenatherion elatioris (Br.-Bl. 1925) W. Koch 1926, Assoziation: Tanaceto vulgaris-Arrhenatheretum elatioris A. Fischer 1985	6510	051131
GMRR	artenreiche ruderales Wiesen Verband: Arrhenatherion elatioris (Br.-Bl. 1925) W. Koch 1926, Assoziation: Arrhenatheretum elatioris Braun 1915	6510	051131
GMRR	artenreiche ruderales Wiesen Verband: Arrhenatherion elatioris (Br.-Bl. 1925) W. Koch 1926, Assoziation: xxx	6510	051131
GSFU	Brennesselfluren feuchter bis nasser Standorte Verband: Senecionion fluviatilis R. Tx. 1950, Assoziation: Custuto europaeae-Convolutum sepium R. Tx. 1947		051413
GSMA	verarmte oder ruderalisierte Staudenfluren frischer, nährstoffreicher Standorte Verband: Senecionion fluviatilis R. Tx. 1950, Assoziation: Custuto europaeae-Convolutum sepium R. Tx. 1947		051422
GSMA	verarmte oder ruderalisierte Staudenfluren frischer, nährstoffreicher Standorte Verband: Dauco-Melilotion Görs ex Gutte 1972, Assoziation: Tanaceto-Artemisietum Br.-Bl. Ex Sissingh 1950		051422
GSMA	verarmte oder ruderalisierte Staudenfluren frischer, nährstoffreicher Standorte Verband: Arction lappae R. Tx. 1937, Assoziation: Solidago canadensis-Gesellschaft		051422
GSMA	verarmte oder ruderalisierte Staudenfluren frischer, nährstoffreicher Standorte Verband: Convolvulo-Agropyron Görs 1966, Assoziation: Rubo-Calamagrostietum epigeji Coste (1974) 1975		051422
GFPS	Feuchtwiesen nährstoffarmer bis mäßig nährstoffreicher Standorte (Pfeifengraswiesen) kalkarmer bis saurer Standorte Verband: Molinion caeruleae W. Koch 1926, Assoziation: Molinietum caeruleae W. Koch 1926	6410	051022
GSTA	verarmte oder ruderalisierte Staudenfluren trockenwarmer Standorte Verband: Convolvulo-Agropyron Görs 1966, Assoziation: Rubo-Calamagrostietum epigeji Coste (1974) 1975		051432
GSTA	verarmte oder ruderalisierte Staudenfluren trockenwarmer Standorte Verband: Thero-Airion R. Tx. 1951 ex Oberd. 1957, Assoziation: Agrostio-Tuberarietum guttati Schub. 1974		051432
GTSR	kennartenname Rotstraußgrasfluren auf Trockenstandorten Verband: Thero-Airion R. Tx. 1951 ex Oberd. 1957, Assoziation: Agrostio-Tuberarietum guttati Schub. 1974		051215
GTSR	kennartenname Rotstraußgrasfluren auf Trockenstandorten Verband: Corynephorion canescentis Klika 1934, Assoziation: Spergulo morisonii-Corynephorium canescentis (R. Tx. 1928) 1933		051215
GSTR	artenreiche Staudenfluren trockenwarmer Standorte Verband: Convolvulo-Agropyron Görs 1966, Assoziation: Rubo-Calamagrostietum epigeji Coste (1974) 1975	6240	051431
GTSC	Silbergrasreiche Pionierfluren Verband: Corynephorion canescentis Klika 1934, Assoziation: Spergulo morisonii-Corynephorium canescentis (R. Tx. 1928) 1933	2330	051211
HZSO	trockene Sandheiden, weitgehend ohne Gehölzbewuchs (weniger 10%) Verband: Genistion pilodae Duv. 1942 em. Schub. 1995, Assoziation: Euphorbio-Callunetum Schub. 1960 em. Schub. 1 1995	4030	0610201
MEPP	Schilfröhricht eutropher bis polytropher Moore und Sümpfe Verband: Phragmition australis W. Koch 1926 em. Pass. 1964, Assoziation: Phragmitetum australis (Gams 1927) Schmale 1939		04511

Für die Klassifikation dieser ausgewählten Pflanzengesellschaften auf der Basis von hyperspektralen Bilddaten wurden verschiedene Klassifikationsverfahren integriert (nach dem Prinzip einer Ensemble Klassifikation). Einerseits konnten damit die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Algorithmen genutzt werden. Andererseits bietet diese Herangehensweise die Chance, die Anzahl von Trainingsflächen iterativ zu erhöhen. Sowohl für die Spektralkurven der Feldmessungen als auch für die hyperspektralen Bilddaten wurden Datenvorverarbeitungsschritte vorgenommen, die auf die Auswahl spektral robuster Features der einzelnen Kurvengruppen (Integrale, Steigungen, Indizes, Texturen etc.) für die nachfolgende Klassifikation ausgerichtet waren. Außerdem konnten damit a-posteriori Wahrscheinlichkeiten und Kontrastkarten (BONHAM-CARTER, 1994) abgeleitet werden, die in der iterativen Klassifikation die Entscheidung für die richtige Klassenzuweisung und die Weiterverwendung der zugehörigen Spektralinformation im nächsten Klassifikationsschritt unterstützen.

In der iterativen Klassifikation kamen in der ersten Stufe zunächst nur Verfahren zum Einsatz, die die nötige Spektralinformation für die Klassen nicht aus Bilddaten abgreifen, sondern auf den Geländedaten beruhen.

Dazu gehören u.a. CART (data mining), SDI und Spectral Angle Mapper (SAM). Nach einem ersten Durchlauf werden als neue Trainingsflächen alle Pixel gewählt, die übereinstimmende Ergebnisse in den genutzten Algorithmen erzielt haben. Es kann von der Annahme ausgegangen werden, dass diese Pixel mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgewiesenen Klasse entsprechen. Im zweiten und allen weiteren Durchgängen sind somit auch Verfahren möglich, die bildbezogene Trainingsinformationen und/oder objektbasierte Parameter wie Texturen oder Nachbarschaftsbeziehungen verwenden. Das sind unter anderem: Maximum Likelihood, Minimum Distance, Linear Spectral Unmixing, Mixture Tuned Matched Filtering und Regressionsbaumklassifikatoren. Für die Regressionsbaumklassifizierung wurden verschiedene Split-Kriterien getestet, das Information-Gain Kriterium (Entropie) stellte sich als Favorit heraus. Die Verfahrenskette verwendet außerdem Adaptive Boosting, um eine Überanpassung der Modelle zu vermeiden. Das endgültige Klassifikationsergebnis wird durch ein gewichtetes Mehrheitsvotum aller Klassifikationsergebnisse aus dem letzten Durchlauf ermittelt, wobei die Gewichtung nach dem Kontrast vorgenommen wird.

In Abbildung 3.4b ist beispielhaft das Ergebnis einer Klassifikation des Ferbitzer Bruchs dargestellt. Klar sichtbar sind die zentralen feuchten Bereiche von Schilfröhricht eutropher bis polytropher Moore und Sümpfe (MEPP), Rohrglanzgras-Röhrich eutropher bis polytropher Moore und Sümpfe (MEPA) und von Binsen dominierten Grünlandbrachen feuchter Standorte eingenommen. Im Übergang zu den trockeneren Standorten finden sich unter anderem Feuchtwiesen nährstoffarmer bis mäßig nährstoffreicher Standorte (Pfeifengraswiesen).

Für die Genauigkeitsanalyse wurden Validationspunkte im Gelände (Ferbitzer Bruch und Umgebung des Großen Grabens) genommen (siehe Abb. 3.4b). Diese wurden mit Hilfe der im Jahr 2000 terrestrisch erstellten Kartierung der geschützten Biotope nach §32 BrbNatSchG nochmals überprüft.

Das Verfahren erlangt bei einigen Pflanzengesellschaften gute Gesamtgenauigkeiten von ca. 75 bis 80%. Pflanzengesellschaften, die von keinen oder nur wenigen Testflächen vertreten waren, erzielten weniger gute Ergebnisse (vgl. Tabelle 3.4b). Daraus wird deutlich, dass der weitere Ausbau der Spektralbibliothek vordringliche Aufgabe auf dem Weg zum fernerkundungsgestützten Flächenmonitoring ist. Eine gut aufgebaute und gegliederte Spektralbibliothek darf dabei nicht nur Informationen über Pflanzengesellschaften, sondern muss auch über Klima, Zustand, Feuchtegrad des Bodens, Deckung, Nutzung, Wachstumsphase enthalten.

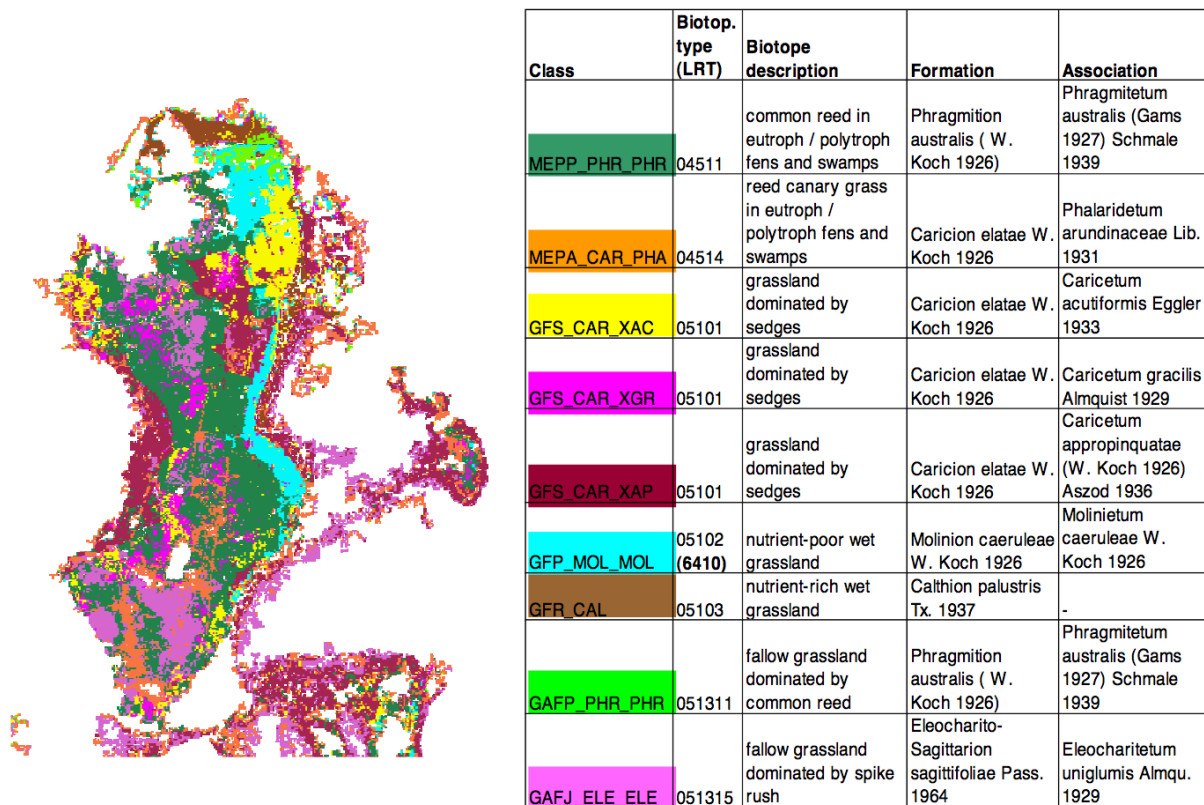


Abbildung 3.4b: Klassifizierungsergebnis für die feuchten Offenländer, Quelle: LUP 2010

Tabelle 3.4b: Klassifikationsgenauigkeit für das Ergebnis in Abbildung 3.4b, unterschieden nach verschiedenen Vorgehensweisen

class	first run (best result)			second run (best result)			contrast maps included		
	user	prod	mean	user	prod	mean	user	prod	mean
MEPP_PHR_PHR	0,76	0,35	0,56	0,70	0,57	0,63	0,83	0,86	0,85
MEPA_CAR_PHA	0,00	0,00	0,00	1,00	0,07	0,54	0,50	0,78	0,64
GFS_CAR_XAC	0,77	0,43	0,60	0,89	0,70	0,79	0,61	0,93	0,77
GFS_CAR_XGR	0,33	0,15	0,24	0,38	0,77	0,58	0,08	1,00	0,54
GFS_CAR_XAP	0,00	0,00	0,00	0,20	0,27	0,24	0,55	0,35	0,45
GFS_MOL_MOL	0,27	0,94	0,61	0,55	0,71	0,63	0,82	0,54	0,68
GFR_CAL	0,71	0,97	0,84	0,93	0,74	0,84	0,97	0,71	0,84
GAFP_PHR_PHR	0,60	0,60	0,60	1,00	0,40	0,70	0,50	1,00	0,75
GAFJ_ELE_ELE	0,67	1,00	0,83	0,11	1,00	0,56	0,50	0,25	0,38
Overall Accuracy			0,51			0,59			0,70

Wie auch das Verfahren für die Trockenbereiche ist auch das hier vorgestellte strikt daran ausgerichtet, keine digitalisierten Bildtrainingsflächen zu verwenden. Es ist nicht voraussetzbar, dass für ein Monitoring von Flächen so viel a-priori Gebietskenntnisse vorhanden sind, dass eine entsprechende Wahl korrekt erfolgen würde. Welche Gesellschaften im Gebiet vorkommen, darüber besteht jedoch meist Klarheit. Das Einbringen von Informationen aus der Spektraldatenbank als Abgrenzungskriterium für diese Gruppen erlaubt dann vom Interpretieren unbeeinflusste Klassifikationsergebnisse. Die Kombination verschiedener Klassifikationsverfahren (klassische Methoden und modernen Verfahren des data mining) mit finaler Zuweisung nach Mehrheitsvotum sichert ebenso wie die Konzentration auf die Verwendung von Ableitungen und Indizes in der Klassifikation das Erzielen eines optimalen Ergebnisses. Auch hier ist wie im Verfahren für die Trockenbereiche durch die Nutzung von Bilddaten mehrerer Aufnahmetermine eine weitere Verbesserung der Ergebnisse zu erwarten.

3.5. Methodik und Ergebnisse des Monitorings von Waldstandorten mit Multispektralfernerkundung

Für die Bestimmung der Baumarten in den bewaldeten Arealen musste ein Ansatz gewählt werden, der ohne die Nutzung einer Spektraldatenbank aus Feldmessungen auskommt. Der technische Aufwand zur Erhebung dieser Daten sprengt nicht nur den Rahmen dieses Projektes, er wird auch für potentielle Nachnutzer keine realisierbare Option darstellen. Da jedoch auch hier davon ausgegangen wird, dass Arten sich gut durch die phänologische Entwicklung im Laufe der Vegetationsperiode differenzieren lassen, musste eine Datenquelle gewählt werden, die eine mehrmalige Abbildung des Untersuchungsraumes in der Projektlaufzeit gewährleistet. Ohne zu großen finanziellen und Datenverarbeitungsaufwand zu erfordern. Hierfür boten sich Daten der RapidEye-Satellitenserie an, die bei einer Bildpunktauflösung von 6,5 m eine für die Unterscheidung von Baumarten ausreichende räumliche Detailliertheit bieten und mit der Aufnahme von 5 Spektralbändern in den Bereichen des sichtbaren und nahen infraroten Lichtes im Vergleich zu Hyperspektraldaten zwar geringe, dennoch eine für die Fragestellung verwendbare spektrale Auflösung besitzen.

Im Vordergrund der fernerkundlichen Erfassung dieser Bereiche des Untersuchungsgebietes stand die Ansprache der Baumarten. In Vorläuferprojekten (Biotopkartierung Brandenburg aus CIR-Luftbildern, SARA04) waren bereits räumliche Abtrennungen von Waldabteilungen, eine verlässliche Ausweisung von Arten jedoch nicht gelungen. Die Ursachen sind vor allen Dingen in zwei Fakten zu suchen: einerseits bildet die Nutzung von einer Bildaufnahme, die zumeist aus den vollbestockten phänologischen Abschnitten des Jahres stammt, keine endgültig ausreichende Grundlage für eine Differenzierung. Andererseits hat die lange Nutzung des Gebietes als Truppenübungsplatz eine traditionelle Artenerfassung (botanische Kartierung, Waldinventur) über mehr als 200 Jahre ausgeschlossen, so dass für eine wie auch immer geartete Klassifizierung aus spektralen Abbildern die Eichbasis im Gebiet fehlt. Diese Tatsache stellt sich auch in der hier vorgestellten Methodik als Problem dar.

Die Autoren mussten für die Analyse der Baumarten auch von der Auffassung abweichen, dass eine Ausweisung von Gradienten der Artenpräsenz einer Klassifizierung mit Grenzfestlegung im Vorfeld vorzuziehen ist. Dafür fehlte wegen der Spezifik der Beschaffenheit von Baumbeständen die Datengrundlage. Während in Offenlandbereichen die Geländekartierung von Artenanteilen in der Draufsicht (wie sie im Fernerkundungsdatensatz gesehen würde) durchgeführt werden kann, ist das für Waldareale eine nicht umsetzbare Aufgabe. Kartierungen vom Boden aus können nicht einschätzen, welche anteilige Zusammensetzung von Spektralsignalen sich durch Schichtung, Überschildung und Verzahnung im Bestand in der Draufsicht ergibt. Das spektrale Mischsignal des Bildpunktes wird jedoch hauptsächlich von diesem Faktor bestimmt. Dieser Zusammenhang ist also nicht herstellbar. Glücklicherweise ist die räumliche Auflösung der RapidEye-Daten so beschaffen, dass man in einem Waldbestand anders als in den Offenländern überwiegend von der Situation ausgehen kann, dass das Spektralverhalten eines Bildpunktes von nur einer Art/Baumart geprägt ist. Nicht unberücksichtigt sollte man den Fakt lassen, dass in blattlosen Phänophasen der Bäume die Spektraleigenschaften des Unterwuchses mit prägend sind. Auch auf entsprechend aussagekräftige Daten dazu konnte im vorliegenden Fall jedoch nicht zurückgegriffen werden. Die weitgehende Unbetretbarkeit der Waldbereiche ließ eine Kartierung nicht zu.

Methodik und Datengrundlage

Unter diesen Voraussetzungen wurde auf eine für Fernerkundungsaufgaben traditionelle Maximum-Likelihood-Klassifizierung von Multispektraldaten an Hand von Beispielflächen aus den Aufnahmen zurückgegriffen. Analysen insbesondere von Start und Ende der phänologischen Entwicklung der Baumarten in Bezug auf Zeitpunkte, dominanten Färbungen und zeitlicher Abfolge von Blattaustrieb, Blüte und Fruchtverbleib führte zu der Erkenntnis, dass hauptsächlich Frühjahrs- und Herbstaufnahmen eine Differenzierung der Baumarten begünstigen. Während im Sommer alle Arten in vollen Belaubung oft nur an Struktureigenschaften der Kronen unterschieden werden können, die jedoch auch vom Alter abhängen und in einer pixelbasierten Auswertung von Satellitendaten dieser räumlichen Auflösung schwierig in die Klassifizierung einbezogen werden können, erlauben die unterschiedlichen Zeitpunkte und Farbcharakteristika bei Austrieb und Seneszenz deutliche Zuordnungen der damit einhergehenden spektralen Eigenschaften zu Baumarten. Die nachfolgende Abbildung zeigt an Hand der aus der Rot- und Infrarotreflexion gebildeten NDVI den unterschiedlichen Verlauf der spektralen Eigenschaften der im Untersuchungsgebiet hauptsächlich vertretenen Baumarten. Angemerkt sei, dass ein Wiederanstieg des NDVI im Oktober in der Realität nicht möglich ist. Hier muss davon ausgegangen werden, dass die Atmosphärenkorrektur der Aufnahme vom 19. Oktober 2009 nicht optimal verlaufen ist und zu überhöhten Rückstrahlwerten im Band 5 geführt hat. Die Einbeziehung dieses Bandes in die Berechnung des NDVI schlägt sich entsprechend nieder.

Die Tabelle 3.5a stellt dar, durch welche phänologischen Charakteristika der Arten die Unterschiede im NDVI entstehen. Unterschiedliche Zeitpunkte von Blattaustrieb und Blüte sowie Blattfärbung und –fall sorgen für einen differenzierten Verlauf des NDVI. Besondere Färbung von Blättern, Blüten und Früchten sind in dieser Kurve nicht nachvollziehbar, bei Betrachtung der eigentlichen Spektralkurve (vgl. Abb. 3.5a) deuten sie sich durchaus an. Noch klarer würde das, wenn hyperspektrale Aufnahmen mit der detaillierten Spektralbanddifferenzierung zur Verfügung stünden, wie es für die Zukunft zu erwarten ist. Die Informationen in der Tabelle entstammen neben direkten Beobachtungen im Gebiet forstlichen Lexika und im Falle der konkreten Datumsangaben dem phänologischen Beobachtungsnetz des DWD. In diesem Falle wurden die langjährigen Eintrittstermine der Arten dem Phänologischen Kalender 1992 bis 2012 entnommen (DWD 2011).

Die Witterungssituation in den Jahren 2009 bis 2011 gestaltete sich zum Saisonbeginn so, dass bis Ende März in allen drei Jahren eine leichte Verzögerung der Vegetationsentwicklung von etwa 5 Tagen zu verzeichnen war. Bis Mitte April schlug die Verzögerung in eine Verfrühung um, jetzt ist die Entwicklung der langjährigen um 5 Tage voraus. Zum Ende des Monats muss man konstatieren, dass diese Situation für 2009 und 2011 erhalten blieb und sich im Mai auf 8 Tage Verfrühung ausdehnte, die auch im Juni noch anhielt. In 2010 hingegen setzte ab Mitte April eine Verlangsamung der Vegetationsentwicklung ein, Ende April war die Verfrühung auf 1 Tag gesunken, daraus entwickelten sich 11 bzw. 6 Tage Verspätung zu Mitte Mai und Mitte Juni.

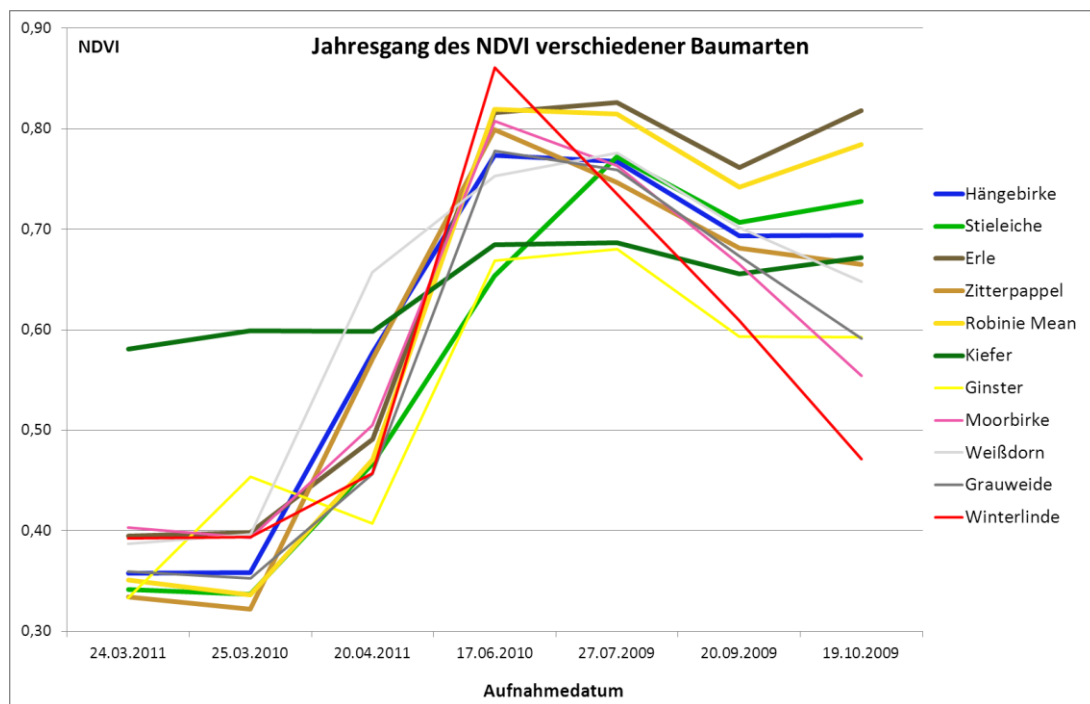


Abbildung 3.5a: NDVI-Kurven für verschiedene Baumarten zu den Aufnahmetermen der RapidEye-Daten

Gemäß den beobachteten Zeitpunkten des Blattaustriebs steigt der NDVI zuerst und am intensivsten bei Zitterpappel, Hängebirke und Weißdorn. Moderate Anstiege verzeichnen vom zweiten zum dritten Termin Erle, Grauweide und Moorbirke. Bei letztgenannter ist allerdings zu vermuten, dass hier im Bild nicht die Belaubung des Baumes sondern das Ergrünen des Unterwuchses sichtbar wird. Robinie, Eiche und Winterlinde zeigen auch zum 3. Zeitpunkt in Abb. 3.5a noch keine typische Spektralkurve begrünter Vegetation, der geringfügige Anstieg des NDVI ist wohl auch hier eher dem Unterwuchs zuzuschreiben. Während die meisten Arten zum Termin 4 ein etwa einheitliches Niveau des NDVI erreicht haben, wobei die Linde die höchsten Werte erreicht, steht die Eiche in der Begrünung noch zurück. Im Juli 2009 ist eine Zweiteilung der NDVI-Werte zu erkennen. Erle und Robinie markieren gleichhohe Werte wie im Vorbild und damit jetzt am meisten begrünt sind, Birke und Grauweide zeigen dasselbe Phänomen auf etwas niedrigerem Niveau. Für Moorbirke, Zitterpappel und vor allem Winterlinde gehen die Werte schon zurück. Die besondere Intensität könnte bei der Linde an die Ausbildung von Blüten und Früchten gekoppelt sein, die durch geringere Chlorophyllgehalte die Rotabsorption weniger stark ausprägen als Laubblätter (siehe Abb. 3.5b). Erle und Robinie bleiben auch zum nächsten Zeitpunkt durch die höchsten NDVI gekennzeichnet, sehr hohe Reflektanzen im Band 5 zeigen intakte Zellstruktur an, während für Linde und Moorbirke die entsprechenden Werte deutlich zurückgehen als Zeichen beginnender Seneszenz. Der Trend zur verstärkten Differenzierung setzt sich auch im letzten Bild fort, wie erwähnt kann hier allerdings nur noch die Relation untereinander, nicht die Veränderung zum Vortermin interpretiert werden wegen der problematischen Vorverarbeitung der Aufnahme.

Tabelle 3.5a: Phänologische Informationen unterschiedlicher Datenquellen zur Unterscheidung von Baumarten

Baumart	Zeitpunkt Blattaustrieb	Zeitpunkt Blüte	Blüte vor Blattaustrieb?	Optisch auffallende Besonderheiten in Zusammenhang mit Austrieb und Blüte	Zeitpunkt Blattverfärbung / Seneszenz	Blattfärbung dominante Farbe zur Blattfärbung	Zeitpunkt Blattfall	Zeitpunkt und Besonderheiten Früchten	Blattverbleib und –färbung im Winter
Stieleiche	früher Mai (1. Mai)	Mai	nach	-	Oktober (16. Oktober)	gelb (braun)	Oktober/ November (3. November)	Fruchtfall: September/ Oktober	teilweise, braun
Birke	Mitte April (17. April)	dritte Dekade April (21. April)	nach	-	Oktober (6. Oktober)	gelb	später Oktober (24. Oktober)	Fruchtbildung: Juli - September	-
Zitterpappel	April	März/April	vor	junge Laubblätter zunächst bis Mai mit hohem Rotanteil; männliche Exemplare mit roten Kätzchen	Oktober	gelb-rot , gelb (bleichgrün)	Oktober	Fruchten: Juni, weibliche Exemplare oft silbern (Fruchthaare)	-
Kiefer	Neutrieb im Mai (6. Mai)	Mai (16. Mai)	-	-	-	-	-	-	grün
Robinie	früher bis mittlerer Mai	später Mai (27. Mai)	nach	Weisse Blütenstände in Trauben	Oktober	überwiegend grün (gelb)	Oktober/ November, sehr spät	Früchte lange hängend, braun	-
Erle	April (16. April)	März (7. März)	vor	Blüte braunrot	Oktober	grün (braun)	Oktober, eher früh fallend	Fruchten: September/ Oktober	-
Moorbirke	Mai	Mai	nach	-	Oktober	gelb	Oktober	Fruchten: Juli bis September	-
Winterlinde	Mai	Juni/Juli	nach	-	Oktober	gelb	Oktober	Fruchten: September	-
Grauweide	April	März/April	kurz vor	männliche Blüten vor Austrieb oft ziegelrot	Oktober	gelb	Oktober	Fruchten: Mai, weibliche Büsche oft silbern (Fruchthaare)	-
Weißdorn	April	Mai (10. Mai)	nach	-	Oktober	gelb	Oktober	-	-

Dank der Möglichkeit, im Rahmen des RESA-Programms von DLR und RapidEye für Wissenschaftsprojekte umfangreiche Datenlieferungen kostenfrei zu erhalten und gezielt Datenbestellungen für interessante Termine abgeben zu können, gelang es, in der Projektlaufzeit von 3 Jahren mehr als 20 Aufnahmen des Untersuchungsgebietes zu erwerben. Davon sind 7 Aufnahmen für die Klassifizierung ausgewählt worden, sie wurden unter phänologischem Gesichtspunkt auf ihren Informationsgehalt geprüft. Redundante Zustandsabbildungen wurden nicht aufgenommen, um die Menge an zu interpretierenden Bildinformationen in vertretbarem Rahmen zu halten. So wurden letztlich Datensätze vom 24.03.2011, 25.03.2010, 20.04.2011, 17.06.2010, 27.07.2009, 20.09.2009 und 19.10.2009 verwendet. Wegen des Einflusses der Witterungssituation von Einzeljahren auf die Eintretenszeitpunkte der phänologischen Phasen sind selbst vom Datum dicht aufeinanderfolgende Aufnahmen (24.März, 25.März) von unterschiedlicher Aussagekraft.

Die Daten wurden zunächst einer Korrektur der Atmosphäreneinflüsse und einer Geokorrektur unterzogen. Anschließend wurden sie maskiert, so dass nur noch Flächen weiterbehandelt wurden, die von Bäumen bzw. dichten Gehölzen/Gebüschern bestanden sind. Schattenbereiche wurden ebenfalls eliminiert. Die Maske wurde aus HyMap-Daten mit 5m Pixelgröße durch eine Hauptkomponententransformation erzeugt und fand auch in allen anderen Teilklassifizierungen des Projektes Anwendung (Neumann 2010).

Zur Auswahl der Beispielflächen für die zu unterscheidenden Klassen konnte lediglich eine im Gelände erhobene Kartierung der FFH-Lebensraumtypen herangezogen werden, die für einen räumlich eng begrenzten Teilbereich des Untersuchungsgebietes (Ferbitzer Bruch – Fürstenow 2006) durchgeführt wurde. Allerdings konnten hieraus nicht für alle Klassen Lageinformationen gewonnen werden. Durch Analysen charakteristischer in den Daten sichtbarer spektralen Jahresgänge wurden weitere potentielle Klassen aus den Bildern identifiziert und durch Geländebegehung einer Art zugeordnet. Dritte Quellen der Information waren Kenntnisse über das Auftreten weiterer Arten im Gebiet, für die dann im Datensatz versucht wurde, charakteristische Flächen abzugrenzen. Dabei handelte es sich zumeist jedoch um Arten, die nicht großflächig auftreten bzw. nur im Unterstand vorkommen, so dass zum Teil keine ausreichenden Beispielsinformationen für die Klassenabgrenzung gewonnen werden konnten.

Die Einordnung wurde letztlich mit einem Klassifikator durchgeführt, der die Klassen

Hängebirke	Stieleiche	Erle	Zitterpappel	Robinie	Kiefer
Moorbirke	Ginster	Weißdorn	Grauweide	Winterlinde	
<i>Buche</i>	<i>Kastanie</i>	<i>Hybridpappel</i>	<i>Eschenahorn</i>	<i>Silberweide</i>	<i>Ulme</i>
<i>spätblühende Traubenkirsche</i>					

umfasste. Dabei treten Kastanie, Silberweide und Ulme nur in sehr kleinen Gruppen in Mischbeständen oder als Einzelbäume in lockeren Beständen auf. Beim Versuch der räumlichen Abgrenzung dieser Flächen muss man davon ausgehen, dass immer auch andere Arten mit erfasst werden und vor allem viel Spektralinformation der Gras- und Strauchschicht mit eingeht. Es ist zu erwarten, dass es sich dann nicht um charakteristische Signale der Art handelt, die eine eigene Klassenbildung wirklich zulassen. Von Buche, Eschenahorn, spätblühender Traubenkirsche und Hybridpappel gibt es zu wenige Bestände, die ausreichend dicht sind, um eine Klassencharakteristik abzuleiten. Das führt dazu, dass im Klassifikationsergebnis zumeist nur die zuvor zugewiesenen Flächen der Klasse zugeordnet werden, andere Bildbereiche jedoch nicht als dieser Spektralcharakteristik zugehörig erkannt werden. Verschärfend kommt hinzu,

dass spätblühende Traubenkirsche überwiegend im Unterstand auftritt und somit durch Fernerkundungsdaten nicht zu erfassen ist.

Die endgültige Festlegung der zum Klassifikationsziel gehörenden Arten muss als iterativer Prozess angesehen werden, weil wie zuvor beschrieben kein verortbares a-priopi-Wissen über das Auftreten der meisten Arten vorlag. Begleitende Geländebegehungen in Ausschnitten des Untersuchungsgebietes fanden zu dieser Zeit statt und bildeten auch die einzige, wenn auch vage, Grundlage für die Gütekontrolle des Klassifikationsergebnisses. Die normalerweise die Klassifizierung von Fernerkundungsdaten abschließende Gütekontrolle an Hand von amtlichen, im Gelände erhobenen Informationen konnte hier nicht erfolgen. Die wenigen Informationen, die der FFH-Kartierung entnehmbar waren, sind schon in die Erstellung des Klassifikators eingeflossen und damit nicht für die Kontrolle verwendbar. Weil wie schon beschrieben große Teile der baumbestandenen Areale des Untersuchungsgebietes nur unter massiven Sicherheitsvorkehrungen begehbar sind, konnte auch eine eigene Kontrollbegehung im Rahmen des Projektes nicht durchgeführt werden.

Ergebnisse

Bei der Betrachtung der Spektralcharakteristiken der Hauptklassen, wobei hier die gemittelten Eigenschaften aller zur jeweiligen Klasse gehörenden Beispielflächen dargestellt sind, fällt die Veränderung der typischen Kurvenform vom laublosen Zustand im März zum vollbelaubten Zustand im Juni zum restbegrünten bis seneszenten Zustand im Oktober auf (Abb. 3.5.b). In der letzten Aufnahme ist der Laubbwurf noch nicht abgeschlossen. Die Kurvenformen variieren also zwischen der für Eiche im März (ohne Bande im roten Licht – Band4 - und niedrigem Reflexionsgrad im Infrarotplateau - Band 5 -) und der für Linde im Juni (sehr ausgeprägte Rotbande und Reflektanzen von 60% im Infrarot) – siehe eingeklinkte Abbildung.

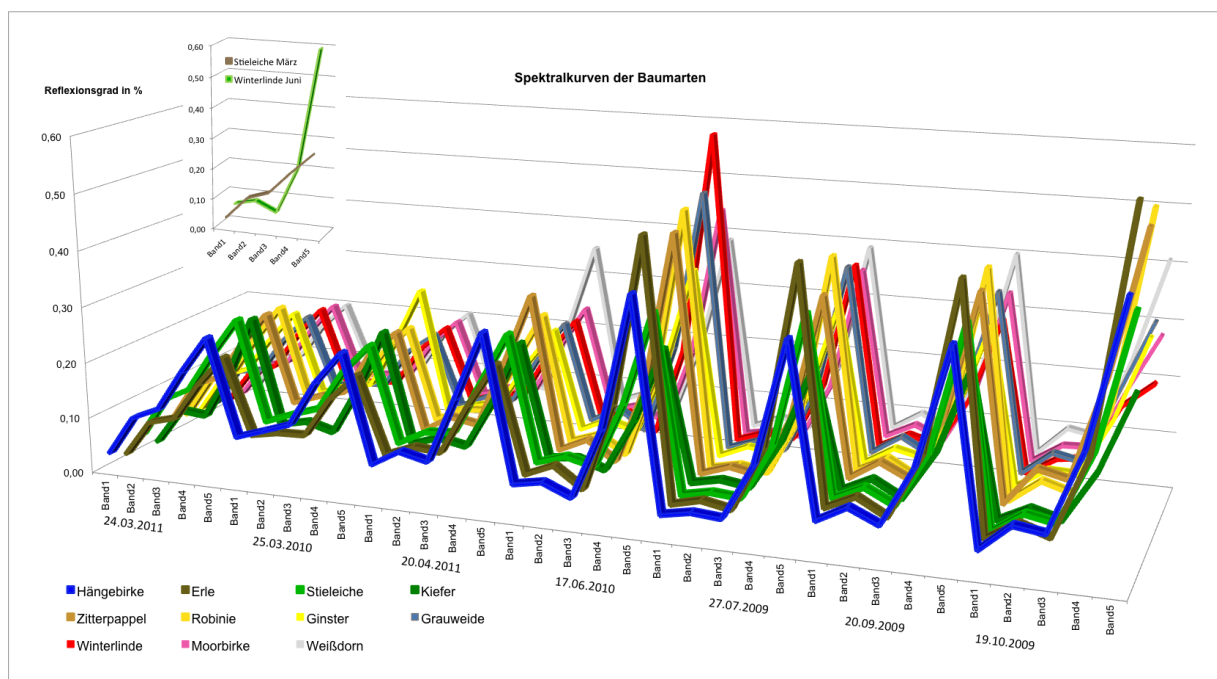


Abbildung 3.5b: Vergleich der Spektralkurven für die Aufnahmetermine von RapidEye-Daten für die Hauptbaumarten der Klassifizierung, eingeschaltet: Spektralkurven von Winterlinde und Stieleiche zur Verdeutlichung der Extreme

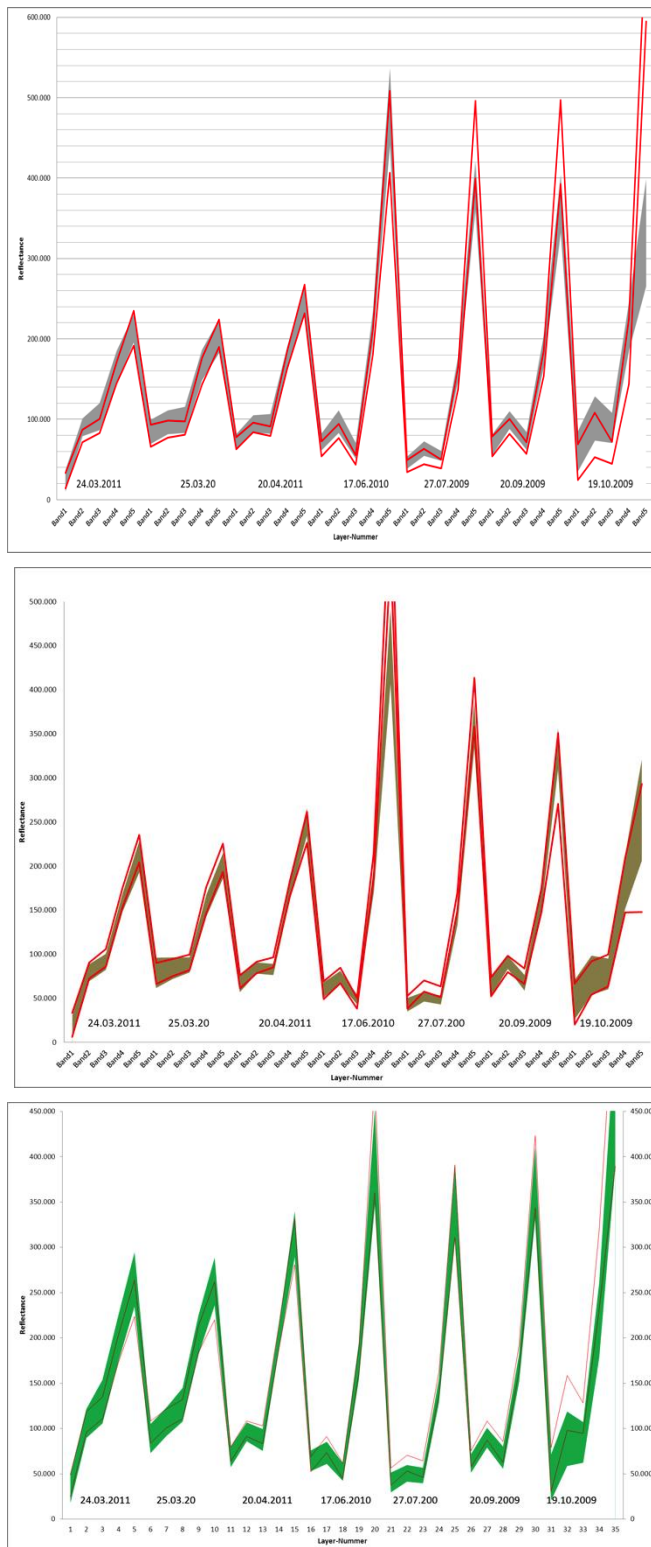


Abbildung 3.5c: Gegenüberstellung der Spektralcurven von jeweils zwei Baumarten- oben: Grauweide – grau und Erle – rot; Mitte: Moorbirke – oliv und Winterlinde – rot; unten: Hängebirke – grün und Zitterpappel – rot

Bei einer Klassifizierung von Fernerkundungsdaten bilden die Rückstrahlwerte in den Bildpunkten die Klassifikationsbasis. Der Klassifikator muss so aufgebaut werden, dass sich die Klassen in einigen Bändern eindeutig von allen anderen unterscheiden lassen. Für die Kiefer trifft das fast in allen Bändern zu, Winteraufnahmen eignen sich dafür am besten. Auch Ginster zeigt viele Möglichkeiten zu Trennung, insbesondere natürlich zur Blüte. Die wird jedoch durch die genutzten Daten (Mai-Juni) nicht optimal erfasst. Der hohe Anteil verholzender Zweige - besonders bei alten Exemplaren – am optischen Aussehen und der damit geringere Anteil an grünen Blättern sorgt für eine sichtbar weniger stark eingetiefte Bande im roten Licht im Vergleich zu den Laubbäumen.

Wie schon beschrieben, sind Birke und Zitterpappel durch den zeitigen Wuchsbeginn gut von den anderen Arten zu unterscheiden. Untereinander ist die Entscheidung auf Basis des jeweils etwas unterschiedlichen Niveaus der Rückstrahlung über die Sommermonate und insbesondere im Herbst erfolgt. Diese Differenzierung ist nicht besonders klar ausgeprägt, so dass hier durchaus Gefahr von Fehlzuzuweisung besteht.

Länger als bei anderen Arten ist bei Eiche das Fehlen der Rotbande im Frühjahr ausgeprägt, resultierend aus dem späten Blattaustrieb. Das sichert die Unterscheidung zu den anderen

Arten. Die Arten Erle, Moorbirke, Grauweide und Winterlinde haben in den ersten drei Aufnahmen noch sehr ähnliche Ganglinie, alle tragen noch keine Blätter, die Reflexion ist durch Holz bzw. Unterwuchs geprägt. Ab der Juniaufnahme nehmen die Kurven einen unterschiedlichen Verlauf: Winterlinde zeigt eine ausgeprägte Kurve aktiver grüner Vegetation, die in allen Folgeaufnahmen verflacht. Die Kurven von Erle, Grauweide und Moorbirke bleiben ähnlich, die der Erle ist jedoch am stärksten von Photo-

synthese geprägt. Besonders klar wird die Trennung im Oktoberbild, die Erle ist weiter photosynthetisch am aktivsten, während die Grauweide weniger aktiv ist und Moorbirke schon vergilbt ist. Weißdorn hebt sich durch eine sehr ausgeprägte Vegetationskurve in der Aprilaufnahme von allen anderen Arten ab. Robinien verhalten sich spektral am ähnlichsten mit Erle. Das gilt jedenfalls für die begrünte Phase. Gleichzeitiges Ergrünen und späte Seneszenz lassen die Spektralkurven ähnlich erscheinen. In den Frühjahrsaufnahmen unterscheiden sich beide Arten jedoch deutlich, so dass die Differenzierung gelingt. Am ehesten problematisch ist letztlich die Trennung von Zitterpappel und Hängebirke.

Von den etwa 3500 ha Wald und Gehölz im Untersuchungsgebiet knapp 95% von 6 Arten dominiert. Das sind vorherrschend Eiche, Kiefer und Erle, deren Bestand im Gebiet schon über viele Jahre existiert. Insbesondere in den Jahren seit der Nutzungsauffassung des Truppenübungsplatzes sind verstärkt in Sukzessionsflächen Zitterpappeln, Hängebirken und Robinien hinzugekommen. Begleitet werden diese 6 Baumarten durch Grauweiden- Weißdorn- und Ginstergebüsche sowie Moorbirkenaufwüchse, die jeweils 1 bis 2% einnehmen und ebenso in den letzten Jahren an Anteil gewannen. Alle anderen in der Klassifikation betrachteten Arten wurden mit weniger als einem Prozent Flächenanteil ausgewiesen, wobei nochmals auf die Schwierigkeiten zur Erkennung von Klassen mit geringer Deckung im Gebiet hingewiesen sein soll. Dabei sind einzelne Bestände wie Linden und Kastanien sehr alt und Relikt des Baumbestandes in aufgelassenen Siedlungen im Übungsplatzgebiet. Betont sei auch für die klassifizierten Flächen, denen eine Baumart zugewiesen ist, dass es sich dabei um die dominierende Bauart handelt, es jedoch nicht ausgeschlossen werden kann, dass Begleitarten existieren. Es wurde ausdrücklich darauf verzichtet, eine Ausweisung der dominierenden Baumart bezüglich von Flächeneinheiten (Waldabteilungen) vorzunehmen. Der Vorteil, dass durch die Ausweisung der Zuordnung der Einzelpixel auch Inhomogenitäten innerhalb von Beständen sichtbar gemacht werden können, sollte erhalten bleiben. Letztlich ist es jedoch kein Problem, durch Verschneidung mit einer Karte der Waldabteilungen (die jedoch amtlich nicht zu beschaffen war) bilanzierende Aussagen zu treffen.

Die Gesamtdarstellung der Verteilung der Arten im Untersuchungsgebiet ist im Sinne der Übersichtlichkeit dennoch mit Linienelementen gegliedert. Sie entstammen verschiedenen Quellen: einerseits der FFH-Kartierung des Ferbitzer Bruchs, andererseits der Interpretation von Fernerkundungsdaten durch LUP (Frick 2007), sind im DBU-Projekt jedoch nicht weiter verwendet worden. Die Darstellung offenbart die Existenz von weitgehenden Reinbeständen, Bestände mit Mischungen aus zwei Arten und Areale, in denen drei und mehr Arten um die Dominanz kämpfen. Sehr plausibel stellt sich die Konzentration großer Eichenbestände auf die Bereiche dar, die schon in deutlich früheren Satellitenaufnahmen als Laubwaldareale ausgewiesen wurden (vgl. Abb 3.5d und 3.5e).

Das schließt selbstverständlich in der Realität das Vordringen junger Bäumen in die Offenbereiche nicht aus, das Spektralsignal ist jedoch nicht so markant, dass wesentliche Neuareale auszumachen sind. In den Laubwaldarealen der Klassifizierung aus 1987 sind außerdem Robinie, Birke und Pappel stark vertreten, zum Teil als Begleitart zur Eiche, wie nördlich der großen Wüste, zum Teil selbst bestandsdominierend wie zwischen Hasenheide und Plettenberg. Spektralsignale der Kiefer werden auch überwiegend auf den Flächen erkannt, die schon 1987 als Nadelwald klassifiziert worden sind. Die höhere räumliche (6,5 m gegenüber 30m) und zeitliche Auflösung der RapidEye-Daten gegenüber den Landsat-Daten erlaubt eine detailliertere Artenanalyse und die Aussage, dass überwiegend Birken als Begleitbaumart vorkommen. Die Areale, die in der Klassifizierung der Landsat-Daten von 1987 noch als Offenländer eingestuft wurden, sind heute in weiten Bereichen von Bäumen bestanden. Hier hat vornehmlich in den

trockenen Bereichen eine Ausbreitung von Birken stattgefunden, begleitet von Zitterpappel, Robinie und Ginster. In den feuchten Bereichen und im Übergang zwischen beiden Offenlandtypen dominieren Moorbirken, Erlen, Grauweiden und Weißdorn. Auch hier sind Zitterpappeln und Robinie anteilig bedeutend vertreten.

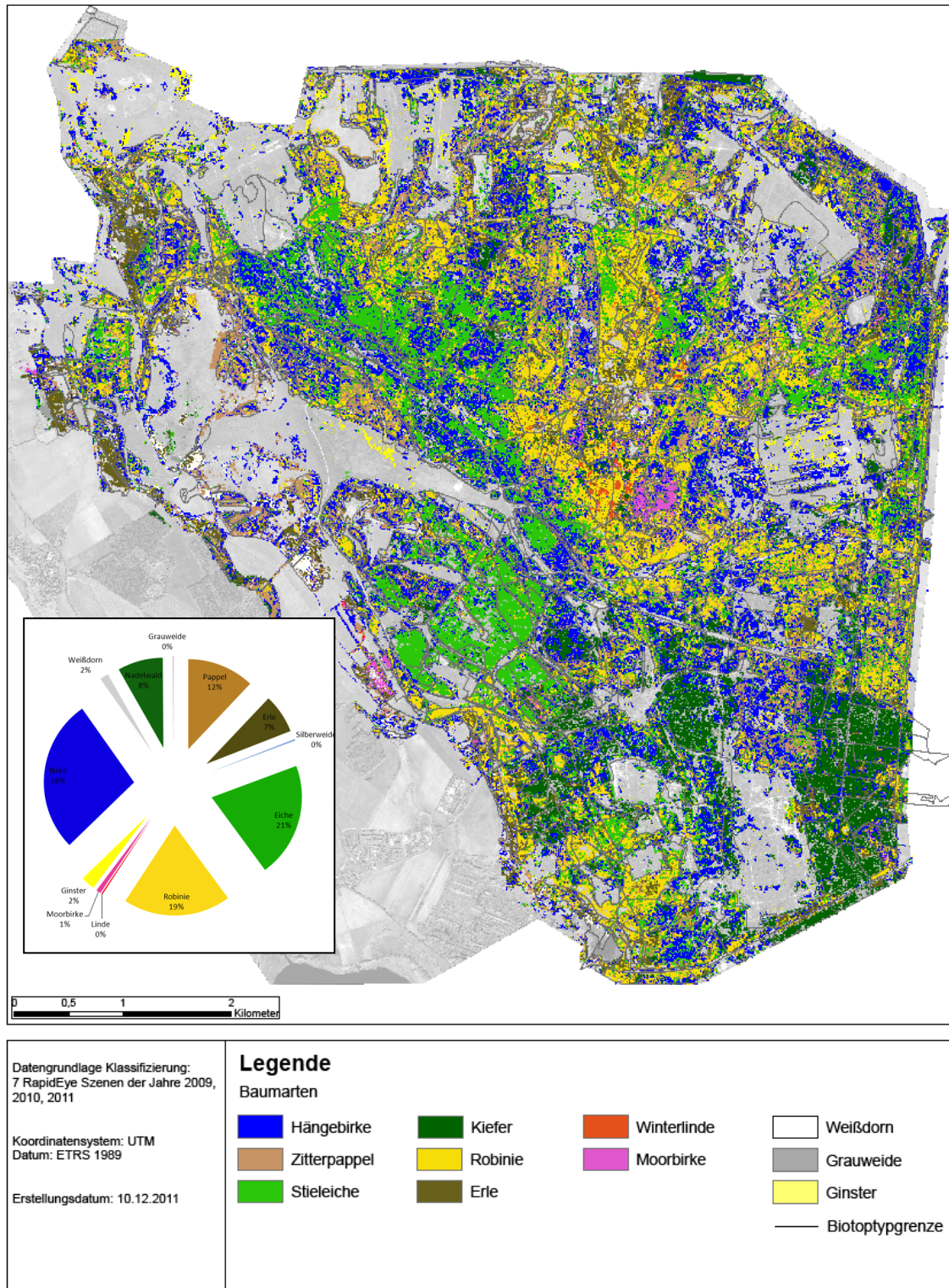


Abbildung 3.5d: Ergebnis der Klassifikation von Baumarten aus multitemporalen RapidEye-Daten und Anteil der Klassen an der Waldfläche

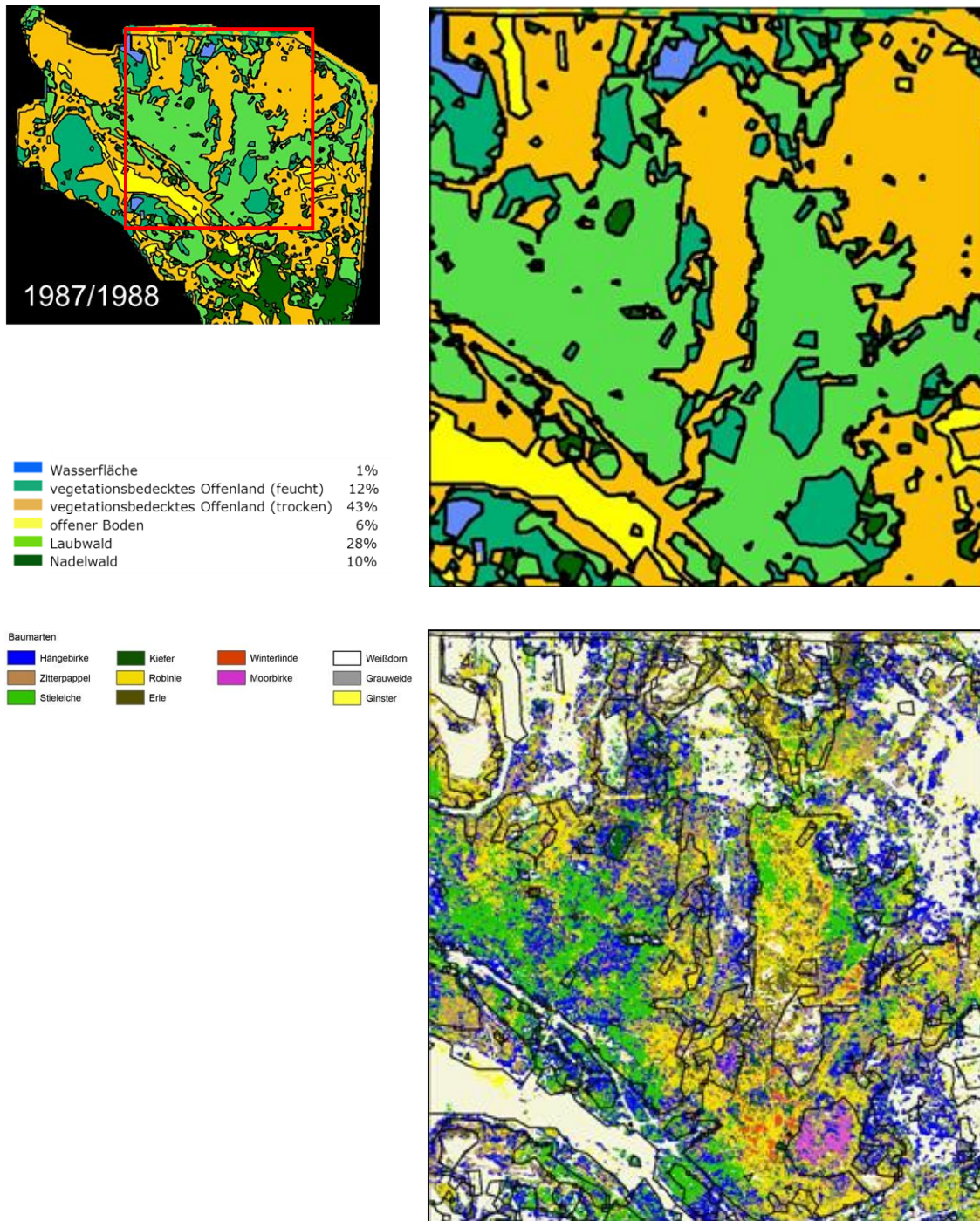


Abbildung 3.5e: Vergleich der Lage der Offenländer in der Landsat-Klassifizierung 1987/1988 und der jetzt der befindlichen Baumarten

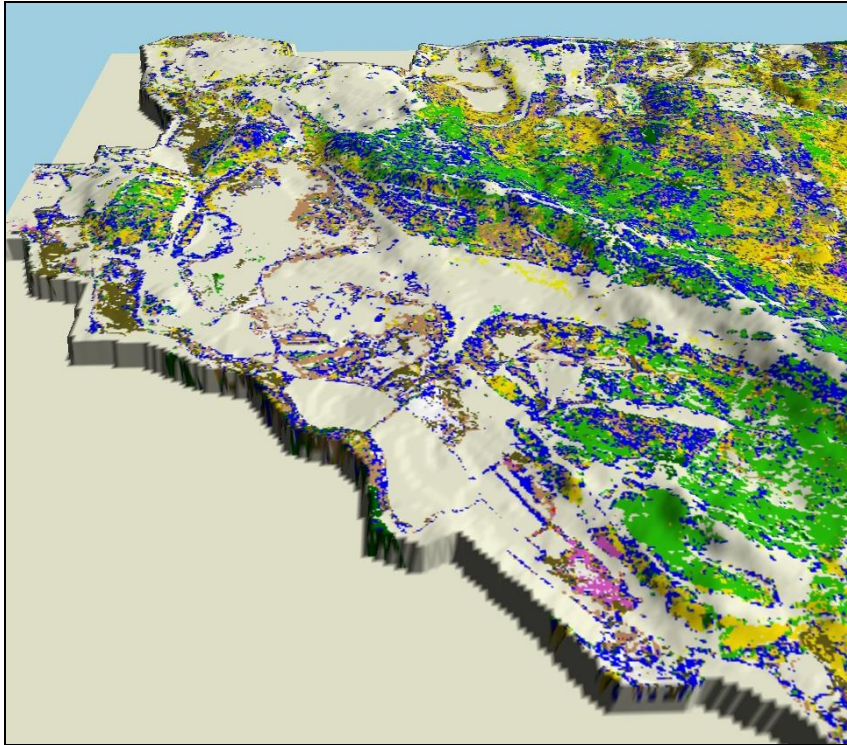


Abbildung 3.5f: Darstellung des Zusammenhanges aus Reliefausprägung und ermittelter Baumart – westlicher Teil der Döberitzer Heide

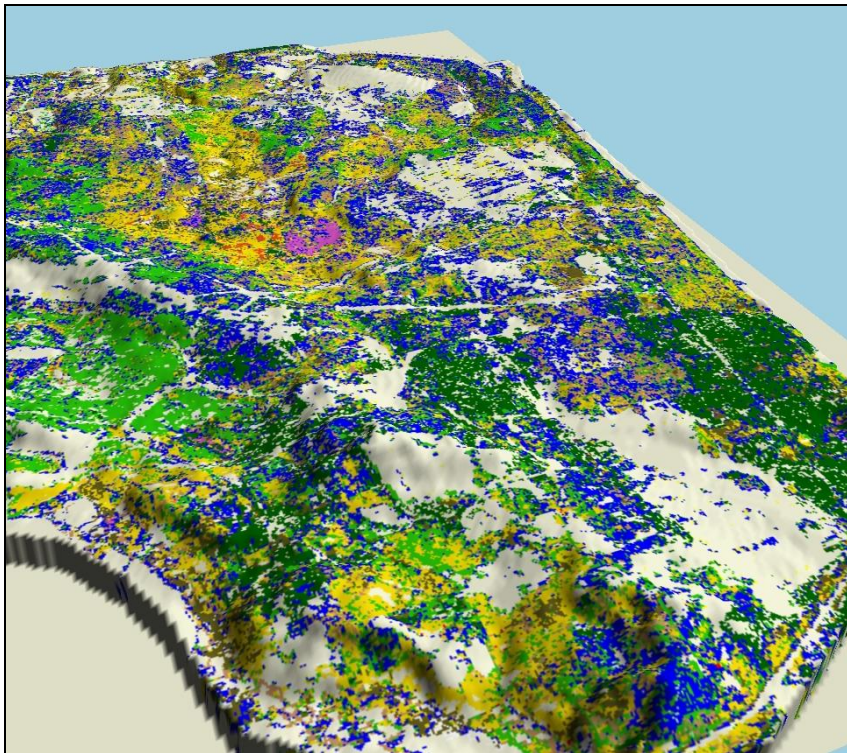


Abbildung 3.5g: Darstellung des Zusammenhanges aus Reliefausprägung und ermittelter Baumart – östlicher Teil der Döberitzer Heide

Stellt man den Vergleich aus Artenverteilung und Geländehöhe in den Fokus (Abb. 3.5f und 3.5g), so lässt sich auch hier ein klarer Zusammenhang erkennen. In der Abbildung des Westteils des Gebietes ist deutlich, dass im Ferbitzer Bruch, einer ehemaligen Schmelzwasserabflussbahn mit durchschnittlich 31-32m Höhe über NN, in den tiefsten Lagen Erlen, Moorbirken und Grauweiden stocken. In den Übergangslagen bis 40m NN dominieren Zitterpappel, Birke und Weißdorn. Die eingeschalteten Grundmoräneninseln tragen Eichen, Robinien und wenige Kiefern. Die Darstellung von Süd- und Ostteil wird von größeren Geländehöhen geprägt. Der von SO nach NW verlaufende Krampnitzer Stauchendmoränen-Komplex mit höchsten Lagen um 85m grenzt den tiefer gelegenen Westteil vom höher gelegenen und stärker welligen Ostteil ab. Dort prägen Grundmoränenablagerungen das Bild, nach Norden verlaufene moorige Rinnen und Hohlformen begleitet. Die höchsten Lagen werden von Kiefern, Eichen und Birken eingenommen. Einige im Süden in diesen Lagen auftretende, als Erlen klassifizierte

Areale sind zu bezweifeln. Auch die verebneten bis welligen Grundmoränenflächen sind großflächig von Eichen, Birken, Robinien dominiert. In den Hohlformen und Rinnen auf 40 bis 50m über NN, die heute

weniger Vernässung aufweisen als noch vor 20 Jahren, finden sich erwartungsgemäß Moorbirken, Erlen, Grauweiden und Weißdorn.

Es ist bereits gesagt worden, dass die langjährige Nutzung als Truppenübungsplatz die amtliche Bestandsüberwachung verhinderte. Einen Anhaltspunkt auf die Verteilung der Arten in der Historie kann der Vergleich mit einer Topographischen Karte aus dem Jahr 1903 geben.

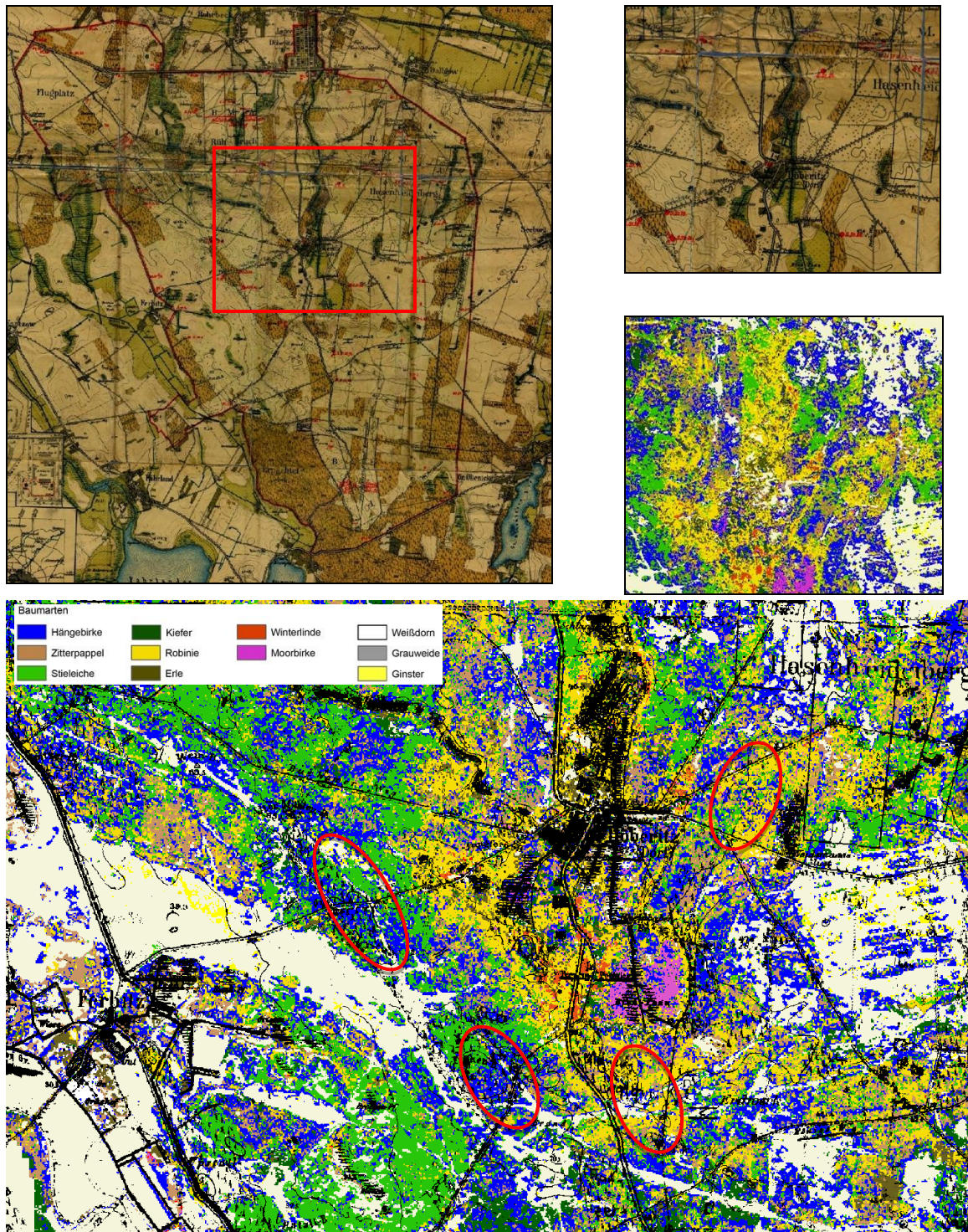


Abbildung 3.5h: Markierung der alten Baumbestände aus der Topographischen Karte 1903 im Klassifizierungsergebnis der multispektralen Fernerkundungsanalyse

Zu diesem Zeitpunkt waren große Teile des Untersuchungsgebietes unbewaldet. Lediglich im Süden existierten größere Waldareale. Rund um die ehemalige Ortschaft Döberitz in der Kartenmitte gab es wenige kleine, von Wald bestandene Flächen, die auch heute Wald tragen. Sie sind in der Überblendung von Karte und Klassifikationsergebnis markiert und erlauben den Rückschluss auf das Alter der dort stehenden Bäume. Im Falle der drei Markierungen westlich und südlich von Döberitz handelt es sich um Eichen und Kiefern, für die ein hohes Alter zu erwarten ist. Selbstverständlich sind auch diese Bereiche in den seither vergangenen 110 Jahren überprägt worden.

Östlich von Döberitz sind in einer Markierung Winterlinden hervorgehoben. Diese Baumart kann in dem Gebiet nur im Zusammenhang mit einer Pflanzung in der Zeit der Existenz der Ortslage Döberitz Fuß gefasst haben, eine natürliche Ansiedlung von Winterlinden in dieser naturräumlichen Situation findet nicht statt. Demzufolge muss es sich auch hier um alte Exemplare handeln.

Resümee

Die Baumartenklassifikation aus multitemporalen multispektralen Satellitendaten hat sich für die Döberitzer Heide als nützliche Methode erwiesen. Mit einer Bildpunktauflösung von 6,5 m sind die Daten gut geeignet, spektrale Eigenschaften unterhalb der Kronengröße zu differenzieren und auf dieser Basis eine Klassifizierung vorzunehmen, die die Abbildungen von Mischungen und Dominanzen in Beständen ableitbar macht und nachträgliche Quantifizierungen in Bezug auf Waldabteilungen erlaubt.

Wenn auch nicht detailliert bestimmt werden kann, wie das Spektralsignal eines Bildpunktes zusammengesetzt ist, ein Problem, was sich bei der Betrachtung von Baumbeständen mit kompliziertem Stockwerkaufbau und für Feldkontrollen ungeeigneter Bestandshöhe immer stellt, so lässt sich an Hand der Spektralkurven der Arten der charakteristische phänologische Gang der Artenentwicklung nachvollziehen.

Unter der Berücksichtigung der notwendigen Schritte der Datenvorverarbeitung (atmosphärische Korrektur) sollten die gewonnenen artspezifischen Spektralinformationen auch für die Klassifizierung von Baumarten in anderen Flächen zur Anwendung kommen können. Die nicht vorhandene Information über Standorte der vorkommenden Arten als Eichflächen hat sich als Problem erwiesen. Es hat sich aber auch gezeigt, dass die Bildinformation so detailliert ist, dass sich aus ihrer Interpretation die notwendigen Kenntnisse zum Aufbau des Klassifikators gewinnen lassen. Unter der besonderen Konstellation zur Begehbarkeit des Gebietes ist das Fehlen von Forstkartierungsunterlagen besonders problematisch für die Gütekontrolle des Ergebnisses. So kann letztlich keine Aussage über die Güte des Resultates getroffen werden. Das muss sich durch die Nutzung in der Praxis in den Folgejahren erweisen.

Letzten Endes liegt mit dem Ergebnis erstmals eine flächendeckende Karte der Baumbestände im Untersuchungsgebiet vor. Auf ihrer Basis lassen sich die weiteren Planungen für die Gebietsentwicklung vornehmen und das Flächenmonitoring sichern. Gegenüber der Klassifizierungsmethodik nach SARA04 (für die Döberitzer Heide ausgeführt für 2004 und 2010) wurde damit ein wichtiger Fortschritt erzielt. Allerdings war dort auch nicht direkt auf eine Baumartenklassifizierung abgezielt worden. Mit der Aufnahme von nur einem Termin wäre das aber auch nicht möglich gewesen. Im Falle der Baumartenerkennung ist eher die hohe multitemporale Auflösung als die hohe räumliche Auflösung von Bedeutung.

3.6. Veränderungsanalyse 2004/2010 mit erprobter SARA04-Methodik

Zur Einschätzung von Entwicklungstendenzen natürlicher Vegetationsbestände in trockenen Offenländern in der Döberitzer Heide sowie zum visuellen Vergleich von vorhergesagten Bewertungskategorien aus dem hyperspektralen Verfahren (beschrieben in Kapitel 3.3.4) wurden die Ergebnisse der erprobten SARA'04 Methodik auf zwei hochaufgelöste multispektrale Satellitenszenen für die Jahre 2004 (29.07.2004) und 2010 (26.05.2010) angewandt. Die Verfahrensausführung zur Ableitung von Indikator-karten in den betreffenden Jahren wurde von der Firma Luftbild-Umwelt-Planung (LUP) bewerkstelligt. Mit Hilfe eines wissensbasierten Klassifikationsalgorithmus (Frick, 2008) wurden dabei die in Tabelle 3.6a aufgelisteten Kategorien für 2 bzw. 0,5 Meter aufgelöste Bildelemente abgeleitet und dem DBU Projekt zur Verfügung gestellt. Anschließend wurden aus der Gesamtheit von Objektklassen diejenigen extrahiert, welche typische Konversionsstadien in trockenen Offenlandbereichen kennzeichnen. Die Einteilung erfolgte nach naturschutzfachlichen Kriterien im Hinblick auf den Erfolg eingesetzter Managementmaßnahmen sowie auf eine Charakterisierung fortschreitender Sukzessionsprozesse. Es kann demnach pixelgenau die räumliche Veränderung ausgewählter Objektklassen zu einer Bewertung von Entwicklungstendenzen über einen Zeitraum von 6 Jahren zusammengefasst werden. Die eine Entwicklungstendenz kennzeichnenden Konversionskategorien werden für 5 trockenen Offenlandstandorte der Döberitzer Heide dargestellt und interpretiert (Abbildungen 3.6a bis k).

Tabelle 3.6a: Objektklassen der mittels SARA'04 Methodik abgeleiteten Indikator-karten

Objektklasse	Tiff-Wert
nicht klassifiziert	0
Wasser	1
Arten der Wasserlinsendecken	2
Arten der Schwimmblattvegetation	3
Röhricht in Gewässern	4
offener Boden	5
Von Moosen dominiert	6
Arten der sonst. Gras-/Staudenfluren	7
Arten des torfmoosdominierten Zwischenmooses	8
Landröhricht	9
Großseggenröhricht	10
Arten der Feuchtwiesen	11
Arten der feuchten Hochstauden	12
Arten der Flutrasen	13
Sandtrockenrasen kryptogamenarm (Silbergrasflur)	14
Sandtrockenrasen kryptogamenreich	15
Grünland intensiv	17
Arten der Frischwiesen/-weiden	18
Grünland gemäht	19
Trockene Sandheide	20
Besenginsterheide	21
Gehölz	22
Acker	23
Arten der Ackerbrache	24
Versiegelt	25
Schatten	26
Wolken	27

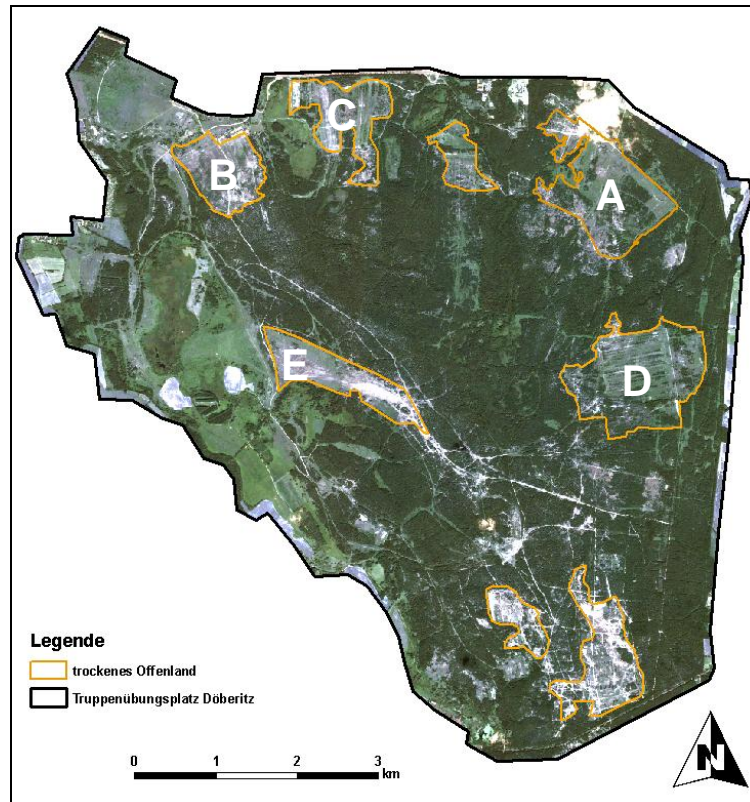


Abbildung 3.6a: Lage der Untersuchungsgebiete für die Veränderungsanalyse

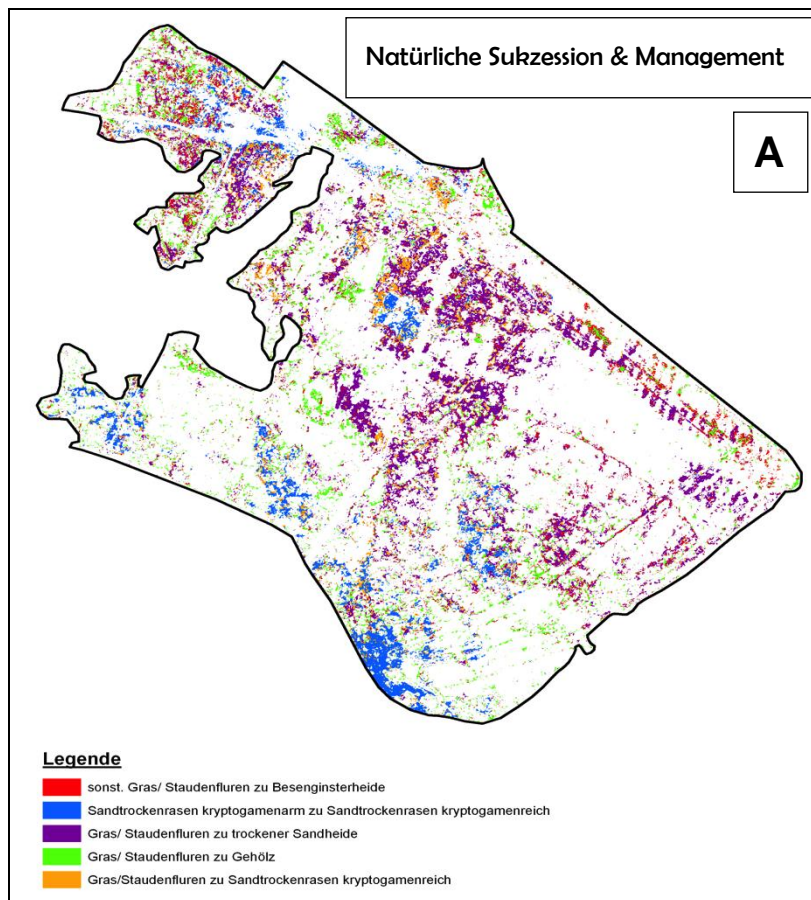


Abbildung 3.6b: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Hasenheide

Im UG Hasenheide ist eine deutliche Zunahme von Flächen mit typischen Heideformationen zu erkennen (lila) (Abbildung 3.6b). Es ist zu vermuten, dass die in diesem Zeitraum mehrfach eingesetzten Mulchungsmaßnahmen die Ausbreitung von *Calluna vulgaris* begünstigen. Diese zielgerichtete Beeinflussung führt zum Rückgang von sonstigen Gras- und Staudenfluren. Im Nord-Osten des UG kommt es trotz Einsatzes von Mulchung zur Zunahme von Ginsterbeständen, welcher nach Schnitt der Bestandsfläche schnell aufwachsen kann (rot). In Bereichen außerhalb von Mulchungsmaßnahmen kommt es dem zeitlichen Gradienten der natürlichen Sukzession folgend zur Ausbreitung von Bäumen (grün). Deutlich zu erkennen ist ebenfalls eine Ausbreitung von Kryptogamen in ehemals offenen Pionierfluren (blau). Auch hier kann die zunehmende Bedeckung des Bodens mit ungestörten Entwicklungen entlang des Sukzessionsgradienten erklärt werden. Die Verteilung von typischen Heidebeständen und zunehmend geschlossenen Silbergrasfluren deckt sich mit den Verteilungen der Bewertungsstufen aus der räumlichen Vorhersage hyperspektraler Bewertungsstufen (Abbildungen 3.3.6b & 3.3.6g). Trotz verringertem räumlichen Auflösungsvermögen wird aufkommender Heidebestand mit A (Abbildung 3.3.6g) bewertet und die degradierten Silbergrasbestände größtenteils in den Bewertungsstufen B und C vorhergesagt (Abbildung 3.3.6b).

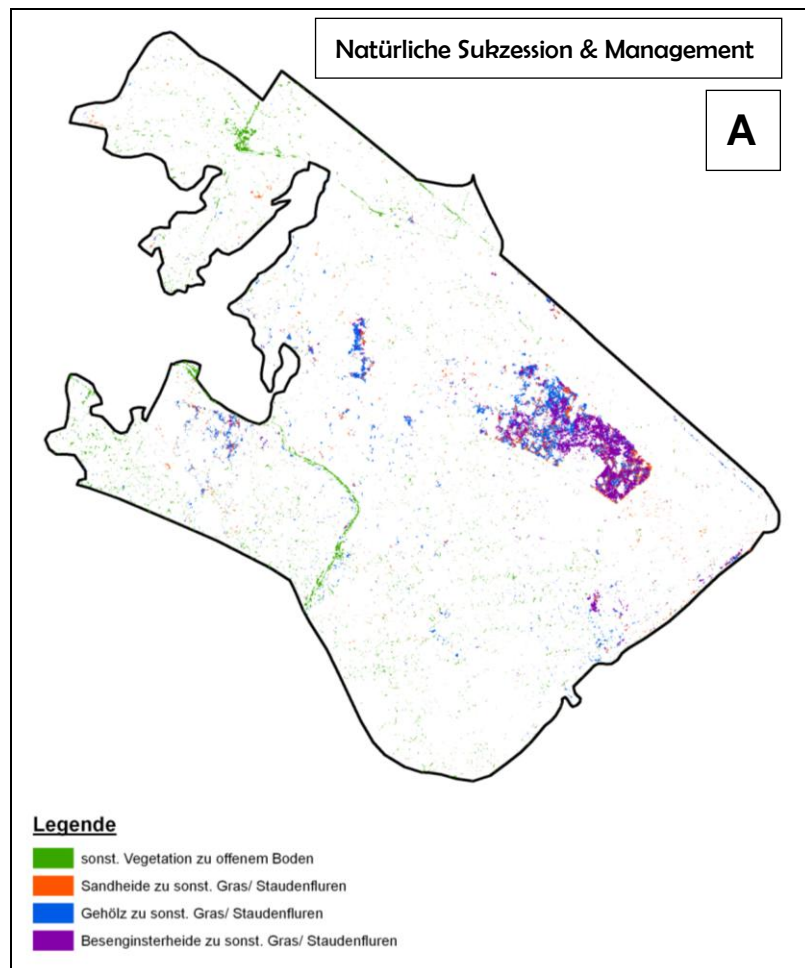


Abbildung 3.6c: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Hasenheide

Der Einsatz von Managementmaßnahmen kann deutlich im Kernbereich des UG Hasenheide nachvollzogen werden (Abbildung 3.6c). Hier verändern sich Gehölz- und Ginsterstrukturen durch aktives Entfer-

nen zu Gras- und Staudenfluren (blau, lila). Ebenfalls zu erkennen ist die Zunahme von Anteilen an offenem Boden auf befahrenen Wegen (grün). Aber auch im südlichen Bereich der Hasenheide tritt eine linienhafte Struktur mit zunehmenden offenen Bodenflächen auf. Dies ist der Bereich des Wildtierzaunes, welcher im betrachteten Zeitraum geschaffen wurde. Innerhalb der Zaunrassen wurde die Vegetationsdecke anfänglich auch unter Einwirkung von Baumaßnahmen beseitigt. Die im gesamten Untersuchungsgebiet verteilten Einzelpixelwerte können in Teilbereichen für detaillierte Analysen auf kleiner Skala herangezogen werden. Im Einzelfall muss jedoch beurteilt werden, inwieweit sich Vorhersagefehler im zu Grunde liegenden Klassifikationsverfahren auf die Ableitung von Veränderungswerten auswirken. Größere homogene Flächen von vorhergesagten Veränderungskategorien können mit hinreichender Sicherheit als tatsächliche Ausprägung des interpretierten Sachverhalts aufgefasst werden.

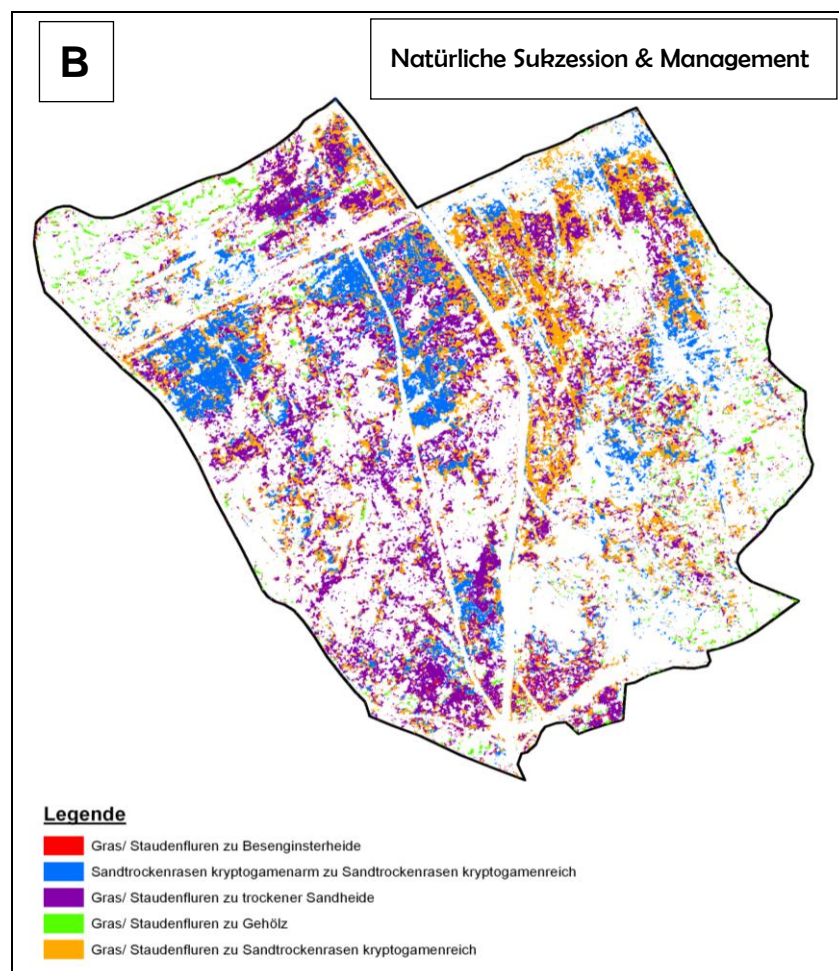


Abbildung 3.6d.: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Naturschutzzentrum

Im UG Naturschutzzentrum kann ebenfalls eine Ausbreitung von Heiden flächendeckend detektiert werden (lila) (Abbildung 3.6d). Zudem werden ehemals typische Pionierfluren durch verstärkte Durchdringung mit Flechten und Moosen in kryptogamenreiche Bestände degradiert (hellblau). Diese Art der Konversion führt zur Abwertung des Erhaltungszustandes vom LRT-2330 und ist auch in den hyperspektralen Vorhersagen gut nachvollziehbar abgeleitet (Abbildung 3.3.6c). Eine Zunahme von Verbuschung ist im Nord-Westen und Süd-Osten des Untersuchungsgebietes detektierbar (grün). Des Weiteren werden Übergänge von Gras- und Staudenfluren in kryptogamenreiche Sandtrockenrasen (orange) dargestellt.

Eine Evaluierung und damit Unterscheidung zu Klassifikationsfehlern ist bei dieser Art von Übergängen zur Verwertung der Ergebnisse in einem Monitoring zukünftig erforderlich.

In Abbildung 3.6e wird der Einsatz von Gehölzentnahmen (blau) im Westen und Entbuschungsmaßnahmen (lila) im Kernbereich ersichtlich. Entlang der Wege erhöht sich der Anteil an offenem Boden (grün). Eine Häufung von Pixeln mit Konversionen zu offenem Boden ist ebenfalls im Süden im Bereich der Eingewöhnungszone zu erkennen. Hoher Tierbesatz führte hier zur Schaffung vegetationsfreier Flächen. Auf kleiner Skala kann des Weiteren der Übergang von Sandheiden zu sonstigen Gras- und Staudenfluren beobachtet werden (orange). Erfahrungen im Gelände bestätigen auf solchen Flächen die Zunahme von Landreitgras, insbesondere auf einem schmalen Band im Kernbereich des Untersuchungsgebietes.

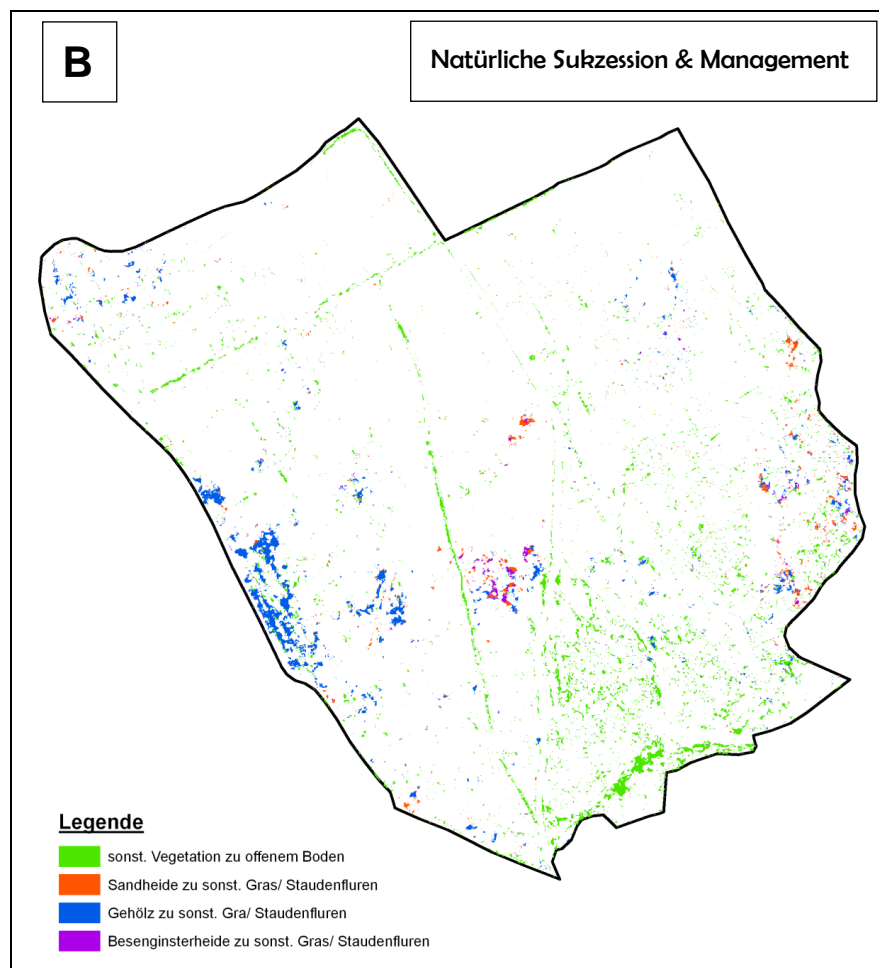


Abbildung 3.6e: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Naturschutzzentrum

Auch im UG Nordheide (Abbildung 3.6f und g) kommt es im betrachteten Zeitraum zu einer flächenhaften Zunahme von Heidekrautheide und kryptogamenreichen Silbergrasbeständen, die sich folglich nach ablaufender Sukzession den Arten der Sandtrockenrasen zuordnen lassen. Der Einfluss der im Mai 2010 in die Kernzone im südlichen Teil des Untersuchungsgebietes entlassenen Großweidetiere ist zu diesem Zeitpunkt noch nicht zu erkennen. Vielmehr verdeutlichen sich die Anzeichen fortschreitender Sukzessionsprozesse, was auch im Anstieg der Gehölzbedeckung im Vergleich zum Jahr 2004 festzustellen ist.

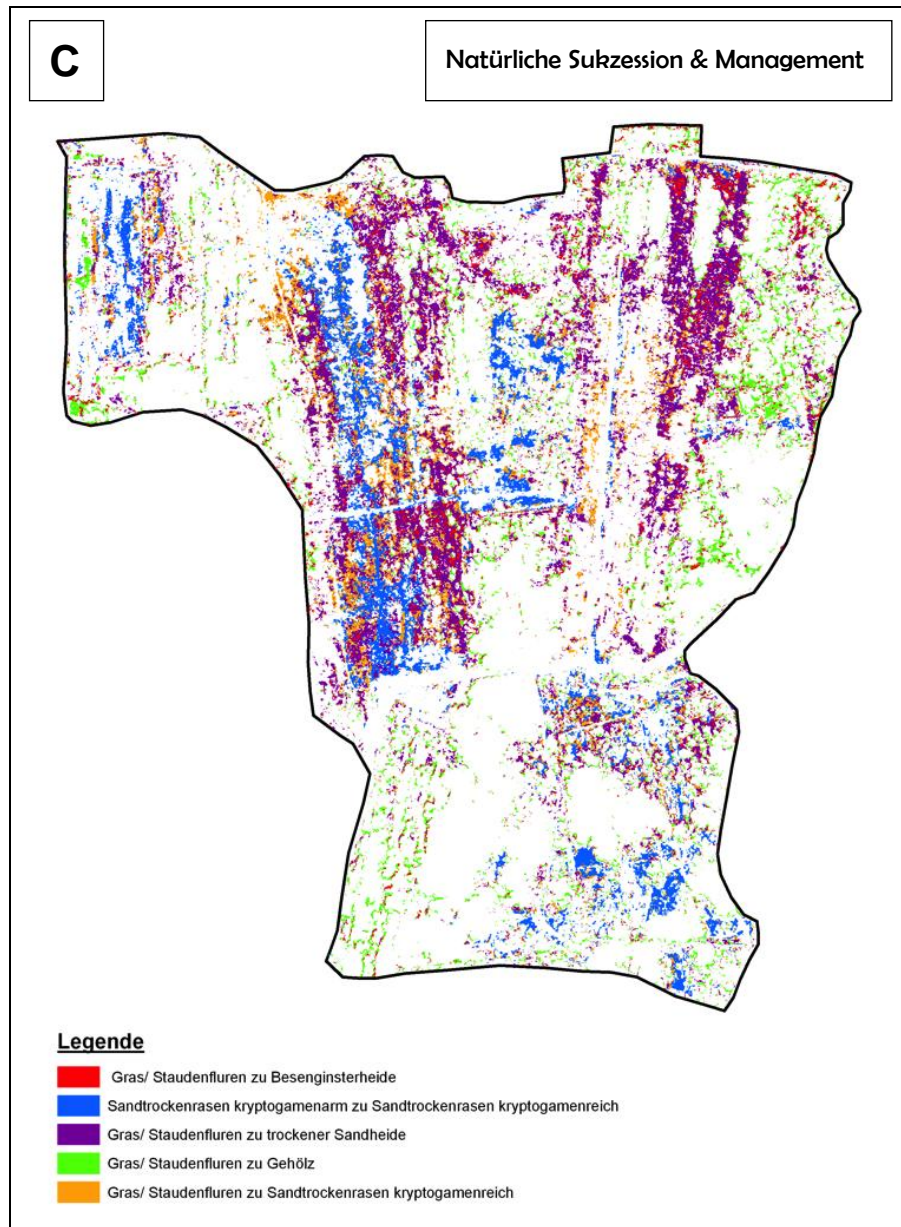


Abbildung 3.6f: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Nordheide

Eine Zunahme von Anteilen offener Böden ist wiederum entlang von Wegen sowie zwischen den Zaustrassen der Wildniskernzone im südlichen Bereich des Untersuchungsgebietes zu erkennen. Mit den abgeleiteten Veränderungsklassen lassen sich in der Nordheide keine homogenen Flächen einheitlicher Konversionsvorgänge identifizieren. Es treten hauptsächlich fragmentierte Bereiche mit Gehölzabnahmen und Rückgang von Heiden auf. Dabei muss sich der Deckungsgrad von *Calluna vulgaris* nicht verringern, sondern das spektrale Signal kann durch eine zunehmende Durchdringung mit Gräsern oder Stör- und Eutrophierungszeigern beeinflusst sein.

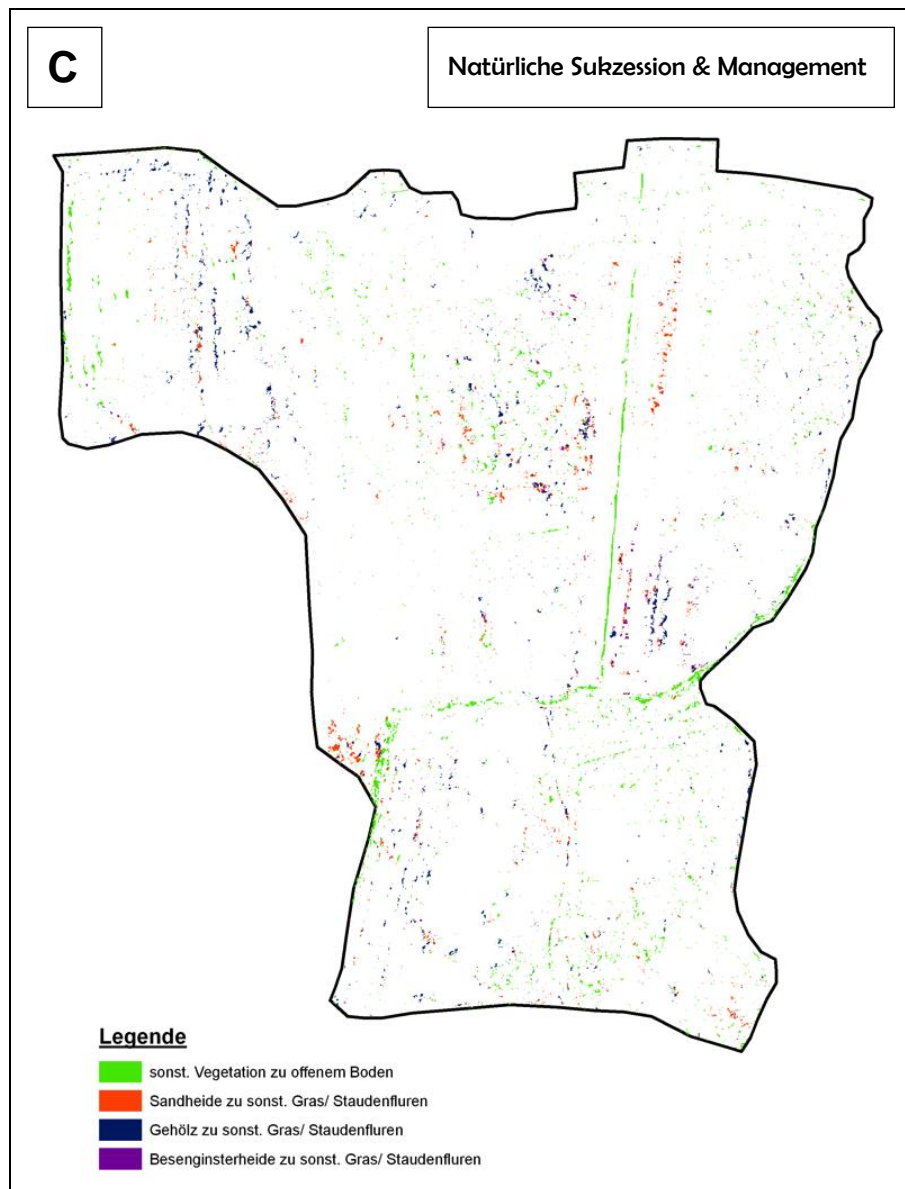


Abbildung 3.6g: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Nordheide

In den Untersuchungsgebieten Wüste (Abb. 3.6h und 3.6i) und Plettenberg (Abb. 3.6j und 3.6k) können die gleichen Prozesskomplexe wie in den zuvor beschriebenen Gebieten identifiziert und räumlich dargestellt werden. Besonderheiten sind die weiträumig verteilte Gehölzunahme im UG Plettenberg, eine deutlich ausgeprägte Tendenz zur Vergrasung bzw. Durchdringung mit Stör-/Eutrophierungszeigern älterer Heidestandorte sowie die Schaffung größerer Flächen offenen Bodens auch außerhalb befahrener Wege in beiden Untersuchungsgebieten.

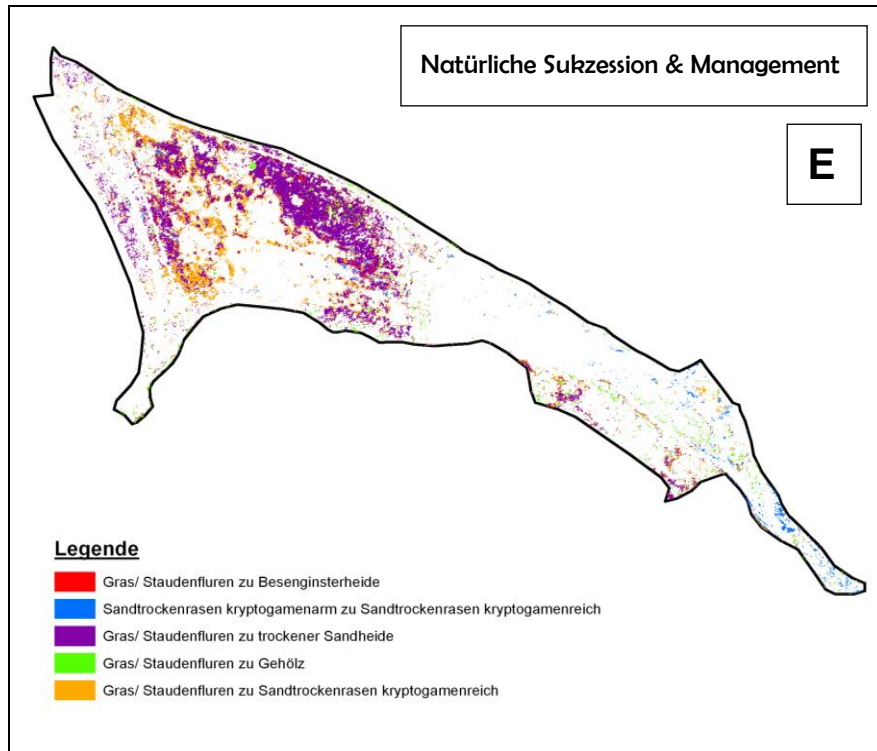


Abbildung 3.6h: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Wüste

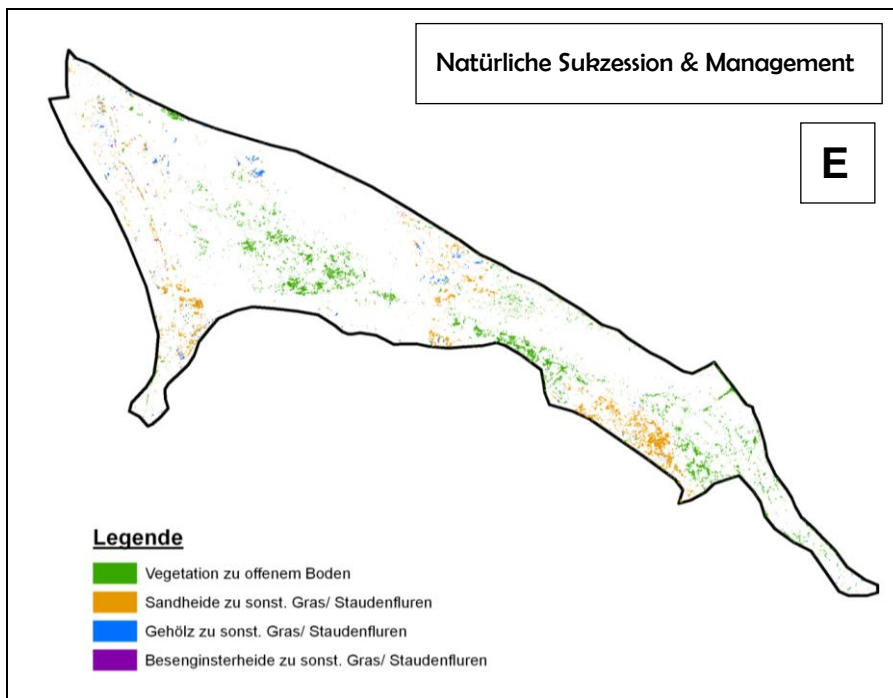


Abbildung 3.6i: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Wüste

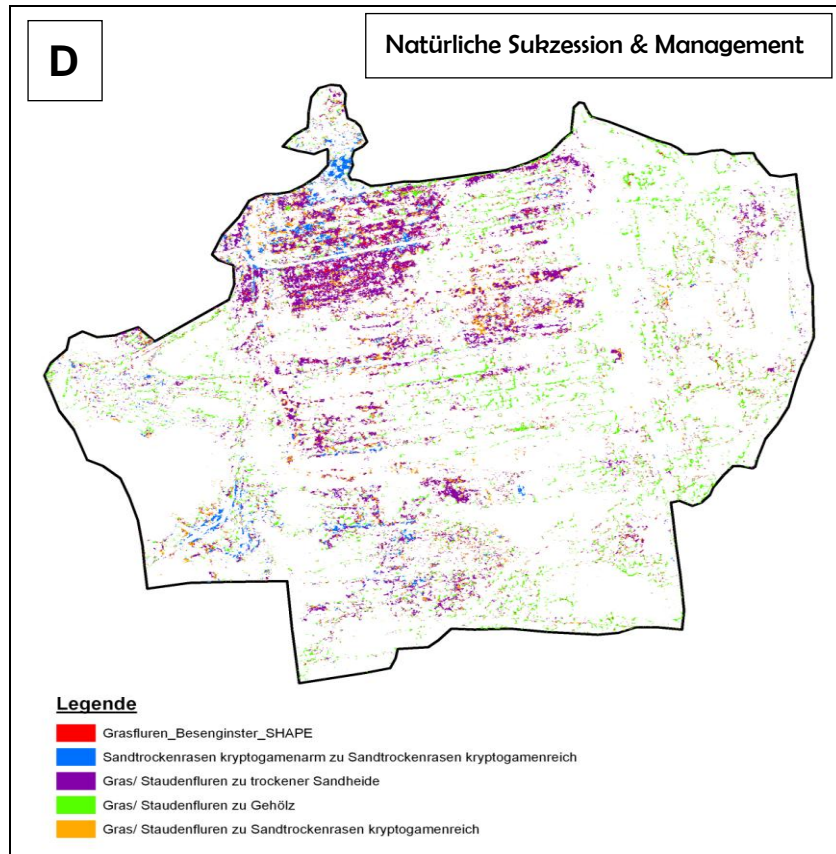


Abbildung 3.6j: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Plettenberg

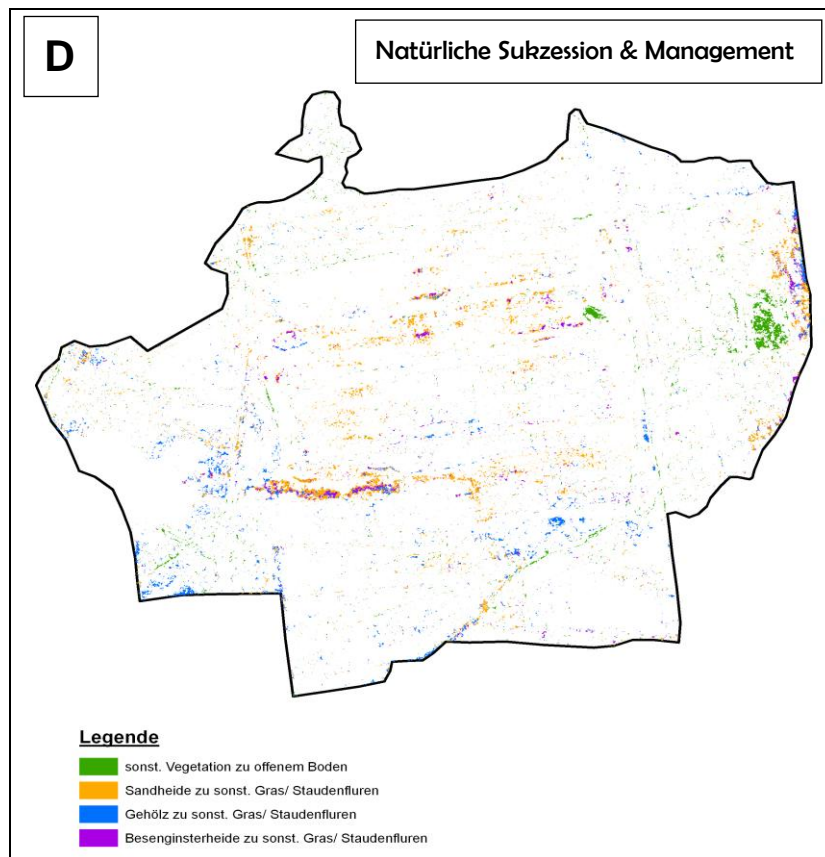


Abbildung 3.6k: Veränderungen 2004 zu 2010 im UG Plettenberg

Zusammenfassend konnten für sämtliche ausgewählten trockenen Offenlandstandorte die definierten Konversionskategorien flächenhaft dargestellt und mit Geländekenntnissen zur Übereinstimmung gebracht werden. Es zeigte sich überdies eine Korrelation zu den spektralen Bewertungsstufen der beiden Untersuchungsgebiete aus dem Hyperspektralansatz. Eine analoge Bewertung von FFH-Lebensraumtypen auf Basis dieser vorgenommenen Veränderungsanalysen ist jedoch nicht möglich, da sich die Veränderungen weder auf einen bestimmten Typus beziehen noch Aussagen über konkrete Artenverteilungen zulassen. Die abgeleiteten Konversionskategorien können lediglich einen Hinweis auf Entwicklungsvorgänge ohne Bezug auf räumliche Artenverteilungen geben. Dennoch zeigt die Analyse, dass der Vergleich von Klassifikationsergebnissen aus dem SARA'04 Projekt wichtige Informationen über die Vegetationsdynamik für ein Monitoring zur Verfügung stellen kann. Eine Spezifikation von tatsächlichen Beeinträchtigungen auf Grundlage von Artdichten und naturschutzrechtlichen Kategorien ist den hyperspektralen Fernerkundungsverfahren aufgrund ihres höheren spektralen Informationsgehaltes vorbehalten.

3.7 Habitatanalysen von Tierarten

Analyse der Habitatqualität und der Habitatnutzung von ausgewählten Zielarten¹²

Die Auswertung der räumlich und spektral höchst aufgelösten Fernerkundungsdaten in Kombination mit den Ergebnissen der Vegetationsuntersuchungen im Gelände führt zu raumbezogenen Klassifikationsergebnissen, die von fachlich qualifiziertem Personal ähnlich wie eine Karte gelesen werden können. Eine höhere Abstraktion kann z.B. durch die Ableitung von Flächengrößen bestimmter Lebensraumtypen oder von Kantenlängen der identifizierten LRT-Polygone erzielt werden. Diese quantitativen Angaben eignen sich insbesondere für die Beurteilung von Entwicklungsprozessen im Verlauf von mehreren Jahren/Jahrzehnten. Die Zahl der (zeitlichen) Stützstellen wird dabei insbesondere von der Verfügbarkeit der Satellitendaten sowie von den personellen / finanziellen Mitteln bestimmt. Sinnvoll erscheint ein Takt, der sich dem Rhythmus der FFH-Berichterstattung annähert (3 Jahre, 6 Jahre).

Für die naturschutzfachliche Praxis werden vereinfachte Darstellungen für die betrachteten Lebensraumtypen notwendig, wobei die Klassifikationsergebnisse auf die wesentlichen Aussagen reduziert werden. Das lässt sich zum Beispiel durch die Maskierung unerwünschter Informationen mit geeigneten GIS-Werkzeugen (z.B. Landscape Metrics) und eine gut verständliche Legende realisieren. Weitere Fragen sind die Ermittlung / Darstellung von Änderungen gegenüber „älteren“ Gebietszuständen und die Visualisierung von Hinweisen auf die Änderung der Ausprägung von Lebensraumtypen bzw. auf die Verschlechterung des Gebietszustandes. Im Hintergrund sind stets die Prozesse der Landschaftsentwicklung und der Einfluss der Herbivoren.

Auswertungen hinsichtlich der räumlichen Vernetzung der einzelnen Vorkommen von naturschutzfachlich wertvollen Lebensraumtypen stellen eine weitere Form der Landschaftsanalyse dar. Sie zielen auf einen intakten „Biotopverbund“ und die grundsätzliche Erhaltung mosaikartiger Strukturen bzw. von funktionsfähigen Metapopulationsstrukturen im Großschutzgebiet. Mit diesen, aus Vegetationsuntersuchungen und Fernerkundungsdaten abgeleiteten Informationen stehen wichtige Basisin-

¹² Auszug aus dem Sachstandsbericht (12.2010), aktualisiert.

formationen für die Analyse der Habitatqualität und der Habitatnutzung von ausgewählten Zielarten zur Verfügung.

Die weitere Umsetzung des Konzeptes erfolgt im Rahmen von verschiedenen akademischen Qualifikationsarbeiten, vor allem im Rahmen der Promotionsvorhaben von Frau Luft und Herrn Neumann (Anlage QUAL). In Zusammenarbeit mit Spezialisten wurden zunächst zwei exemplarische Zielarten benannt – die Zauneidechse (*Lacerta agilis*) und der Eisenfarbige Samtfalter (*Hipparchia statilinus*).¹³

Habitatmodellierung der Indikatorart Eisenfarbiger Samtfalter (*Hipparchia statilinus*) auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten

Mit den im DBU-Projekt entwickelten spektralen Monitoringverfahren soll das Monitoring in der Döberitzer Heide durch die Nutzung von Fernerkundungsdaten erleichtert werden. Bisher konzentrierte es sich dabei hauptsächlich auf die spektrale Analyse von Pflanzengesellschaften. In der Vegetationsperiode 2011 wurde dieser Ansatz erweitert und die auf Spektralanalysen basierenden Zustandsbeschreibungen von Vegetationseinheiten zur Ableitung von Habitatqualitäten für faunistische Zielarten genutzt. In den vonangegangenen Kapiteln wird die Anwendung für die die spektrale Analyse der Vegetation beschrieben. Hier soll die Anwendung des Verfahrens für die Habitatanalyse von Tierarten vorgestellt werden.

Als Zielart wurde der Eisenfarbige Samtfalter *Hipparchia statilinus* (Hufnagel, 1766) gewählt. Diese Art zeigt in ihrer aktuellen sowie prognostizierten Verbreitung Schwerpunkte in Brandenburg (Settele et al. 2008). Sie gehört zu den am stärksten bedrohten Tagfalterarten Deutschlands (BArtSchV: streng geschützt), weist in Brandenburg jedoch mit dem Status 1 der Rote Liste (vom Aussterben bedroht) einen geringeren Gefährdungsgrad auf, als in den meisten anderen Bundesländern. Aufgrund seiner Lebensweise ist der Samtfalter stark an großflächige offene Sandtrockenrasen mit Silbergras-Pionierfluren gebunden und kann daher als Indikator für den intakten Zustand des Lebensraumtyps 2330 (nach Biotopkartierung Brandenburg) genutzt werden. Für die Döberitzer Heide kann auf eine außergewöhnlich gute Datengrundlage (Jahre 1993-2011) zurückgegriffen werden (pers. Mitteilungen: Klaus Dörbandt, Jörg Fürstenow, Matthias Kühling, Bernd Schulze).

Methodik

In der Vegetationsperiode 2011 wurde ein spektrales Monitoring-Verfahren erweitert und für die Ableitung von Habitatqualitäten für faunistische Zielarten genutzt. Als spektrale Grundlage für die Entwicklung des Modellierungsansatzes wurden hierfür Klassifikationsergebnisse des Jahres 2010 genutzt. Entsprechend der Lebenszyklusparameter des Samtfalters wurden drei Vegetationsklassen als potentielle Habitate selektiert (Klassendefinition nach SARA 04, LUP GmbH): „Offener Boden“, „Silbergrasfluren“ und „Sandtrockenrasen kryptogamenreich“. Diese drei Klassen wurden als potentielle Habitate zusammengefasst.

Die Gesamtfläche des Untersuchungsgebiets (Grenzen des FFH-Gebiets, ausschließlich der Wildniskernzone und des Standortübungsplatzes) wurde mit einem 100x100m-Gitternetz überlagert. Je nach Deckungsgrad der potentiellen Habitate wurde jeder Rasterzelle eine Vorkommenswahrscheinlichkeit (in vier Klassen unterteilt) zugewiesen. Ein Deckungsgrad von 0-5% entsprach dabei einer sehr geringen

¹³ Die Darstellung im Abschlußbericht beschränkt sich auf die zweitgenannte Art.

Vorkommenswahrscheinlichkeit. 5-15% bedeuteten eine geringe, 15-40% eine mittlere Vorkommenswahrscheinlichkeit. Deckungsgraden ab >40% wurde eine hohe Wahrscheinlichkeit zugewiesen. Pro Wahrscheinlichkeitsklasse wurden per Zufall vier Rasterzellen ermittelt. Diese insgesamt 16 Rasterzellen von je 100x100m Größe wurden in der Vegetationsperiode 2011 im Gelände untersucht. In Abbildung 3.7a ist die Übertragung der schwellenwertbasierten Habitatdefinition in räumliche Verteilungen von Wahrscheinlichkeitsklassen im Raster geplanter Geländeobservationen dargestellt. Es können ebenfalls die per Zufallsgenerator ausgewählten Flächen für faunistische Kartierungen entnommen werden.

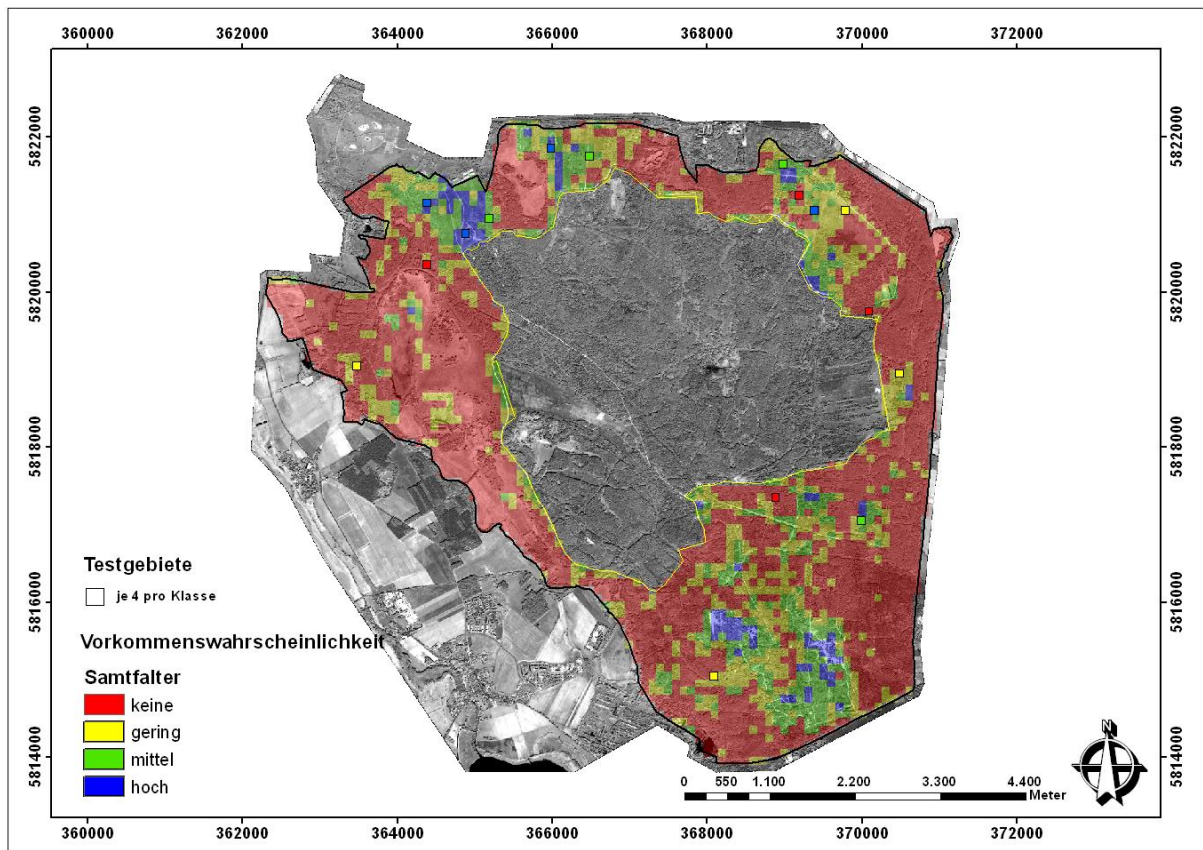


Abbildung 3.7a: räumliche Verteilung von Wahrscheinlichkeitsklassen und ausgewählter Kartier-Quadranten für Samtfalterhabitate in der Döberitzer Heide ohne Wildniskernzone

Ziel war es hierbei, festzustellen, inwiefern die theoretisch ermittelten Habitatqualitäten (repräsentiert durch die unterschiedlichen Vorkommenswahrscheinlichkeiten) den tatsächlichen Vorkommen der Art im Gelände entsprechen. Durch regelmäßige (ca. alle 3-5 Tage) Begehungen an bekannten Fundorten der letzten Jahre wurde der Zeitpunkt der maximalen Flugaktivität der Zielart ermittelt. Im Zuge von Rundschreiben wurde das Interesse von Experten und Studenten geweckt, die sich bereit erklärten, als Kartierer tätig zu werden. Die Geländeerfassung erfolgte bei geeigneten klimatischen Gegebenheiten (mind. 25 °C, windstill, sonnig). Jede Kartiergruppe wurde hierbei mit einer Übersichtskarte der Untersuchungsflächen, den Koordinaten der zu untersuchenden Flächen sowie Luftbildern der Rasterzellen ausgestattet, um das problemlose Auffinden der Flächen im Gelände zu gewährleisten. Zudem wurden bekannte Habitate der vergangenen Jahre begangen.

Ergebnisse

Insgesamt konnten nur (!) 14 Exemplare der Zielart *Hipparchia statilinus* sowie Exemplare der verwandten Art *Hipparchia semele* im Untersuchungsgebiet *nachgewiesen* werden. Hinsichtlich der Klasseneinteilung konnten die Funde Flächen „mittlerer“ und „hoher“ Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden. Bei den Habitaten der „sehr geringen“ und „geringen“ Vorkommenswahrscheinlichkeiten erwies sich meist der Anteil an Gräsern bzw. Vorwaldstadien oder der Verbuschungsgrad als zu hoch, um Vorkommen der Zielart dort ermöglichen zu können.

Ausblick

Die bisherigen Erkenntnisse werden in die Anpassung der Methodik für die Verwendung bei weiteren Untersuchungen einfließen. Im Jahr 2012 wird der Modellierungsansatz in den Promotionen Luft und Neumann fortgesetzt werden. Es ist geplant, die Ergebnisse des im Projekt entwickelten ordinalen Monitoring-Verfahren von Trockenstandorten zu verwenden und weitere Modifikationen der Methodik hinsichtlich der Wahl der potentiellen Habitate durchzuführen. Zudem sollen weitere Zielarten (z.B. Zauneidechse *Lacerta agilis*) untersucht werden. Eine Publikation der Ergebnisse beider Vegetationsperioden ist für das Jahr 2012 geplant.

Zusammenfassung

Die Nutzung von Fernerkundungsdaten für ein faunistisches Monitoring ermöglicht es, die Methodik stets anpassbar und in einem gewissen Grad flexibel zu halten. Dies ist besonders in Wildnisgebieten wie der Döberitzer Heide von großer Bedeutung, da diese verschiedenen Dynamiken unterliegen (Sukzession, Einfluss der Megaherbivoren sowie Klimaänderungen). Durch ein Monitoringverfahren, das an diese Dynamiken angepasst werden kann, ist die Aktualität und Effizienz des Ansatzes gewährleistet. Die Anwendung des hier präsentierten Modellierungsansatzes hat sich als geeignete Möglichkeit erwiesen, das Monitoring in der Döberitzer Heide zu verbessern und wird durch weitere Anpassungen in der Vegetationsperiode 2012 noch effektiver gestaltet werden.

3.8 Abschätzung der Folgekosten im Routinebetrieb

Durch den inzwischen vollständigen Abschluss der Projekte „SARA-EnMAP“, „CARE-X“ und des DBU-Projektes 26257 bestehen ab 2012 die notwendigen Voraussetzungen für eine abgestimmte Beschreibung der wichtigsten Algorithmen von der Auswertung der räumlich und spektral hoch aufgelösten Satellitendaten mit standardisierten Klassifikationsroutinen bis zur Überführung der Ergebnisse in die oben skizzierten, naturschutzfachlichen Anwendungsbereiche.

Vor allem im Rahmen des Promotionsvorhabens von Frau Luft (Anlage QUAL) werden Standardprozeduren für die einzelnen Arbeitspakete (Module) beschrieben und in geeigneter Form übersichtlich abgebildet (Tabellen, Flussschemata). In Zusammenarbeit mit den beteiligten Ingenieurbüros (ecostrat GmbH, Luftbild Umwelt Planung GmbH, Natur & Text in Brandenburg GmbH) werden plausible Kostenschätzungen vorgenommen. Dabei erfolgt ein Abgleich mit den üblichen Bezugssystemen zur Vergütung von qualifizierten Fachdienstleistungen (HOAI und gleichwertige Honorarordnungen) und nicht zuletzt mit den potenziellen Auftraggebern.

3.9. Infrastrukturelle Projektergebnisse

3.9.1 Messtechnik, Hard- und Software, Geodaten ¹⁴

Das Deutsche Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) verfügt über eine Ausstattung mit drei Feldspektrometern der Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, U.S.A. (ASD) vom Typ „FieldSpec Pro“. Trotz des erheblichen Nutzungsdruckes (vor allem bei idealen, wolkenlosen Aufnahmebedingungen) stand regelmäßig eines dieser Messgeräte für die Geländearbeiten im DBU-Projekt 26257 zur Verfügung (Vegetationsperioden 2008 und 2009). Die Bedienung erfolgte ausschließlich durch Fachpersonal des GFZ. Inzwischen wurden von der TU Berlin und von der Universität Potsdam zwei weitere Feldspektrometer angeschafft, so dass sich der Nutzungsdruck ab der Vegetationsperiode 2010 breiter verteilte und weiteres Fachpersonal eingesetzt werden konnte.

Trotz dieser Entspannung an der gerätetechnischen Basis soll die Suche nach Alternativen erwähnt werden. Die Aufnahme von Reflexionsspektren im konkreten Geländekontext ist eine essentielle Voraussetzung für die Fernerkundung von Vegetationseinheiten. Schutzgebietsverwaltungen, Behörden und die meisten Ingenieurbüros sind allerdings mit den hohen Anschaffungskosten für ASD-Feldspektrometer überfordert (ca. 50 TEUR zzgl. MwSt.). Alternative Produkte sind auf dem europäischen Markt (z.B. CORONA, FIGOS), bieten aber nicht die erforderliche spektrale Auflösung. Um die Möglichkeiten für eine zweckentsprechende Eigenentwicklung auszuloten, fand am 26.01.2009 ein erstes Gespräch mit dem Zentrum für Photonik der Universität Potsdam (c/o Prof. Hans-Gerd Löhmannsröben, Institut für Chemie) sowie mit Industriepartnern (Optimare GmbH) statt.

Die notwendigen Arbeitsplätze wurden 2008 vollständig mit Hard- und Software ausgestattet und stehen seitdem für die Nutzung durch die Projektmitarbeiter und die studentischen Hilfskräfte zur Verfügung. Für den Fujitsu-Siemens-Server und die eCognition-Lizenz besteht ein exklusives Nutzungsrecht (Eigenanteil). Von der im Projekt essentiellen Bildauswertungssoftware ENVI RT 4.5 wurden zwei Lizenzen erworben. Mit dem Institut für Geowissenschaften der Universität Potsdam wurde am 20.01.2009 eine kostengünstige Nutzungsvereinbarung über zwei Arbeitsplatzlizenzen des higher education kit von ERDAS Imagine abgeschlossen. Darüber hinaus wurden weitere kostengünstige Campuslizenzen genutzt (ArcGIS 9.3, Photoshop CS4, u.a.). Von den Projektpartnern verfügte lediglich das Deutsche Geoforschungszentrum Potsdam (GFZ) über eine entsprechende Softwareausstattung. Alle Projektpartner sind aber durch eigene GIS-Lizenzen in der Lage, raumbezogene Informationen effizient auszutauschen.

Tabelle 3.1a zeigt eine vollständige Übersicht der verfügbaren Luftbild- und Satellitendaten. Amtlich georeferenzierte, digitale topographische Karten (DTK-10) liegen flächendeckend und mit hoher Aktualität vor.

¹⁴ Übernahme aus dem Zwischenbericht (12.2009), aktualisiert.

3.9.2 GIS-Datenbank

Gleich zum Beginn des DBU-Projekts 26257 wurde eine GIS-Datenbank (Geoinformationssystem) zur Verwaltung der relevanten Datenbestände angelegt und kontinuierlich mit sämtlichen relevanten Daten, Datenderivaten und Informationen von Projektpartnern und kooperierenden Projekten ergänzt.

Neben den bereits vorhandenen Datenbeständen der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH flossen Ressourcen des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (LUGV) in die Datenbank ein, soweit dem nicht behördeninterne Versagungsgründe entgegenstanden. Aus dem BMBF-Projekt „Offenland-Management auf ehemaligen und in Nutzung befindlichen Truppenübungsplätzen - Naturschutzfachliche Grundlagen und praktische Umsetzung“ (Förderkennzeichen 01 LN 0008, Laufzeit: 06.2000 bis 11.2003) konnten mit freundlicher Genehmigung der ehemaligen Projektleitung (Universität Potsdam, Prof. Asche, Prof. Wallschläger) ebenfalls Datenbestände übernommen werden. Zudem erfolgte ein Austausch von Felddaten und Prozessierungsergebnissen, die im Rahmen der Projekte SARA'04 und SARA-EnMAP der Luftbild Umwelt Planung GmbH (LUP) sowie des CARE-X Projektes der Technischen Universität Berlin generiert worden sind.

Die GIS-Datenbank beinhaltet folgende Daten:

- Luft- und Satellitenbilder des Untersuchungsgebiets
- Dauerbeobachtungsflächen, Untersuchungspunkte und Transekte
- Schutzgebietsabgrenzungen
- Luftbildinterpretationen und terrestrische Biotopkartierungen verschiedener Zeitpunkte
- Digitales Geländemodell
- Faunistische Kartierungen
- Abiotische Parameter (pH-Werte)
- Daten aus anderen Projekten im gleichen Untersuchungsgebiet

Die GIS-Datenbank erwies sich im Projektverlauf als sehr wertvolles Instrument.

Die „Masterversion“ am GFZ erfuhr eine regelmäßige Datensicherung. Kopien des kompakten Verwaltungssystems wurden außerdem regelmäßig an die Projektpartner verteilt und ermöglichten somit eine dezentrale Nutzung der raum- und kontextbezogenen Arbeitsgrundlagen.

Der letzte Arbeitsstand wird der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH nach Projektabschluss zur weiteren Nutzung und Verwaltung übergeben. Er enthält die Daten aus beiden Phasen des DBU-Projektes 26257, aus den laufenden Promotionsvorhaben von Frau Luft und von Herrn Neumann, aus der Diplomarbeit von Josefine Wenzel (Universität Potsdam, Bodenkartierungen in der Döberitzer Heide), aus der Weiterentwicklung der Spektralbibliothek (siehe folgendes Teilkapitel) sowie aus der laufenden Anpassung der Methoden und Ergebnisse der Fernerkundung an die Anforderungen des Naturschutzes und der Landschaftsplanung.

3.9.3 Spektralbibliothek

Ein besonderer Schwerpunkt im Projekt lag in der Entwicklung und Bereitstellung einer Spektraldatenbank, in der die im Projekt erhobenen Geländespektren der Vegetationseinheiten zur Weiterverwendung in anderen Projekten zur Verfügung gestellt werden.

Angesichts der hohen Bedeutung von Begleitinformationen zur Ausstattung und zum Zustand der untersuchten Fläche ist ein hoher Aufwand betrieben worden, um ein schlüssiges und erweiterbares Konzept der Datenbank zu entwickeln.

Die Spektraldatenbank SPECLIB (Spectral Library) basiert auf dem objekt-relationalen Datenbankmanagementsystem PostgreSQL 8.4. Die Anfragesprache ist SQL. Eine Erweiterung für räumliche Abfragen (PostGIS 1.4) ermöglicht die Speicherung von räumlichen Daten sowie räumliche Anfragen gemäß OpenGIS Standard. Sie ist auf einem Server im Helmholtz-Zentrum Potsdam GFZ installiert und kann mit Hilfe einer Clientsoftware (SPECLIB-Client) von externen Plattformen aus benutzt werden. Der Client stellt eine Benutzeroberfläche mit verschiedenen Eingabemasken zur Bedienung der Datenbank zu Verfügung, was eine Bedienung der Datenbank ohne Kenntnisse einer Datenbankabfragesprache ermöglicht. Das funktioniert über die automatische Wertzuordnung, die die Semantik des SPECLIB-Datenmodells bedient. Der SPECLIB_Client unterstützt so das Einfügen von Daten, das Anzeigen von Datenbanktabellen, das Ändern und Löschen von Daten, sowie die Suche nach spezifischen Spektren mit besonderen Merkmalen. Die Client Software ist eine Windows Anwendung (2,65MB), die ohne vorherige Installation läuft und .NET Framework 3.5 und SQL über Npqsql (Datenbanktreiber) erfordert.

Die relationale Datenbank gliedert sich in drei Bereiche - die Kerntabellen, die Klassifikationstabellen und die Klassifikationsschlüsseltabellen (vgl. Datenbankschema in Anlage SP2, Übersicht in Abb. 3.9.3a), die jeweils durch ein eigenes Datenbankschema repräsentiert werden.

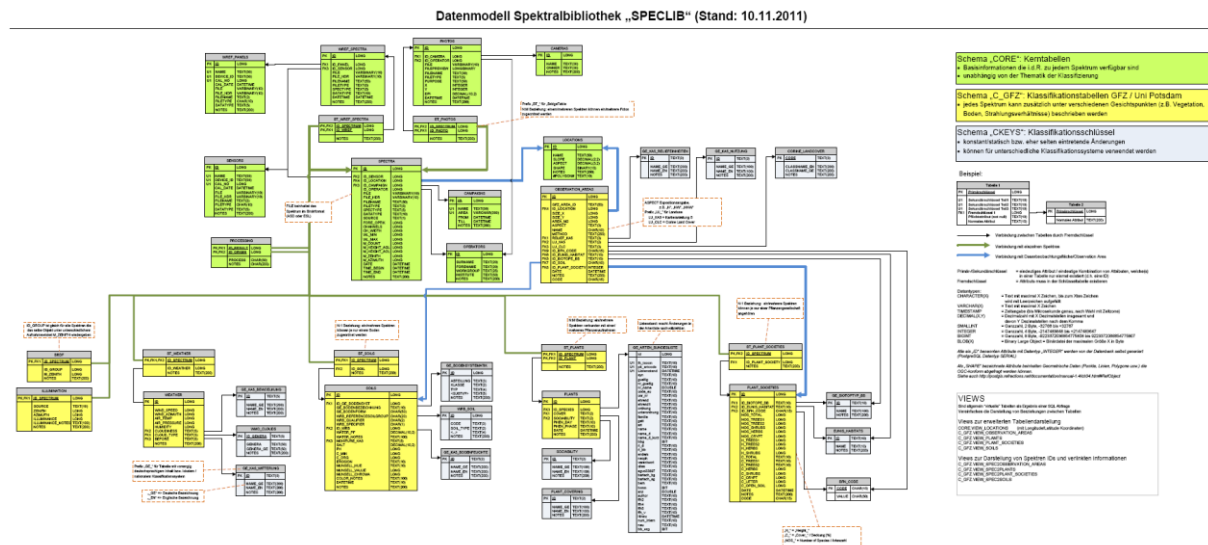


Abbildung 3.9.3a: Übersichtsdarstellung des Datenbankschemas von SPECLIB (vgl. Anlage SP2)

Die Kerntabellen CORE (grün im Datenbankschema) enthalten die aufgenommenen Spektren sowie alle wichtigen Grundinformationen zu den Spektren, wie Angaben zum verwendeten Sensor, die Weißreferenzspektren, den Aufnahmeort und Fotos zur Dokumentation. Die in den Kerntabellen enthaltenen Informationen sind unabhängig von der Thematik der Klassifizierung, für die die Spektren herangezogen werden sollen und für die den Spektren Klassifikationsmerkmale zugeordnet werden können.

Das geschieht in den Klassifikationstabellen C-GFZ (gelb im Datenbankschema). Sie erlauben die Zuordnung erweiterter Informationen zu den in CORE aufgenommenen Spektren, indem jedes Spektrum unter verschiedenen Gesichtspunkten (z.B. Vegetation, Boden) beschrieben wird. Dazu können neben freiem Text auch spezifische Klassifikationsschemata genutzt werden. In die Erarbeitung der im Schema C_GFZ

aufzunehmenden Eigenschaften sind in Zusammenarbeit von GFZ Potsdam, der Uni Potsdam und der TU Berlin die Expertisen zur Erfassung und Verarbeitung von Feldspektren in Hyperspektraldatenanwendungen und zur Vegetationskartierung eingeflossen. Es besteht die Möglichkeit, die Klassifikationstabellen je nach Wünschen des Datenbanknutzers und Forschungsschwerpunkt durch weitere Klassifikations- und Beschreibungsaspekte zu erweitern. Neue Aspekte werden innerhalb der Relationen eines neuen Schemas definiert und in die Datenbank eingefügt. Hier ist beim Übertrag auf andere Regionen und Aufgabenfelder erneut gedankliche Vorarbeit notwendig.

Bei den Klassifikationsschlüsseltabellen CKeys (grau im Datenbankschema) handelt es sich um Auszüge aus allgemein zugänglichen und verwendeten Klassifikationsschlüsseln (Bodeninformationen der KA5, Biotoptypenkartierung des Landes Brandenburg u.ä.). Es sind meistens statische Werte, die selten Änderungen unterliegen. Sie sind für unterschiedliche Klassifikationsziele in der Datenbank verwendbar, also nicht an bestimmte C-GFZ gebunden. Geänderte Nutzeranforderungen durch anders geartete Klassifikationsziele in Nachfolgeprojekten können die Integration neuer CKeys erfordern.

Eingabe der Begleitinformationen

Für die Arbeit im Gelände wurde ein Excel-Protokoll entwickelt, das automatisch in die Datenbank eingelesen werden kann. Hier werden hauptsächlich die veränderlichen Metainformationen wie, Witterung, Sonnenstand und Feuchtesituation verankert und an Messtermin und Beobachtungspunkt gekoppelt. Begleitet wird das durch die Definition der unveränderlichen Metainformationen zu dem Messpunkt, wie Bodentyp, Reliefsituation, Flächennutzungsklasse (Abbildung 3.9.3b). Sie müssen nur einmal für jeden Punkt eingegeben werden und sind über die Messpunkt-ID mit den veränderlichen Daten und den Spektren verknüpft.

Eingabe der Objektspektren

Die gemessenen Spektren lassen sich als ASD-Datei (Ausgabeformat des Feldspektrometers) oder ESL-Datei (Spektrenformat in ENVI) in die Datenbank aufnehmen. Zugehörig zu den originalen Spektren können Spektren, deren instrumentbedingten Gittersprünge korrigiert wurden (Jump korrigierte), und Spektren, die auf die spektrale Auflösung des HyMap Spectral Airborne Scanners (HyMap Resampled) umgerechnet wurden, eingelesen werden. Die Spektren innerhalb einer Zeile werden nach dem Einfügen in die Tabelle CORE.SPECTRA in der Tabelle CORE.PROCESSING miteinander verknüpft, wodurch deutlich wird, aus welchen Originalspektren die prozessierten Spektren hervorgingen. Das Einfügen von Fotos zur Detailansicht der Ausnahmesituation erleichtert die spätere Weiternutzung der Informationen.

Suche nach Spektren und Metainformationen

Auf die nutzerfreundliche Gestaltung der Suchfunktion nach in der Datenbank vorhandenen Spektren und ihren Metainformationen wurde besonders Wert gelegt. Es gibt verschiedene Möglichkeiten nach Spektren zu suchen. Unter „Komplexe Suche nach Spektren“ kann mittels verschiedener Suchoptionen gesucht werden. Außerdem besteht die Möglichkeit über „Suche in CORE.SPECTRA“ direkt in der Tabelle CORE.SPECTRA nach Spektren zu suchen. Sucht man Spektren zu einem bestimmten Observationsgebiet, kann die „Suche über C_GFZ.OBSERVATION_AREAS“ genutzt werden.

The image displays two screenshots of a web-based data entry interface for monitoring plots. The left screenshot shows the 'GFZ Beobachtungsfläche einfügen' form with fields for name, coordinates, and additional information. The right screenshot shows the 'GFZ Beobachtungsfläche einfügen' form with fields for location, plot ID, and detailed information about the plot, including soil and vegetation data.

Abbildung 3.9.3b: Beispiele für die Bedienoberfläche zur Eingabe der Informationen zur Beobachtungsfläche und ausgefülltes Formular

Im Falle der eigenen Nutzung der Datenbank im Projekt ist der Fall der Nutzung der CORE-Kerntabelle der häufigste. Orientiert an der Flächenbezeichnung des Standortes (z.B. 055a) können so die vorliegenden Spektren zu allen oder ausgewählten Aufnahmezeitpunkten aufgesucht und verglichen werden. Das wird ermöglicht durch die Verknüpfung mit einem Spectrum-Viewer.

Die nachfolgende Abbildung 3.9.3c zeigt im Überblick die Tabellenübersicht des Suchergebnisses, alle in der Datenbank vorliegenden Spektren im Vergleich, zwei Auszugsvergleiche zu vier bzw. zwei Spektren und die zugehörigen Geländefotos des Begrünungszustandes zum Aufnahmezeitpunkt. Der Vergleich der Spektren von 23. März und 30. Mai 2011 zeigt deutlich die Abwesenheit von Chlorophyll im März und die Dominanz der Reflexion im Wellenlängenbereich ab 2000nm durch Zellulose. Im Mai ist an der sich ausprägenden Bande im roten Licht zwischen 600 und 700nm der beginnende Aufbau von Chlorophyll nachzuvollziehen. Viel besser ist die Rotbande in den Kurven ausgeprägt, die in dem Vergleich von vier Kurven dargestellt sind. Auch hier ist die für Borstgrasrasen typische Zellulosebande fast bei allen Kurven sichtbar, die von der über große Teile der Vegetationsperiode dominanten Streu hervorgerufen wird. Lediglich in der Kurve vom 23. September fehlt die typische Bande, das Foto bestätigt das. Zu diesem Zeitpunkt ist das frische Grün im Spektrum überlegen.

Nicht realisiert werden konnte bisher die Verknüpfung zu einer GIS-Anwendung, um die Lage der Messpunkte über die Koordinateninformation gleichzeitig in einem GIS anzeigen zu können und zu Karteninformationen zu verknüpfen.

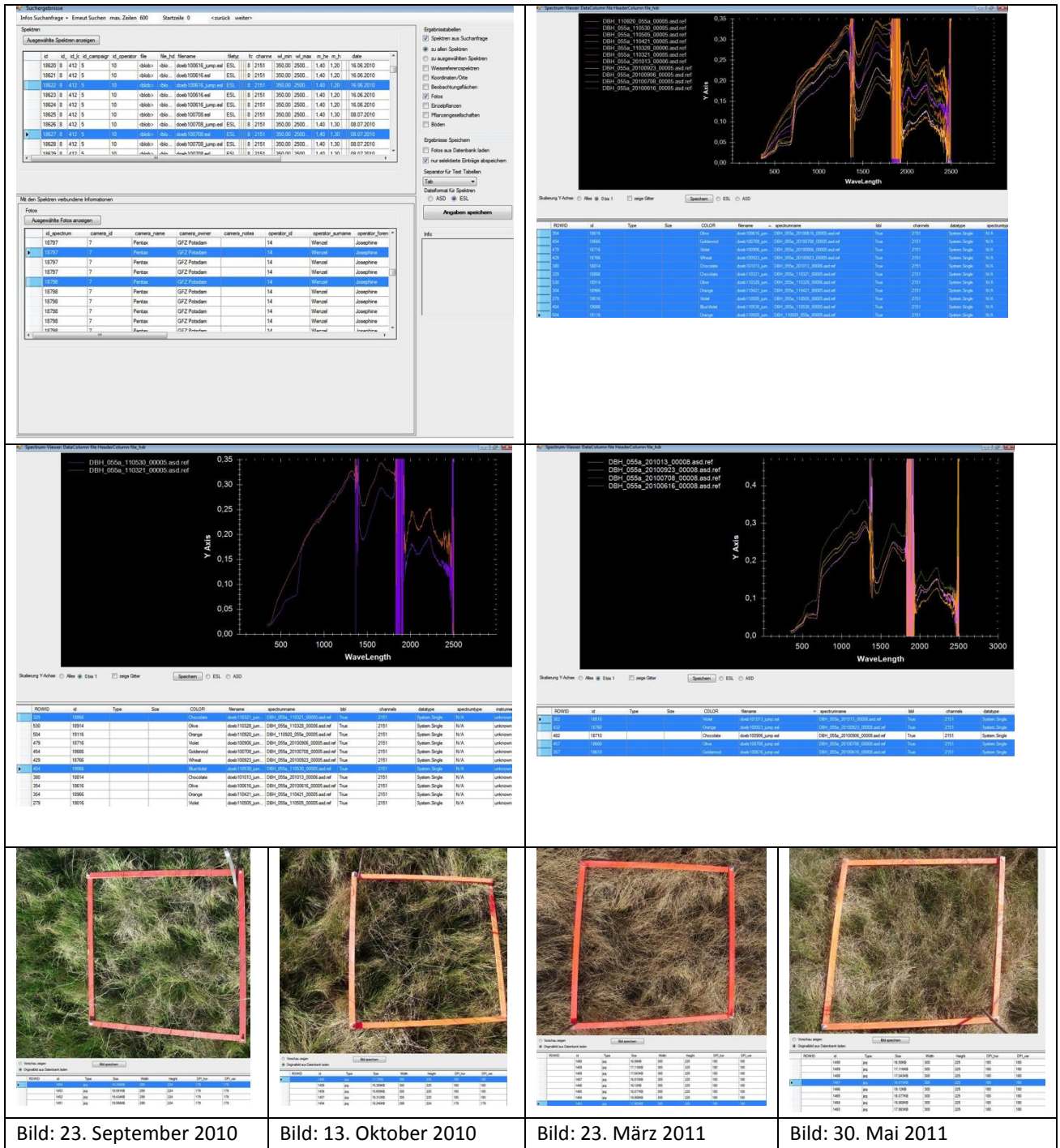


Abbildung 3.9.3c: Ansichten zum Suchergebnis nach allen Spektren der Jahre 2010 und 2011 für die Untersuchungsfläche 055a (Borstgrasrasen)

Die Datenbank wird zum 29. Februar 2011 freigeschaltet. Bis zu dem Zeitpunkt wird auch das Management der Zugriffsrechte geregelt sein. Vorgesehen ist die uneingeschränkte Möglichkeit zur Nutzung der enthaltenen Informationen. Das Einpflegen neuer Informationen wird zum Schutz der Datenbankqualität auf autorisierte Nutzer beschränkt werden. Das System wird in Zukunft von der Sektion Fernerkundung des Helmholtz-Zentrum Potsdam GFZ gepflegt und weiterentwickelt.

3.9.4 Literaturdatenbank

Für das DBU-Projekt 26257 wurde eine spezielle Literaturdatenbank angelegt und im Projektverlauf laufend erweitert. Die Verwaltung wurde von Frau Gerull (studentische Hilfskraft) übernommen.

Die Literaturdatenbank im Office-2003-Format (Excel) umfasste getrennte Datenbereiche für die drei hauptsächlichen Publikationstypen (Monographien/Sammelbände, Kapitel von Sammelbänden, Zeitschriftenartikel), jeweils mit den üblichen bibliographischen Feldern (z.B. Autorennamen, Erscheinungsjahr, Seitenzahl) und mit Angaben zum Standort der Kopien oder Originale. Die Zuführung der Daten erfolgte über die gesamte Projektdauer durch die beteiligten Projektmitarbeiterinnen und -mitarbeiter. Im November 2010 fand eine umfangreiche Literaturrecherche am Bundesamt für Naturschutz (BfN) statt, deren Resultate ebenfalls in die Datenbank einfließen.

Erfasst wurden die Themenbereiche:

- Hyperspektrale Fernerkundung
- Fernerkundung von Vegetationsstrukturen
- Klassifikation von Vegetationsstrukturen
- Landschaftsentwicklung, Sukzession, Renaturierung
- Landschaftspflege durch Beweidung
- Bioindikation, Monitoring, naturschutzfachliche Erfolgskontrolle

In regelmäßigen Zeitabschnitten wurden den Projektpartnern Kopien der Literaturdatenbank (Metadaten) übergeben. Zum Projektende erfolgt die Übergabe der Datenbank mit einem Umfang von 225 Kapiteln von Sammelbänden, 185 Monographien und 400 Artikeln aus Fachzeitschriften an die Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH zur weiteren Verwaltung und Nutzung. 80 Artikel konnten in digitaler und/oder analoger Form (Kopie) weitergegeben werden, ohne urheberrechtliche Vorschriften zu verletzen.

Mit dem BfN wurde bezüglich eines Nutzungsinteresses verhandelt (11.2010 – 04.2011). Die Integration der Literaturdatenbank aus dem DBU-Projekt 26257 in Datenbanken des BfN ¹⁵ könnte

- die Schnittstelle zwischen Forschung und angewandtem Naturschutz bedienen,
- ein im Naturschutz und in der Landschaftspflege etabliertes Literaturverwaltungssystem mit Onlineschnittstelle nutzen,
- das bundesweite Informationsbedürfnis (insbesondere an der aktuellen Literatur zur hyperspektralen Fernerkundung) befriedigen und
- die Nutzung der Daten über die Projektdauer hinaus gewährleisten.

Die Gespräche mit den Verantwortlichen der Bibliotheks- und Datenbankverwaltung des BfN verliefen zunächst sehr positiv. Mangelnde Kapazitäten (insbesondere Personalmangel) standen jedoch letztendlich der fachgerechten Realisierung (Datenabgleich und Datenintegration, Verschlagwortung, Beschaffung von Referenzexemplaren) im Wege.

¹⁵ Zum Beispiel die Dokumentation „Natur und Landschaft“ (DNL).

4. Diskussion ¹⁶

AB2 Floristische, vegetationskundliche und blütenökologische Untersuchungen an Dauerbeobachtungsflächen

Im gesamten Untersuchungsgebiet sowohl in trockenen als auch in feuchten Offenlandstandorten konnte nach vorwiegend floristischen und pflanzensoziologischen Kriterien die Vegetation auf 1x1-Meter-Einzelflächen vollständig aufgenommen werden. Dabei wurden zusätzlich Strukturparameter, wie Altersstadien, Vitalitätsgrade und Bodendeckungen beschrieben sowie naturschutzrechtliche Kategorien wie FFH-Erhaltungszustände und naturschutzfachliche Vegetationsklassifizierungen abgeleitet.

Sämtliche Aufnahmen sind in Tabellen eingebettet und zu den fernerkundlichen Verfahren (via automatischen Einleseroutinen) verknüpft. Des Weiteren wurden großflächig Dauerbeobachtungsflächen (30x30, 150x150, 60x420 Meter) eingerichtet und flächenhaft nach dem Brandenburgischen Biotoptypenschlüssel kartiert. Im Rahmen des Projektes konnte jedoch noch keine zielgerichtete Verknüpfung zu den spektralen Analysen geschaffen werden. Dennoch stellen diese Flächen ein großes Potential im Hinblick auf zukünftige Verfahrensschritte und neue Fernerkundungssensoren dar. So wird beispielsweise eine Validierung der entwickelten Methodik hinsichtlich der räumlichen Auflösung von Fernerkundungssensoren ermöglicht. Größere Bildelemente des in Zukunft operationell einsetzbaren EnMAP Satelliten können auf diese Weise auf ihre Eignung zur Vorhersage von Vegetationsstrukturen bereits im Vorfeld überprüft werden.

AB 3 Feldspektrometer-Beobachtung an Dauerbeobachtungsflächen zur Erfassung der spektralen Variation der Bestände im Verlaufe der Vegetationsperiode

Einen zentralen Punkt in der Projektbearbeitung stellte die Erfassung der spektralen Eigenschaften von Vegetationsbeständen zu den verschiedensten Zeitpunkten im Laufe der Vegetationsperiode mit Feldspektrometer dar. Einerseits bilden die daraus entstehenden Daten die Grundlage für die Verknüpfung von vegetationskundlicher und spektraler Information, andererseits sollten die Daten auch in einer Spektraldatenbank Nachfolgeprojekten zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt werden.

Letztlich konnten an den eingerichteten Dauerbeobachtungsflächen zahlreiche (> 100) Spektralaufnahmen getätigt werden. Dafür standen 3 Vegetationsperioden zur Verfügung. Der Projektbeginn in der Frühphase der Vegetationsperiode 2008 war für den Start der spektralen Beobachtung in dem Jahr leider schon zu spät. Der Sommer dieses Jahres musste für die Auswahl und vegetationskundliche Erfassung der Flächen genutzt werden, ein Beginn des Routinebetriebes für die Spektralbeobachtung setzte erst im folgenden Frühjahr ein.

Obwohl die Beobachtungspunkte systematisch gekennzeichnet wurden, begann das neue Meßjahr jeweils mit der Wiedereinrichtung der Flächen. Auch das verzögert den Einstieg in den Routinebetrieb jeweils geringfügig.

¹⁶ **Die Diskussion beschränkt sich auf die hier sinnvoll darzustellenden Arbeitsbereiche des Projektvorhabens** (siehe Kapitel 2.1). Die Feinplanung der Feldarbeiten (**AB1**) wurde vor Beginn der Vegetationsperiode 2009 begonnen und während der gesamten Projektlaufzeit fortgeführt. Die übernommenen Verpflichtungen zur Durchführung von Workshops und einer Abschlusstagung (**AB7**) wurden bzw. werden im Februar 2012 erfüllt (Anlage ATR). Die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vorgegebenen Pflichten zur schriftlichen Berichterstattung (**AB8**) wurden ebenfalls in vollem Umfang erfüllt (Zwischenbericht vom 21. Dezember 2009, Sachstandsbericht vom 6. Dezember 2010, dieser Abschlussbericht).

Die Begehung der Dauerbeobachtungspunkte in der Döberitzer Heide musste wegen der Munitionsreste und der freilaufenden Großtiere unter besonderen Sicherheitsmaßnahmen erfolgen. Die Zusammenarbeit bei der Ermöglichung einer uneingeschränkten Beprobung mit der Sielmanns Naturlandschaften GmbH war vorbildlich. Dennoch gab es gelegentlich aus Mangel an sicherheitsgeschultem Begleitpersonal keine Beprobung.

Wie in vielen Fernerkundungsprojekten, die optische Bild- und Feldinformationen verwenden, war allerdings die Witterung der ab stärksten begrenzende Faktor der Arbeit. Längere Pausen in der Anwendung der Feldspektrometrie gab es deshalb im Juli 2009, Mitte Juli bis Ende August 2010 und Juli bis Mitte September 2011. Auch die Frühjahre 2009 und 2010 gestalteten sich durch lange winterliche Bedingungen ungünstig, eine schöne Phase im April 2009 konnte durch die anderen genannten Einschränkungen zu Beginn der Vegetationsperiode nicht genutzt werden. Durch die Verlängerung des Projektes über die Vegetationsperiode 2011 konnte ein guter Teil der bis dahin entstandenen Ungunstphasen noch ausgeglichen werden. Gute Frühjahrsbedingungen verdichteten die Messreihe sichtbar. Auch wenn dann ein wenig geeigneter Sommer folgte, konnte auch im Herbst noch gemessen werden.

Der Messbetrieb wurde mit einer klar festgelegten Messvorschrift und einem detaillierten Protokoll so gestaltet, dass der Wechsel in dem Messteams sich über die Jahre nicht ungünstig auf die Qualität der Resultate auswirkte. Gleichzeitig standen auf diese Weise die nötigen Metainformationen für die Spektraldatenbank bereit.

Abschließend betrachtet kann die Arbeit mit der Feldspektrometrie als gelungen betrachtet werden. Die im Projekt gewonnene Zeitreihe der Beobachtungen der Spektraleigenschaften von Offenlandstandorten in der Döberitzer Heide wird den oben genannten Anforderungen gerecht und bildet eine solide Grundlage für weitere Arbeiten im eigenen Hause und in anderen Einrichtungen.

AB 4 Untersuchungen zum Potential hyperspektraler Fernerkundungsinformationen zur Differenzierung des Arteninventars (Flugzeugbefliegung mit Hyperspektralsensor zu zwei geeigneten Zeitpunkten innerhalb einer Vegetationsperiode; Auswertung der Daten der Flugzeugbefliegung und der fortlaufenden Feldspektrometer-Beobachtungen)

Der im Projekt erkannten und als Zielstellung formulierten Herausforderung einer Differenzierung des räumlich heterogen in Erscheinung tretenden Arteninventars der Döberitzer Heider mittels hyperspektralen Fernerkundungsdaten zu differenzieren wurde mit der Entwicklung eines innovativen Verfahrens erfolgreich begegnet. Erstmals konnte der Nachweis erbracht werden, dass Vegetationsstrukturen als Kontinuum erfasst und direkt in eine FFH-Erhaltungszustandsbewertung überführt werden können.

Die Verknüpfung von Verfahren aus der Ökologie, der Geostatistik, der Vegetationskunde und der Geofernerkundung erlaubte eine interdisziplinäre Synthese anerkannter Methoden zur Extrahierung von Vegetationszustandsmerkmalen. Unter Anwendung von spektralen und ökologischen Modellansätzen konnte auf Grundlage von umfangreichen Geländemessungen der Zusammenhang von spektralen Signaturen und Vegetationseigenschaften nachgewiesen sowie zur Vorhersage von Pflanzenarten, Strukturparametern, FFH-Lebensraumtypen und FFH-Bewertungskategorien auf hyperspektralen Luftbildern angewendet werden. Dabei konnte ein neues Verfahren zur Parametrisierung von Vegetationseigenschaften in ökologischen Ordinationsräumen eingeführt werden. Es wird damit erstmals möglich unter Anwendung von reproduzierbaren Funktionsvorschriften variable Aggregationen in Ordinationsräumen vorzunehmen und diese mittels spektraler Modelle auf digitale

Bilddaten vorherzusagen. Im Gegensatz zu existierenden Fernerkundungsverfahren werden dabei keine diskreten Klassen, sondern Abundanzen für Pflanzenarten, Anteile von Strukturparametern und Vorkommenwahrscheinlichkeiten für aggregierte Vegetationseinheiten in ihrer Gesamtheit für jedes Bildelement ausgegeben. Aus einer engen Zusammenarbeit mit Experten der Vegetationskunde entstand zudem ein integriertes spektrales FFH-Bewertungsverfahren, welches zusätzlich eine räumliche Abbildung von naturschutzrechtlichen Zustandskategorien erlaubt.

Dem Anwender wird somit ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, welches ihm ermöglicht nach unterschiedlichen Fragestellungen einen großflächigen Landschaftsausschnitt zu beobachten. So können beispielsweise für die Konzeption von Monitoringkonzepten und für Erfolgskontrollen von Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen gezielte Eigenschaften von Vegetationsbeständen definiert und in räumliche Abbildungen übertragen werden. Der Anwender ist demnach nicht an herkömmlicher Verfahren einer statischen Festlegung von Vegetationsklassen gebunden, die als Interpretationsgrundlage dienen, sondern er kann unter Nutzung des entwickelten hyperspektralen Verfahrens Interpretationsansätze für den Zustand natürlicher Vegetationsbestände nach sich ändernden Fragestellungen direkt aus dem Informationsvorrat flächenhafter hyperspektraler Aufnahmen ableiten.

Zur detaillierten Abschätzung von Fehlerquellen, zur Optimierung verwendeter Modellansätze sowie zur exemplarischen Anwendung des Verfahrens auf ausgewählte Natura 2000 Flächen musste sich im Rahmen des Projektes auf den Lebensraum des trockenen Offenlandes in der Döberitzer Heide beschränkt werden. Eine Anwendbarkeit auf diese Gebiete mit hinreichenden Vorhersagegenauigkeiten im Vergleich zu hyper- und multispektralen Klassifizierungsverfahren wurde nachgewiesen. Darüber hinaus existiert auf Basis der geschaffenen Spektralbibliothek ein unschätzbarer Informationsvorrat über die spektrale und ökologische Beschreibung von Vegetationsausprägungen, der unter Anwendung automatisierter Verfahrensschritte für feuchte Offenlandstandorte sowie trockene Offenlandstandorte in anderen Gebieten/Naturräumen genutzt werden kann und sollte.

In der Aufzeichnung von flächenhafter hyperspektraler Information durch Flugzeugbefliegungen verbinden sich zwei die Arbeit verkomplizierende Faktoren in einer Aufgabe. Einerseits sind wie bei der Aufzeichnung von Geländespektren sehr gute Witterungsbedingungen vonnöten, andererseits ist die Verfügbarkeit von Hyperspektralsystemen zur Datenaufzeichnung noch sehr begrenzt. Der in der Beantragung des Projektes in Aussicht stehende Betrieb eines eigenen Hyperspektralsensors ARES des GFZ hat sich durch erst spät einsetzende Probleme beim Bau des Sensors letztlich zerschlagen. So stand in den ersten beiden Projektjahren jeweils zunächst nur für die kurze Phase Ende Juli bis Ende August der HyMap-Sensor als Leihgerät für Befliegungen in Europa zur Verfügung. Daraus entstanden Aufnahmen vom Juli 2008 und August 2009. Im Jahr 2010 hat die gleiche Zeit der Sensorbereitstellung wegen der ungünstigen Witterung gar keinen Aufnahmeerfolg zu verzeichnen gehabt. Bis dahin war also das Ziel, zwei Hyperspektralbefliegungen aus einer Vegetationsperiode für die Entwicklung der Methodik zu nutzen, sehr stark gefährdet. Dennoch wurde begonnen, diese Methodik zunächst für einen Aufnahmezeitpunkt zu entwickeln und immer die Ausweitung des Verfahrens auf mehrere Zeitpunkte im Blick zu behalten.

Glücklicherweise ist die Marktlage bei Hyperspektralsensoren im Laufe der letzten Jahre soweit vorangekommen, dass inzwischen routinefähige Systeme und deren Daten zu kaufen sind. So gelang es, in den Jahren 2010 und 2011 noch drei Datensätze aufzuzeichnen, zwei mit dem Sensorsystem AISA Eagle und Hawk des UFZ (September 2010 und Juni 2011) und einer mit APEX (September 2011), betrieben von VITO.

Auch wenn sich mit der Verwendung von drei verschiedenen Systemen mit unterschiedlichen spektralen, radiometrischen und räumlichen Auflösungsseigenschaften neue Probleme in der Vorverarbeitung und Verknüpfung der flächenhaft gewonnenen Informationen ergeben, so ist letztlich eine sehr gute hyperspektrale Bilddatenbasis für den Untersuchungsraum entstanden. Auch die ursprünglich angestrebte zweimalige Aufnahme innerhalb einer Vegetationsperiode konnte noch realisiert werden. Für die Bearbeitung aller Daten reichte der Projektzeitraum jedoch nicht mehr. Die entwickelte Methodik ist jedoch auf die Nutzung von mehreren Aufnahmetermenen angelegt. Die Promotionsarbeit von Herrn Neumann wird im Laufe der Jahre 2012 und 2013 die Integration der zunächst noch nicht genutzten Aufnahmen aufgreifen und die Methodik entsprechend vervollkommen. Das auf die Verknüpfung von vegetationskundlicher und spektraler Information von Vegetationsbeständen optimierte Design der Projektlaufzeit müsste letztlich so aussehen, dass der Projektstart im Spätsommer erfolgt. Bis zum Beginn der neuen Vegetationsperiode im Folgejahr bestünde Gelegenheit, die vegetationskundliche Untersuchung und Einrichtung der Dauerbeobachtungsflächen soweit voranzutreiben, dass auch mit der spektralen Beprobung und der Aufnahme von Befliegungsdaten begonnen werden kann. Im Projekt hat sich gezeigt, dass drei Vegetationsperioden gebraucht werden aber auch genügen, um die nötigen Daten zu erfassen. Wenn dann nach drei Jahren Projektlaufzeit ein weiteres Jahr zur Auswertung aller Daten zur Verfügung stünde, wäre der Einsatz der Projektmittel optimiert.

AB5 Übernahme der FFH-Ersterfassung aus SARA'04 und erneute flächenhafte Erfassung des Vegetationsmusters nach der erweiterten SARA-Methode nach Vervollkommnung durch Einbeziehung anderer phänologischer Zeitpunkte aus dem Frühjahr/Frühsummer (räumlich höchst auflösende Satellitendaten) und Hyperspektraldaten

Auf Grundlage der SARA'04 Verfahrensweise wurde für das gesamte Untersuchungsgebiet eine erneute flächenhafte Erfassung von Vegetationsmustern für das Jahr 2010 berechnet. Zu diesem Zweck konnte eine Satellitenszene des im Laufe der Projektphase in Betrieb genommenen WorldView-2 Sensors für Mai 2010 erworben und analysiert werden. Aufgrund der hohen Beschaffungskosten war es nicht möglich, mehrere Aufnahmen zu unterschiedlichen phänologischen Phasen zu akquirieren. Dennoch konnte ein Vergleich zur bestehenden SARA'04 - Klassifikation aus dem Juli 2004 hergestellt und für ein Monitoring bedeutende Parameter extrahiert werden. In einer durchgeführten Veränderungsanalyse wurden beide auf demselben Verfahren beruhende Klassifikationsergebnisse hinsichtlich von Entwicklungstendenzen im trockenen Offenland aggregiert und Aussagen über Gebietsentwicklungen abgeleitet. Auf diese Weise konnten Zusatzpotentiale des Verfahrens im Hinblick auf zeitliche Analysen herausgestellt und wertvolle Informationen aus der Synthese zweier Aufnahmezeitpunkte abgeleitet werden.

Aus Gründen der zeitlich intensiven Entwicklung hyperspektraler Abbildungsverfahren und dem daraus generierten Alleinstellungsmerkmal zur flexiblen Ableitung von Vegetationszustandsinformationen konnte eine Verknüpfung zu den vorliegenden hyperspektralen Sensoren in der Projektlaufzeit nicht mehr hergestellt werden. Vielmehr wurden die Möglichkeiten der Abbildung von Entwicklungstendenzen der von SARA'04 genutzten multispektralen Information mit den hyperspektralen Ergebnissen vergleichend gegenübergestellt. Einem Fehlen an langjährigen Zeitreihen in den hyperspektralen Systemen wurde hier eine detaillierte Analyse von Vor- und Nachteilen multispektraler Systeme in Zeitreihenanalysen entgegengestellt.

Besonders im Hinblick auf die Anforderungen in einem Monitoringkonzept wurde in Zusammenarbeit mit der Sielmanns Naturlandschaften gGmbH die Plausibilität der aus dem SARA'04 Verfahren berechneten Vegetationsklassen beurteilt sowie die aus der Veränderungsanalyse abgeleiteten Ergebnisse in Bezug zu Managementmaßnahmen gesetzt.

Die erzielten Ergebnisse konnten somit nach Einbeziehung von Expertenwissen unter Berücksichtigung der Unterschiede in beiden Aufnahmezeitpunkten analysiert werden. Mögliche Abweichung des Klassifizierungsalgorithmus von tatsächlichen Vegetationsausprägungen und -veränderungen wurden detektiert, so dass ein bedeutender Aspekt phänologischer Betrachtungsweisen Berücksichtigung gefunden hat.

AB 6 Entwicklung eines Tools zur Visualisierung (GIS, Internet) der Ergebnisse ^{17 18}

Die Entwicklung einer Spektraldatenbank für die Weiternutzung durch andere Projekte stellte eine Herausforderung im Projektplan dar.

Die finanzielle Ausstattung des Projektes erlaubte es nicht, auf marktüblich zu finanzierende Entwicklerarbeit zurückzugreifen. Vielmehr fundierte die Erstellung der Datenbank und der Softwaretools für die Nutzung und die Funktionstests ebenso wie die Bestückung der Datenbank mit den Messdaten auf studentischen Arbeiten im Rahmen von Qualifikationsarbeiten und Hilfskraft-Tätigkeiten. Nur dem unermüdlichen Einsatz der Studenten und der Freude an der Entwicklung des Produktes ist es zu verdanken, dass letztlich ein Tool zur Verfügung steht, das mit den anderen bisher bekannten Ansätzen mithalten kann, zum Teil bessere Funktionalität, insbesondere bei der Verknüpfung der unerlässlichen Metainformation zum Zustand der spektral beobachteten Fläche aufweist.

Wenn letztlich nicht alle Wünsche, insbesondere zur Verknüpfung mit GIS erfüllt werden können, so ist das dem möglichen Aufwand geschuldet. Durch die Bereitstellung der Datenbank zur Nachnutzung ergeben sich dafür weitere Entwicklungspotentiale. Durch die Mitwirkung weiterer interessierter Nutzer werden die sicher noch vorhandenen Defizite deutlich. Das wird Ansporn nicht nur in der Gruppe der Berlin-Brandenburger Hyperspektralfernerkunder sondern auch der anderen, in gleicher Forschungsrichtung arbeitenden Gruppen sein, einerseits eine abgestimmte Vorgehensweise bei der Datenerhebung im Sinne der Nachnutzung gemeinsam zu entwickeln, andererseits auch diese Nachnutzung so komfortabel und sicher wie nur möglich zu gestalten.

¹⁷ Die GIS-Datenbank (Geoinformationssystem) ist im Internet nicht frei verfügbar (Kapitel 3.9.2).

¹⁸ Aussagen zum sonstigen Informationsangebot im Internet folgen - siehe „Öffentlichkeitsarbeit“ (Kapitel 5.2).

5. Öffentlichkeitsarbeit

5.1. Ansatz¹⁹

Die Öffentlichkeitsarbeit des DBU-Projektes 26257 wurde als abgestuftes und mit dem Projektfortschritt wachsendes Kommunikationssystem betrachtet. Aufgrund des interdisziplinären Charakters und der heterogenen Zusammensetzung der verschiedenen Akteure wurden verschiedene Kommunikationsformen, Themenfelder, Anspruchsebenen und Zielgruppen berücksichtigt.

Die Öffentlichkeitsarbeit erfolgte

- a) im Interesse der Vernetzung und der fachlichen Zusammenarbeit mit thematisch verwandten Projekten, Ingenieurbüros, Naturschutzverbänden und -stiftungen, mit Unternehmen der Geoinformationswirtschaft, fachlich relevanten Behörden und wissenschaftlichen Einrichtungen,
- b) zur Unterstützung einer umfassenden Informationsbeschaffung,
- c) zur Befriedigung des generellen Informationsbedürfnisses der Öffentlichkeit, insbesondere der zahlreichen Besucher der Döberitzer Heide und der Bewohner des angrenzenden Landkreises Havelland, der Landeshauptstadt Potsdam und nicht zuletzt der Bundeshauptstadt Berlin.

5.2 Aktivitäten

Treffen mit Behörden

Aus den zahlreichen Gesprächen und Arbeitstreffen ragen zwei Rundtischgespräche beim Präsidenten des Landesumweltamtes Brandenburg (Prof. Dr. Matthias Freude) heraus. Darüber hinaus gab es eine Projektvorstellung beim Naturschutzbeirat der Landeshauptstadt Potsdam und ein Arbeitstreffen mit Vertretern der Unteren Naturschutzbehörden (Landkreis Havelland, Landeshauptstadt Potsdam). Vertreter der anliegenden Gemeinden waren der Einladung leider (aus Zeitgründen) nicht gefolgt. Über die Geschäftsführung der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH bestand trotzdem ein guter Informationsfluß.

Teilnahme an Fachtagungen und Workshops

Die im Projektzeitraum relevanten Fachtagungen und Workshops (**Anlage PR1a**) wurden für die Weiterbildung, den Erfahrungsaustausch und anregende Diskussionen genutzt. Für die Öffentlichkeitsarbeit stand dabei im Mittelpunkt, das Wildnisgroßprojekt, das Projekt „Monitoring in der Döberitzer Heide“ und insbesondere das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte F/E-Vorhaben bekannt zu machen.

Zur Unterstützung dieser Kommunikation wurde im I. Quartal 2010 vom Projektpartner Natur und Text in Brandenburg GmbH ein Falblatt/Leporello mit dem Kurztitel des Projektes „Monitoring in der Döberitzer Heide: Vegetation und Fernerkundung“ hergestellt (**Anlage PR1b**). Die Auflage war zum Projektende vollständig vergriffen (500 Exemplare).

¹⁹ Übernahme aus dem Zwischenbericht (12.2009).

Veröffentlichungen

Im Projektzeitraum wurden verschiedene Publikationen (Artikel in Fachzeitschriften, Beiträge in Tagungsbänden, Poster, populärwissenschaftliche Beiträge) veröffentlicht oder befinden sich im Druck (**Anlage PR2**). Darüber hinaus liegen inzwischen verschiedene, formal „unveröffentlichte“ Qualifikationsarbeiten mit projektnaher Themenstellung vor oder befinden sich in der Erarbeitungsphase.

Die Beiträge der Fachtagung „Monitoring in der Döberitzer Heide“ (Bildungszentrum Elstal, 16./17.04.2010)²⁰ erscheinen als gleichnamiger Tagungsband in der Schriftenreihe „Studien- und Tagungsberichte“ des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (LUGV). Die redaktionelle Bearbeitung erfolgte durch eine fünfköpfige Redaktionsgruppe - Thomas Frey und Dr. Thomas Schoknecht (LUGV Brandenburg); Peter Nitschke (Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH); Dr. Matthias Kühling und Laura Luft (Universität Potsdam). Nachdem im Haushaltsjahr 2011 keine Mittel für den Druck zur Verfügung standen, erfolgt der Druck voraussichtlich im I. Quartal 2012. In jedem Fall wird es eine Online-Publikation im *Portable Document Format* (PDF) geben (**Anlage PR3**).

Die Veröffentlichung der Fachpublikation „Biotopkartierung in Brandenburg (Band 3): Biotope und Fernerkundung“ (ursprünglich vorgesehener Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg; Federführung: Martina Düvel, Naturschutzfonds Brandenburg) wurde in Absprache mit dem Bundesamt für Naturschutz auf einen unbestimmten Zeitpunkt in der Zukunft verschoben.

Dokumentarfilm

Am Rande des Besuchertages anlässlich der Eröffnung der Wildniskernzone in der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide (Elstal, 08.05.2010) konnte der Kontakt zur Autorin Iduna Wünschmann (Rundfunk Berlin-Brandenburg, Redaktion „Wissenschaft und Bildung“) hergestellt und das Interesse der Redaktion geweckt werden. Aus diesem Erstkontakt ergab sich die Mitwirkung des Projektpartners GFZ an der Dokumentarfilmproduktion „Die Mark in Lila“ (**Anlage PR4**). Die Erstausstrahlung erfolgte im Abendprogramm des RBB am 15.11.2010.

Es gelang in diesem Zusammenhang, die methodischen Möglichkeiten der Fernerkundung zur systematischen Beobachtung der weiteren Entwicklung von Heideflächen populärwissenschaftlich darzustellen.

²⁰ Auszug aus dem Zwischenbericht (12.2009): Zum Thema „Monitoring in der Döberitzer Heide“ findet im März 2010 unter der Schirmherrschaft von Prof. Freude eine Fachtagung statt, welche dem gesamten Spektrum der bisherigen und der künftig durchzuführenden Überwachung des Naturentwicklungsgebietes der Döberitzer Heide Rechnung trägt. Dabei fließen die gesammelten Kenntnisse aus der ehrenamtlichen Tätigkeit der Verbände/Vereine und die Ergebnisse der fachlichen Arbeit von wissenschaftlichen Einrichtungen, Naturschutzbehörden und Ingenieurbüros zusammen. Wichtigste Ziele sind die Fertigstellung einer Synopsis zum abiotischen und biotischen, faunistischen und floristischen Kenntnisstand der Döberitzer Heide, die Bestandsaufnahme vorhandener Datenbestände und Zeitreihen sowie eine abgestimmte Fachkonzeption für das künftige „Monitoring in der Döberitzer Heide“. Zum Zeitpunkt der Entlassung der ersten Großtiere in die sogenannte Wildniskernzone (Frühjahr 2010) steht damit ein sehr wichtiges, naturschutzfachliches Instrument zur Verfügung. Die Ergebnisse dieser Fachtagung werden voraussichtlich noch 2010 in der Schriftenreihe „Studien und Tagungsberichte“ des Landesumweltamtes Brandenburg erscheinen.

Die RBB-Produktion gewann beim 6. Festival für Natur- und Umweltfilme „Ökofilmtour 2011“ (Abschlussveranstaltung am 12.04.2011) einen von der Stiftung Naturschutzfonds Brandenburg ausgelobten Preis als „Bester Naturfilm“.

Websites

Entgegen der ursprünglichen Absicht wurde in Absprache mit allen Beteiligten und im Interesse der Nachhaltigkeit auf eine „eigene“, das Projekt begleitende Website verzichtet. Informationen zu den inhaltlichen Schwerpunkten des Projektes 26257 sind unter den folgenden Adressen zugänglich:

Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Projektdatenbank) ²¹

Heinz Sielmann Stiftung (Sielmanns Naturlandschaften) ^{22 23}

Deutsches Geoforschungszentrum (Sektion Fernerkundung) ²⁴

sowie

Technische Universität Berlin (Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung) ²⁵

Luftbild Umwelt Planung GmbH, Potsdam ²⁶

GeoKomm e.V. ²⁷

²¹ <http://www.dbu.de/799.html>

²² <http://www.sielmann-stiftung.de/de/projekte/index.php>

²³ Das Informationsangebot der Website zur Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide wird im Zusammenhang mit dem laufenden Promotionsvorhaben von Frau Luft (Anlage QUAL) um eine populärwissenschaftliche Darstellung zum „Monitoring in der Döberitzer Heide“ erweitert. In diesem Zusammenhang ist auch ein Link zum gleichnamigen Tagungsband (Elstal, 16./17.04.2010) vorgesehen (Anlage PR3).

²⁴ <http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+1/sec14>

²⁵ <http://www.geoinformation.tu-berlin.de/index.php?id=135>

²⁶ http://www.lup-umwelt.de/lup_news

²⁷ <http://www.geokomm.net/>

6. Fazit

Aus der Diskussion wird deutlich, dass bei der Suche nach einer Methode zur Differenzierung des räumlich heterogen in Erscheinung tretenden Arteninventars von Naturschutzflächen ein bedeutender Fortschritt erzielt wurde. Dennoch verbleiben einige Aspekte zur Vervollkommnung der entwickelten Verfahrensweise zur weiteren Bearbeitung. Zunächst müssen weitere Untersuchungen zu Validierung der erzielten Ergebnisse im Projektgebiet erfolgen. Auch wenn der Nachweis über die Funktionsfähigkeit des Verfahrens erbracht wurde sind in Zusammenarbeit mit Naturschutzbehörden, Großflächenbesitzern weitere Analysen zu Genauigkeit und Grenzen zur Nutzung des Algorithmus im Rahmen der Berichtspflicht (z.B. Natura 2000) erforderlich.

Eine weitere Optimierung der Prozedur ist durch die Aufnahme folgender Gesichtspunkte zu erwarten:

- Einbeziehung verschiedener Aufnahmetermine (multitemporale Informationen) zur besseren Abtrennung auf Einzelartenebene (z.B. Calamagrostis, Arten der Sandtrockenrasen)
- Genauere Analyse der Nutzbarkeit der Zellulosebande zur Unterscheidung von Altersstadien von verholzenden Arten (z.B. Heidekraut, Besenginster)
- Multiple Tests zur Wichtung abgrenzungsrelevanter Artendeckungen vielartiger Bestände
- Berücksichtigung spektraler Diversitätsparameter als FFH-Bewertungsparameter (Arteninventar)
- Automatisierung geeigneter Verfahrensschritte

Eine Erweiterung des Verfahrens muss angestrebt werden im Hinblick auf:

- Räumliche Abgrenzung von naturschutzfachlich anders betonten, hierarchisch gegliederten Vegetationseinheiten (Biotoptypen, EUNIS-Typen)
- Habitatanalysen weiterer Tierarten
- Ausdehnung auf feuchte und frische Standorte im UG
- Ausdehnung und Erprobung in anderen Gebieten

Die Autoren sehen im Ergebnis der Projektbearbeitung zum gegenwärtigen Stand der Forschung Potenzen für Folgeprojekte in:

- Integration multitemporaler/multisensoraler Information, Analyse des Informationsgewinns durch die Verknüpfung mit weiteren Daten (Einfluss des hyperspektralen Sensortyps, der Aufnahmetermine, der Anzahl der Spektralkanäle, der räumlichen Auflösung)
- Übertragung auf andere Gebiete unter möglichst ausschließlicher Nachnutzung der hiesigen Ergebnisse, Vergleich mit dem Aufwand durch erneute/zusätzliche Untersuchungen dort
- Übertragung des Verfahrens auf räumlich geringer aufgelöste Hyperspektraldaten zur EnMAP-Nutzungsvorbereitung, Vergleich der Ergebnisgüte
- Tests zur Bedeutung von Spektralinformationen (aus der Hyperspektralband-Auswahl) für den Erfolg des Verfahrens mit dem Ziel des Designs neuer Sensoren
- Verknüpfung der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Spektralinformation mit dem Verhalten ökologischer Größen zum Verständnis ökologischer Prozessdynamiken

7. Literatur²⁸

- Anderson, D.J. (1965): Classification and ordination in vegetation science: Controversy over a non-existent problem? *Journal of Ecology* 53: 521-526.
- Austin, M.P. (1985): Continuum concept, ordination methods, and niche theory. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16: 39-61.
- Austin, M.P. (1986). The theoretical basis of vegetation science. *Trends in Ecology & Evolution* 1: 161-164.
- Austin, M.P.; Smith, T.M. (1989): A new model for the continuum concept. *Plant Ecology* 83: 35-47.
- Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2003): *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (10. Auflage). Springer, Berlin.
- Berk, A.; Bernstein, L.S.; Anderson, G.P.; Acharya, P.K.; Robertson, D.C.; Chetwynd, J.H.; Adler-Golden, S.M. (1998). MODTRAN cloud and multiple scattering upgrades with application to AVIRIS. *Remote Sensing of Environment* 65: 367-375.
- Borre, J. V.; Paelinckx, D.; Múcher, C. A.; Kooistra, L.; Haest, B.; Blust, G.; Schmidt, A. M. (2011): Integrating remote sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward. *Journal for Nature Conservation* 19(2): 116-125.
- Brande, A. (1993): Die Entwicklung der Dendroflora in Brandenburg seit der Eiszeit. *Beiträge zur Gehölkunde* 1993: 77-84.
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning* 45: 5-32.
- Bunzel-Drüke, M., Drüke, J. & Vierhaus, H. (2001). Der Einfluß von Großherbivoren auf die Naturlandschaft Mitteleuropas. Online sowie in Auszügen veröffentlichtes Manuskript²⁹
- Cho, M.A.; Skidmore, A.; Corsi, F.; van Wieren, S.E.; Sobhan, I. (2007): Estimation of green grass / herb biomass from airborne hyperspectral imagery using spectral indices and partial least squares regression. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 9: 414-424.
- Chuvieco, E.; Huete, A. (2010): *Fundamentals of satellite remote sensing*. CRC Press, Boca Raton.
- Carlson, T.N.; Ripley, D.A. (1997): On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 62: 241-252.
- Clark, R.; King, T. - eds. (1987): Automatic continuum analysis of reflectance spectra. In: *JPL Proceedings of the 3rd Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop - SEE N88-13755 05-42 (USA 1987)*, pp. 138-142
- Clarke, K.R. (1993). Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Austral Ecology* 18: 117-143.
- Cocks, T.; Jenssen, R.; Stewart, A.; Wilson, I.; Shields, T. - eds. (1998): The HyMap™ airborne hyperspectral sensor: the system, calibration and performance. In: *Proceeding of the 1th EARSEL Workshop (Zürich, 6.-8.10.1998)*, pp. 37-42.
- Cutler, D.R.; Edwards Jr., T.C.; Beard, K.H.; Cutler, A.; Hess, K.T.; Gibson, J.; Lawler, J.J. (2007): Random forests for classification in ecology. *Ecology* 88: 2783-2792.
- Dansereau, F.B.Y.P. (1968): The continuum concept of vegetation: responses. *The Botanical Review* 34: 253-332.
- DWD (2011): Phänologischer Kalender für Deutschland: errechnete zeitliche Reihenfolge der phänologischen Phasen der Jahre 1992 bis 2010. *Phänologie-Journal* Nr. 37

²⁸ In dieser Auswahl erscheint nur die im Zwischenbericht zitierte Literatur. Zahlreiche weitere Titel haben Eingang in die Literaturdatenbank gefunden.

²⁹ http://lv-twk.oekosys.tu-berlin.de/project/lv-twk/images/pdfs/Grossherbivoren_Mitteleuropas.pdf

- Efron, B.; Tibshirani, R.; Tibshirani, R.J. (1993): An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall / CRC Press, Boca Raton &&.
- Elzinga, C.L. (2001): Monitoring plant and animal populations. Blackwell Science, Malden MA.
- Feilhauer, H.; Faude, U.; Schmidlein, S. (2011): Combining Isomap ordination and imaging spectroscopy to map continuous floristic gradients in a heterogeneous landscape. *Remote Sensing of Environment* 115: 2513-2524.
- Förster, M.; Frick, A. (2010): Einsatzmöglichkeiten von geometrisch, spektral und zeitlich sehr hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten für das Biodiversitätsmonitoring. In: Doerpinghaus, Dröschmeister & Fritsche (Hrsg.): *Naturschutz-Monitoring in Deutschland - Stand und Perspektiven*. Tagungsband zum Statusseminar an der Internationalen Naturschutzakademie (Insel Vilm, 14.-19.04.2008). *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 83: 221-233.
- Frick, A. (2007): Beiträge höchstauflösender Satellitenfernerkundung zum FFH-Monitoring - Entwicklung eines wissensbasierten Klassifikationsverfahrens und Anwendung in Brandenburg. Technische Universität Berlin, Dissertationen online.³⁰
- Fürstenow, J.; Hinrichsen, A. (2001): Entwurf einer Behandlungsrichtlinie für das Naturschutzgebiet Döberitzer Heide. *Natur & Text in Brandenburg GmbH, Rangsdorf*.
- Gauch, H.G. (1994): *Multivariate analysis in community ecology* (reprinted). Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Geiser, R. (1992). Auch ohne *Homo sapiens* wäre Mitteleuropa von Natur aus eine halboffene Weidelandchaft. *Wald oder Weidelandchaft - Zur Naturgeschichte Mitteleuropas*. Laufener Seminarbeiträge 2: 22-34.
- Gelbrecht, J.; Dommain, R.; Rödel, I.; Renner, W. (2001a): Aktueller Stand der Verbreitung von *Hipparchia statilinus* (Hufnagel, 1766) in Brandenburg (Lepidoptera, Satyrinae). *Märkische Entomologische Nachrichten* 3(1): 21-25.
- Gelbrecht, J.; Eichstädt, D.; Göritz, U.; Kallies, A.; Kühne, L.; Richert, A.; Rödel, I.; Sobczyk, T.; Weidlich, M. (2001b): Gesamtartenliste und Rote Liste der Schmetterlinge („Macrolepidoptera“) des Landes Brandenburg. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, Beiheft 3/2001* (64 Seiten).
- Goodall, D.W. (1963): The continuum and the individualistic association. *Plant Ecology* 11: 297-316.
- Guanter, L.; Estellés, V.; Moreno, J. (2007): Spectral calibration and atmospheric correction of ultra-fine spectral and spatial resolution remote sensing data. Application to CASI-1500 data. *Remote Sensing of Environment* 109: 54-65.
- Hansen, P.M.; Schjoerring, J.K. (2003): Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote Sensing of Environment* 86: 542-553.
- Hendl, M. (1996). Grundzüge des Klimas des Landes Brandenburg. *Berichte zur deutschen Landeskunde* 70: 435-477.
- Hofmann, G.; Pommer, U. (2005): *Potentielle Natürliche Vegetation von Brandenburg und Berlin*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe, Band 24.
- Kersting, T. (2000): Slawen in Havelland und Zauche. In: *Potsdam, Brandenburg und das Havelland. Führer zu archäologischen Denkmälern in Deutschland* (Band 37). Theiss, Stuttgart, Seiten 105-122.
- Kessler, W. (2007): *Multivariate Datenanalyse für die Pharma-, Bio- und Prozessanalytik*. WILEY-VCH, Weinheim.
- Knipling, E.B. (1970): Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment* 1: 155-159.
- Knothe, D. (2001). Böden im Raum Potsdam. In: *Schroeder (Hrsg.): Potsdam und Umgebung. Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg* (Nr. 4). Selbstverlag, Berlin, Seiten 79-84.

³⁰ <http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2007/1413/>.

- Kruskal, J.B.; Wish, M. (1978): Multidimensional scaling. Sage Publications, Inc.
- Küster, H. (1992). Die Geschichte des Grünlandes aus pollenanalytischer und archäobotanischer Sicht. In: ANL (Hrsg.): Wald oder Weidelandchaft - Zur Naturgeschichte Mitteleuropas - Laufener Seminarbeiträge 2: 9-13.
- Leyer, I.; Wesche, K. (2007): Multivariate Statistik in der Ökologie. Eine Einführung. Springer, Berlin.
- Landesumweltamt Brandenburg - Hrsg. (2007): Biotopkartierung Brandenburg (Band 2): Beschreibung der Biotoptypen, Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft, Potsdam.
- Luftbild Umwelt Planung GmbH (2010): SARA_EnMAP - Anwendungsorientiertes Raummonitoring auf Basis hyperspektraler Fernerkundungsdaten ARES/EnMAP, Antragsnummer: 80128607, Abschlussbericht.
- Mann, H.B.; Whitney, D.R. (1947): On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. The Annals of Mathematical Statistics 18: 50-60.
- McIntosh, R.P. (1967): The continuum concept of vegetation. The Botanical Review 33: 130-187.
- Mevik, B.H.; Wehrens, R. (2007). The pls package: Principal component and partial least squares regression in R. Journal of Statistical Software 18: 1-24.
- Milne, B.T.; Turner, M.G.; Wiens, J.A.; Johnson, A.R. (1992). Interactions between the fractal geometry of landscapes and allometric herbivory. Theoretical Population Biology 41: 337-353.
- Mucina, L. (1997): Classification of vegetation: Past, present and future. Journal of Vegetation Science 8: 751-760.
- Myneni, R. B.; Maggion, S.; laquinta, J.; Privette, J. L.; Gobron, N.; Pinty, B.; Kimes, D. S.; Verstraete, M. M.; Williams, D. L. (1995): Optical remote sensing of vegetation: Modeling, caveats, and algorithms. Remote Sensing of Environment 51: 169-188.
- Nogatz, T. (2008): Vegetationskundliche Untersuchungen auf grundwasserfernen Offenlandstandorten zweier ehemaliger Truppenübungsplätze im Potsdamer Umland (NSG Döberitzer Heide, Wildgehege Glauer Tal), unveröff. Diplomarbeit, Universität Potsdam.
- Oberdorfer, E. (1977): Süddeutsche Pflanzengesellschaften (Teile 1 und 2). Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Palmer, M.W. (1988): Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities. Plant Ecology 75: 91-102.
- Palmer, M.W.; White, P.S. (1994): On the existence of ecological communities. Journal of Vegetation Science 5: 279-282.
- Phillips, J.D. (1986): Measuring complexity of environmental gradients. Plant Ecology 64: 95-102.
- Price, J.C. (1994): How unique are spectral signatures? Remote Sensing of Environment 49: 181-186.
- Pu, R. (2009): Broadleaf species recognition with in situ hyperspectral data. International Journal of Remote Sensing 30: 2759-2779.
- Robertson, G.P. (1987): Geostatistics in ecology: interpolating with known variance. Ecology 68: 744-748.
- Rothmaler, W.; Jäger, E.J.; Werner, K. - Hrsg. (2005): Exkursionsflora von Deutschland, Band 4 - Gefäßpflanzen: Kritischer Band. Elsevier, München.
- Rubin, J. (1967). Optimal classification into groups: an approach for solving the taxonomy problem. Journal of theoretical biology 15: 103-144.
- Schmidt, K.S.; Skidmore, A.K. (2001): Exploring spectral discrimination of grass species in African rangelands. International Journal of Remote Sensing 22: 3421-3434.
- Schmidt, K.S.; Skidmore, A.K. (2003): Spectral discrimination of vegetation types in a coastal wetland. Remote Sensing of Environment 85: 92-108.
- Schmidtlein, S.; Sassin, J. (2004): Mapping of continuous floristic gradients in grasslands using hyperspectral imagery. Remote Sensing of Environment 92: 126-138.

- Schmidtlein, S.; Zimmermann, P.; Schüpferling, R.; Weiß, C. (2007): Mapping the floristic continuum: Ordination space position estimated from imaging spectroscopy. *Journal of Vegetation Science* 18: 131-140.
- Schoknecht, T. (1993): Die Naturschutzgebiete (NSG) Ferbitzer Bruch und Döberitzer Heide auf dem Truppenübungsplatz Döberitz. *Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg* 1: 23-25.
- Scholz, E. (1962): Die naturräumliche Gliederung Brandenburgs. Pädagogisches Bezirkskabinett, Märk. Volksstimme, Band 1, Potsdam.
- Schroeder, J.H. (2001): Potsdam und Umgebung. Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg (2. Auflage). Geowissenschaftler in Berlin und Brandenburg e.V., Berlin.
- Schuboth, J.; Frank, D. (2010): Kartieranleitung Lebensraumtypen Sachsen-Anhalt. Teil Offenland. - Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt, Halle.
- Settele, J.; Kudrna, O.; Harpke, A.; Kühn, I.; Swaay, C. van; Verovnik, R.; Warren, M.; Wiemers, M.; Hanspach, J.; Hickler, T.; Kühn, E.; Halder, I. van; Veling, K.; Vliegthart, A.; Wynhoff, I.; Schweiger, O. (2008): Climatic risk atlas of European butterflies. *Biorisk* 1 (Special Issue). Pensoft, Sofia.
- Smith, G.M. & Milton, E.J. (1999). The use of the empirical line method to calibrate remotely sensed data to reflectance. *International Journal of Remote Sensing* 20: 2653-2662.
- Stackebrand, W.; Beer, H. (2001): Geologische Entwicklung. In: Schroeder (Hrsg.): Führer zur Geologie von Berlin und Brandenburg. Nr. 4: Potsdam und Umgebung, Berlin, 1-8.
- Symank, A.; Hauke, U.; Rückriem, C.; Schröder, E. (1998): Das europäische Schutzgebietssystem NATURA 2000. BfN-Handbuch zur Umsetzung der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und der Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG), Schriftenreihe für Landespflege und Naturschutz, Band 53.
- Stix, E. (1997): Chronik der Döberitzer Heide. *Döberitzer Heide mit Ferbitzer Bruch* 7: 56-60.
- Thessler, S.; Ruokolainen, K.; Tuomisto, H.; Tomppo, E. (2005): Mapping gradual landscape-scale floristic changes in Amazonian primary rain forests by combining ordination and remote sensing. *Global ecology and biogeography* 14: 315-325.
- Vera, F.W. (1999): Ohne Pferd und Rind wird die Eiche nicht überleben. *Natur und Kulturlandschaft* 3: 404-425.
- Weide, S. (2010): Airborne Remote Sensing. HyEurope 2009, Summary Report.
- Weiss, C. (2008): Monitoring large conservation areas with imaging spectroscopy: Combining discrete and non-discrete approaches. Unveröffentlichte Dissertation, Ludwig-Maximilian-Universität, München.
- Wilcoxon, F. (1945): Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin* 1: 80-83.
- Wilmanns, O. (1998): Ökologische Pflanzensoziologie : eine Einführung in die Vegetation Mitteleuropas (6. Auflage). Quelle & Meyer, Wiesbaden.
- Wilson, J.B. (2009): Does vegetation science exist? *Journal of Vegetation Science* 2: 289-290.
- Wold, H. (1966): Estimation of principal components and related models by iterative least squares. *Multivariate analysis; proceedings*, 391.
- Wolters, S. (2002). Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen zur spätglazialen und holozänen Landschaftsentwicklung in der Döberitzer Heide (Brandenburg). Verlag J. Cramer, Stuttgart.
- Zimmermann, F. (2007): Biotopkartierung Brandenburg Band 2: Beschreibung der Biotoptypen. - Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft Potsdam.

Internetseiten

- BfN (2008): Bewertungsschemata der Expertengruppen der Länder und des Bundes (letzte Änderung: 06.12.2008).³¹
- Verordnung zum Schutz wild lebender Tier- und Pflanzenarten vom 16.02.2005 / Bundesartenschutzverordnung (letzte Abfrage: 31.01.2012).³²
- Labsphere (letzte Abfrage: 31.02.2012).³³
- LANA (2001): Mindestanforderungen für die Erfassung und Bewertung von Lebensräumen und Arten sowie die Überwachung. 81. Sitzung der Arbeitsgemeinschaft „Naturschutz“ der Landes-Umweltministerien (Pinneberg, September 2001).³⁴
- LULG (2009): Arbeitsmaterialien zur Erstellung von FFH-Managementplänen. Kartier- und Bewertungsschlüssel für Offenland-Lebensraumtypen des Anhangs I der Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie). Teil I (Grünland, Heiden & Felsen). Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Abteilung Natur/Landschaft/Boden, Dresden (letzte Abfrage: 31.01.2012).³⁵
- NLWKN (2011): Vollzugshinweise für Arten und Lebensraumtypen. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (letzte Abfrage: 28.1.2012).³⁶
- Säkularstation Potsdam Telegrafenberg (letzte Abfrage: 31.01.2012).³⁷
- Sielmanns Naturlandschaften Döberitzer Heide (letzte Abfrage: 31.01.2012).³⁸
- Zimmermann, F. (2010): Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie in Brandenburg (letzte Abfrage: 27.10.2010).³⁹

³¹ http://www.bfn.de/0316_bewertungsschemata.html

³² http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bartschv_2005/gesamt.pdf

³³ <http://www.labsphere.com/products/reflectance-standards-and-targets/spectralon-reflectance-standards/diffuse-reflectance-standards.aspx>

³⁴ http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/030306_lana.pdf

³⁵ http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/natur/KBS_Gruenland_Februar09.doc.pdf

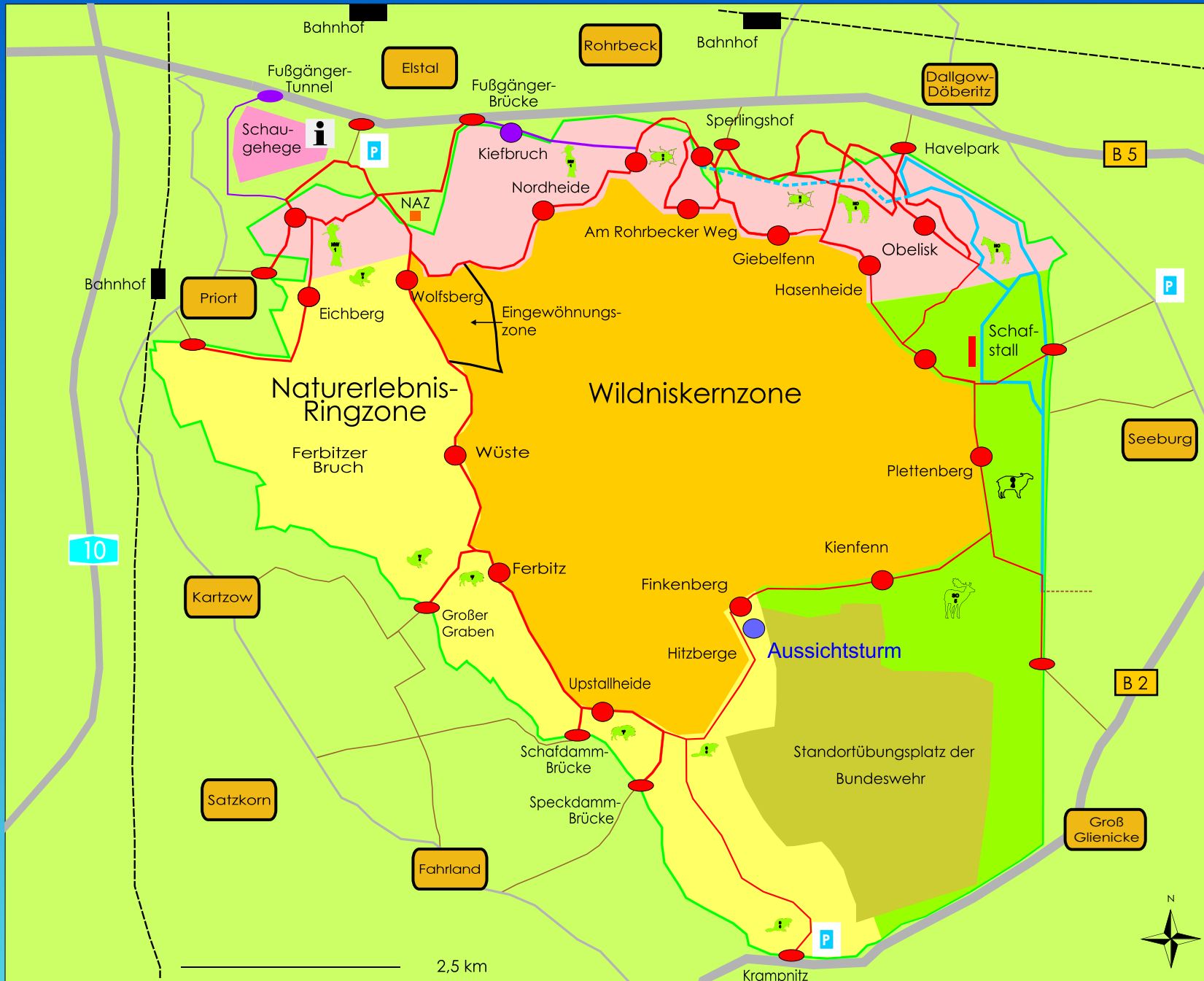
³⁶ http://www.nlwkn.niedersachsen.de/portal/live.php?navigation_id=8083&article_id=46103&psmand=26

³⁷ http://saekular.pik-potsdam.de/klima/de/klimastart_de.html

³⁸ http://www.sielmann-stiftung.de/de/projekte/sielmanns_naturlandschaften/doeberitzer_heide/steckbrief.php

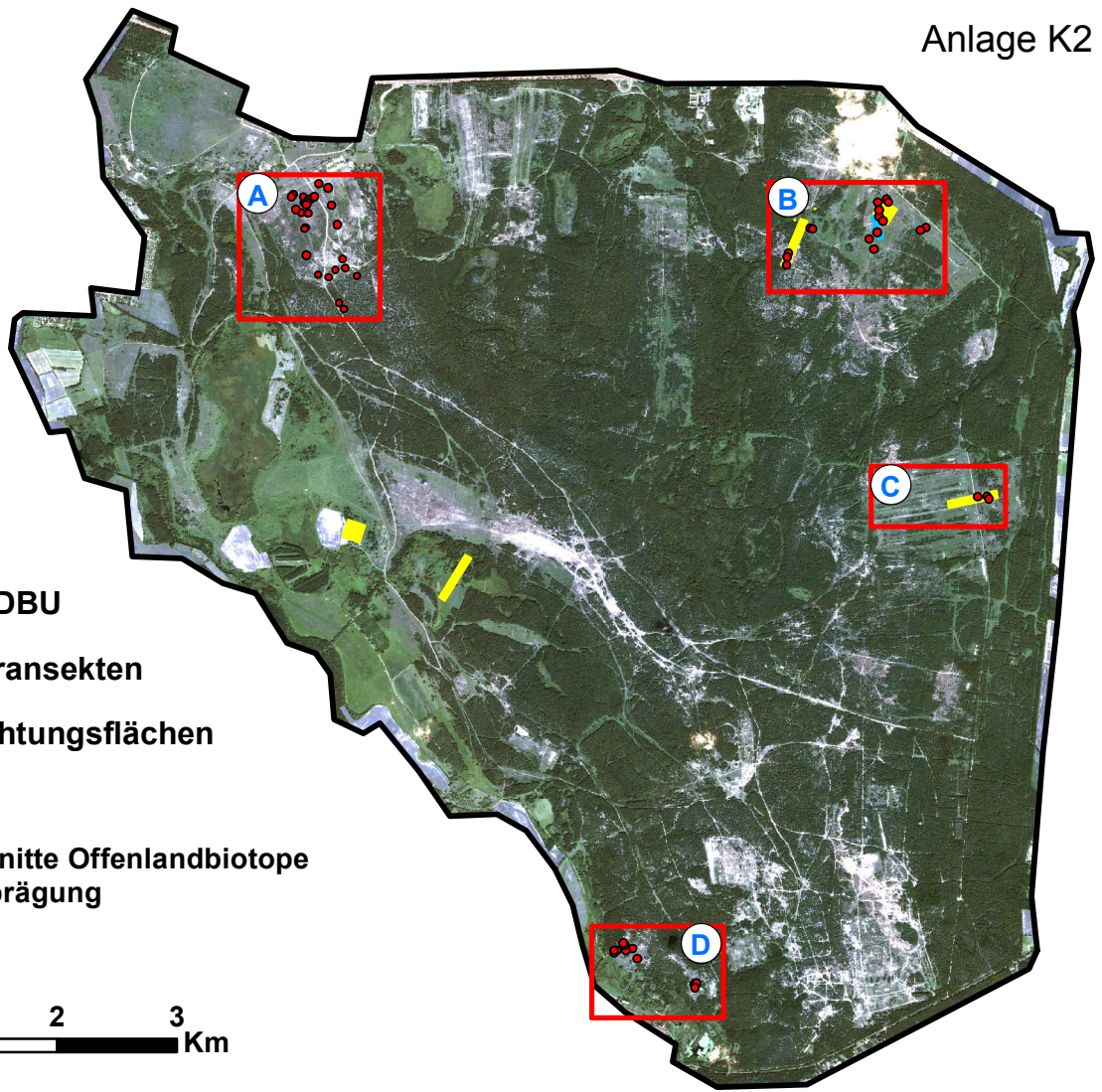
³⁹ <http://www.mugv.brandenburg.de/cms/detail.php/lbm1.c.234908.de>

Anlage K1



Legende

- Außenweg/Zufahrtsstraße
- Vorhandener Wanderweg
- Geplanter Wanderweg
- Autobahn
- Eisenbahn
- Straße
- Aussichtspunkt
- Aussichtspunkt (geplant)
- Ein- und Ausgang
- Ein- und Ausgang (geplant)
- Vorhandener Reitweg
- Neuer Reitweg
- Wildniskernzone
- Standortübungsplatz der Bundeswehr
- Grenze vom NSG

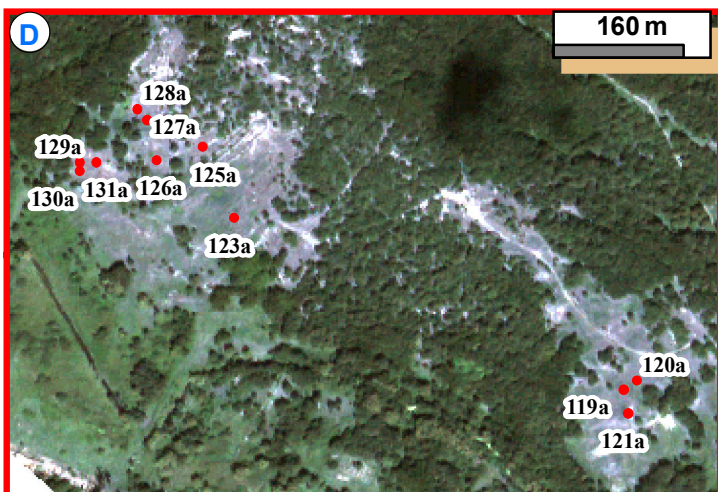
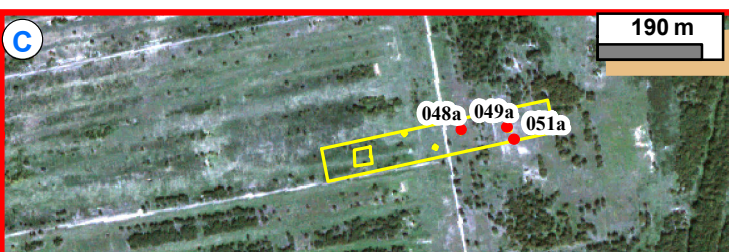
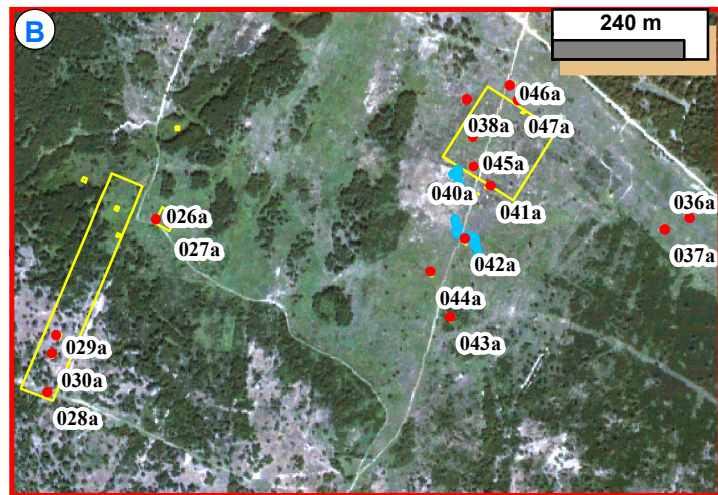
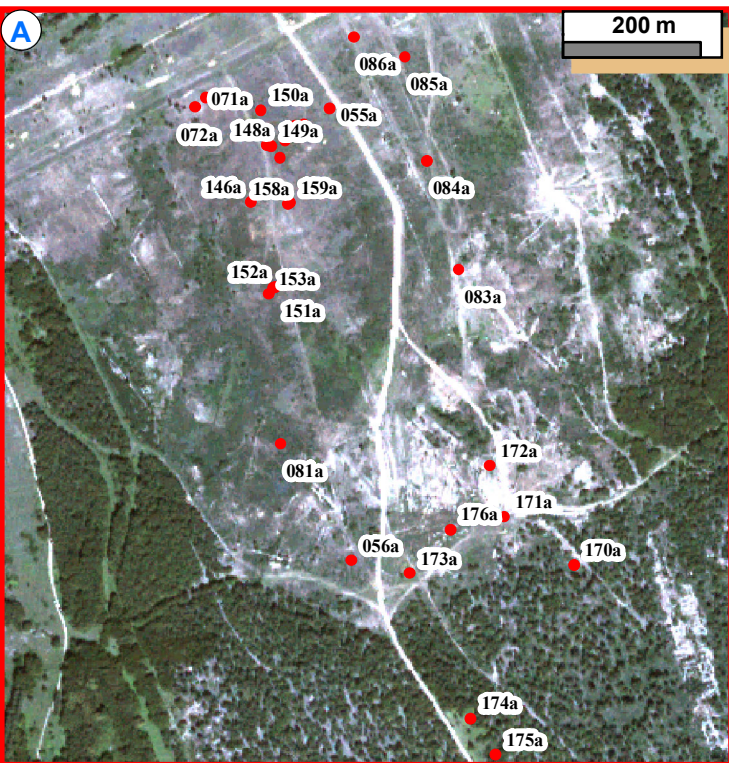


Legende

- Messflächen DBU
- Validierungstransekten
- Dauerbeobachtungsflächen
- TÜP Döberitz
- Gebietsausschnitte Offenlandbiotope trockener Ausprägung



0 1 2 3 Km



Informationen zum Projektgebiet

Die Döberitzer Heide ¹

Das Projektgebiet liegt im Nordostdeutschen Tiefland in den Naturräumen „Mecklenburg-Brandenburgisches Platten- und Hügelland“ (D 05) sowie „Brandenburgisches Heide- und Seengebiet“ (D 12). Sie grenzt im Osten an den Ballungsraum Berlin und im Süden an das Territorium der brandenburgischen Landeshauptstadt Potsdam. Durch die nahezu einhundert Jahre währende intensive Nutzung als Truppenübungsplatz in Verbindung mit dem daraus resultierenden Ausschluss anderer Nutzungen entstand eine einmalige Kombination landschaftsökologischer und biologischer Besonderheiten. Die Fläche ist durch ihre Weiträumigkeit, Unzerschnittenheit und Störungsarmut sowie durch eine bemerkenswerte naturräumliche Vielfalt charakterisiert. Das komplexe Mosaik ganz unterschiedlicher Lebensräume und die Dominanz des Offenlandes sind von herausragender Bedeutung für den Naturschutz. ^{2 3 4}

Die Bemühungen regionaler Naturschützer um die Döberitzer Heide reichen bis in die letzten Jahre der DDR-Geschichte zurück. Engagierte Ornithologen erreichten durch geschickte Verhandlungen mit dem damals zuständigen Standortkommandanten, dass Teile des sowjetischen Truppenübungsplatzes aus der militärischen Nutzung genommen wurden. Nach dem Abzug der Westgruppe der russischen Streitkräfte übernahm der Naturschutz-Förderverein „Döberitzer Heide“ e. V. die Verantwortung für die weitere Entwicklung des Gebietes und erwarb sich dabei staatlich anerkannte Verdienste.

Das Wildnisgroßprojekt ^{5 6}

Im Juli 2004 wurde von der Heinz Sielmann Stiftung ein Areal von 3.442 ha in der Döberitzer Heide erworben und anschließend an die neu gegründete **Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gemeinnützige GmbH** (SNL) übertragen. Bei der erworbenen Fläche handelt es sich um etwa 60 % des ehemaligen Truppenübungsplatzes und um einen großen Teil der beiden Naturschutzgebiete Döberitzer Heide und Ferbitzer Bruch.

Das von der Heinz Sielmann Stiftung in Zusammenarbeit mit dem Land Brandenburg entwickelte Wildnisgroßprojekt sieht vor, den Offenlandcharakter auf einem großen Teil der Fläche durch **Landschaftsgestaltung mit großen Pflanzenfressern** (Megaherbivoren) zu erhalten und das Gebiet

¹ Auszug aus dem Projektantrag (02.2008), geringfügig geändert.

² Deutscher Rat für Landespflege (1993): Truppenübungsplätze und Naturschutz. Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege, Heft 62.

³ Schoknecht, T. (1993): Die Naturschutzgebiete Ferbitzer Bruch und Döberitzer Heide auf dem Truppenübungsplatz Döberitz. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 2 (1): 23-25.

⁴ Schoknecht, T.; Zerning, M. (2005): Das Europäische Vogelschutzgebiet (SPA) Döberitzer Heide. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 14 (3/4): 107-109.

⁵ Auszug aus dem Projektantrag (02.2008), geändert und für den Zeitraum 2009-2011 ergänzt.

⁶ Fürstenow, J.; Kummer, V. (2011): Exkursion 3: Vegetation und Landschaftspflege in der Döberitzer Heide. Tuexenia - Beiheft 4 (Flora und Vegetation in Brandenburg), Seiten 103-126.

gleichzeitig für einen naturschutzverträglichen Tourismus und (ganz im Sinne von Heinz Sielmann) für die Umweltbildung / Umwelterziehung zu nutzen. Das Gesamtkonzept orientiert sich in erster Linie an den Entwicklungszielen für die NATURA-2000-Gebiete sowie an den Schutzgebietsverordnungen.

Konkret bedeutet das:

- Sicherung durch Flächenkauf (aktuell nunmehr auf ca. 3.750 ha),
- Erhalt der strukturellen Vielfalt und Dynamik der Landschaft zum Schutz der seltenen Flora und Fauna und zum dauerhaften Erhalt ihrer Refugien,
- Erhalt durch Landschaftsgestaltung - Entwicklung und Erprobung nachhaltiger Landnutzungskonzepte (langfristig wirksame und wirtschaftlich tragfähige Pflege- und Entwicklungskonzepte für Offenlandschaften, Vorbildcharakter dieser Form der Landschaftspflege),
- Schaffung eines wildnisähnlichen Naherholungsgebietes (Synthese von Naturschutz und Tourismus in Schutzgebieten),
- Erreichung breiter Akzeptanz durch Naturerleben, Öffentlichkeitsarbeit und Umweltbildung.

Das zentrale Vorhaben innerhalb des Wildnisgroßprojektes ist die **Wildniskernzone**. Auf einer Fläche von ca. 2.000 ha gibt es einen Initialbesatz von Wisenten, Przewalski-Pferden und Rothirschen, der sich im weiteren Verlauf selbst vermehren und regulieren soll. Langfristig soll dadurch auf natürliche Weise und kostengünstig die Pflege der halboffenen, mosaikartigen Landschaft gewährleistet werden. In die Wildniskernzone fallen auch diejenigen Flächen, die in § 5 (1) Nr. 2c der Schutzgebietsverordnung des NSG „Döberitzer Heide“ als Wildnisgebiet weitgehend von einer forstwirtschaftlichen Nutzung ausgenommen wurden.

Für das Naturerleben wurde um die Wildniskernzone herum eine **Naturerlebnis-Ringzone** geschaffen. Sie besteht aus einem Rundweg mit Anbindungsrouten und gestalteten Eingangsbereichen sowie diversen Rast- und Aussichtspunkten. Das im Norden des Gebietes schon vorher befindliche Netz von Wanderwegen mit mehreren Rastpunkten wurde ebenfalls in die Ringzone integriert. In dieser Naturerlebnis-Ringzone wird weiterhin traditionelle Landschaftspflege betrieben, um einige spezifische Erhaltungsziele der Schutzgebiete zu erreichen. Wesentliche Elemente sind die Beweidung mit Haustieren (Rinder, Schafe, Ziegen), Entbuschungen sowie ein zyklisches Abschieben des Oberbodens auf großen Offenflächen.

Das Gros der Besucher wird durch eine Bündelung von Infrastruktur in den Nordwesten des Planungsraumes gelenkt. Bei dem **Besucherzentrum** handelt es sich um ein Areal außerhalb der Naturschutzgebiete, jedoch innerhalb des Landschaftsschutzgebietes „Königswald mit Havelseen und Seeburger Agrarlandschaft“.

Ein bereits realisierter Baustein ist das **Schaugehege** für Wildtiere, das im Mai 2006 eröffnet wurde. Hier gibt es im Eingangsbereich ein kleines Café. Weiterhin ist ein Natur-Erlebnis-Camp mit Übernachtungsmöglichkeiten - vorrangig für jugendliche Teilnehmer der so genannten „Tage voller Wunder“, des Umweltbildungsprogrammes der Heinz Sielmann Stiftung - vorgesehen.

Entwicklung des Tierbestandes

Im **Jahr 2008** kamen zum vorhandenen Wildtierbestand von außerhalb drei Wisente und zwei Przewalski-Pferde hinzu. An Nachwuchs gab es zwei Fohlen und drei Rothirschkalber. Als erster Teil der Wildniskernzone wurde die Eingewöhnungszone schon am 25. August 2007 fertig gestellt – die ersten Tiere wurden hier aber erst Anfang 2008 eingesetzt. Insgesamt hielten sich im Laufe des Jahres sieben Przewalski-Pferde und vier Wisente auf, womit insgesamt elf große Pflanzenfresser in die

Eingewöhnungszone eingesetzt wurden. Legt man die Flächengröße von 50 Hektar zugrunde, ergab sich in der Eingewöhnungszone eine Besatzstärke von 0,2 Großvieheinheiten pro Hektar.⁷

Im **Jahr 2009** kamen weitere 16 Wisente hinzu. An Nachwuchs gab es drei Wisentkälber und drei Fohlen. In der Eingewöhnungszone ließ sich nach einem Jahr Großtierbesatz bereits visuell eine starke Veränderung bei der Vegetation erkennen. So bildeten sich vor allem im Offenland große vegetationsarme und vegetationsfreie Bereiche aus.

Im **Jahr 2010** kamen von außerhalb insgesamt zehn große Pflanzenfresser zum vorhandenen Tierbestand hinzu. An Nachwuchs gab es ein Fohlen, zwei Wisent- und fünf Rothirschkalber. Für verschiedene externe Projekte sind insgesamt drei Wisente aus dem Gebiet entnommen worden. Außerdem sind drei Pferde und ein Rothirsch verstorben.

Anfang Mai konnte die fast 2.000 Hektar große Wildniskernzone mit sechs Tränken sowie mit einem circa 21 Kilometer langen Wildniszaun und einem ebenso langen Rundweg fertig gestellt werden. Daneben wurden mehrere Veterinärwege von Altlasten beräumt. Der Wildniszaun besitzt seitdem eine Alarmmeldeanlage und setzt sich aus drei Teilzäunen zusammen, wobei die zwei inneren Zäune stromführend sind. Der sechsdrähtige Hauptzaun weist eine Höhe von knapp zwei Metern auf. Als Erstbesatz für die Wildniskernzone wurde der Tierbestand aus den Eingewöhnungszonen genutzt. Eine größere Zahl mit insgesamt 18 Tieren aus dem Schaugehege war Ende November hinzugekommen. Insgesamt sorgen nun in der Wildniskernzone 48 große Pflanzenfresser dafür, dass das vielfältige Landschaftsmosaik sowie die offene und halboffene Landschaft in der Döberitzer Heide erhalten bleiben.

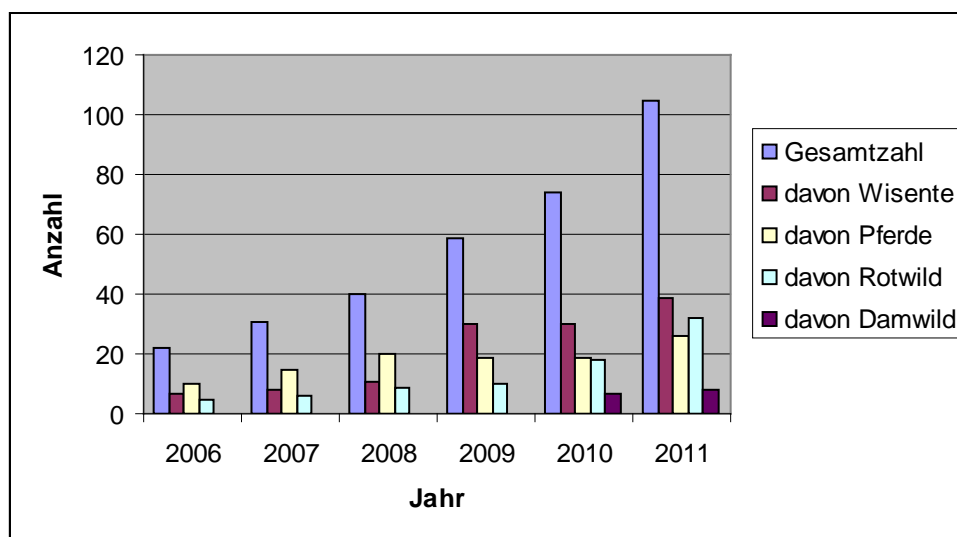


Abbildung 1 Entwicklung des Bestandes großer Pflanzenfresser in der Döberitzer Heide

Im **Jahr 2011** kamen in die Döberitzer Heide insgesamt sieben große Pflanzenfresser zum vorhandenen Tierbestand von außerhalb hinzu. Es handelt sich allerdings ausschließlich um Przewalski-Wildpferde. An Nachwuchs gab es im Jahr 2011 leider kein Fohlen, da ein Hengst erst wieder ab Mai im Schaugehege zur Verfügung stand. An Nachwuchs gab es beim Wisent insgesamt neun Kälber, von denen sechs

⁷ Fürstenow, J. (2010): Das Wildnisgroßprojekt Döberitzer Heide. In: Hoffmann, Krawczynski & Wagner (Hrsg.): Wasserbüffel in der Landschaftspflege. Lexxion Verlagsgesellschaft mbH, Berlin, Seiten 151-164.

erstmals in der Wildniskernzone geboren wurden. Außerdem kamen neun Rothirschkalber und ein Damhirschkalb zur Welt. Damit weist der Bestand zum Ende 2011 insgesamt 105 große Pflanzenfresser auf, der sich aus 26 Przewalski-Wildpferden, 39 Wisente, 32 Rot- und acht Damhirschen zusammensetzt (Abbildung 1).

Aufenthalt der Großtiere

Am 27. April 2010 wurden sowohl eine Wisentkuh als auch ein Bulle mit Sendern versehen. Der Bulle hat seinen Sender leider zum Jahresende verloren. Da Kühe und Bullen im Gebiet weitgehend zusammen beobachtet werden, können trotzdem erste Angaben zur Wanderung der Wisente gemacht werden: Der Wisentbestand hält sich vor allem in den südwestlichen Waldbereichen auf. Bei winterlichen Witterungsverhältnissen erkunden die Tiere auch weiter entfernt liegende Waldgebiete.

Bei den Pferden lässt sich - bisher ohne „Besenderung“ - feststellen, dass sie sich vor allem auf den größeren Offenflächen im Südwesten aufhalten. Dabei nutzen die Pferde sowohl trockene Standorte als auch die frischen bis feuchten Grünlandbereiche. Waldbereiche können von den Pferden zur Futteraufnahme ebenfalls genutzt werden, was in der Eingewöhnungszone beim gleichzeitigen Fehlen vom Wisent festgestellt werden konnte. Gern nutzen die Pferde auch solche trockenen oder frischen bis feuchten Offenflächen, die im Vorfeld entbuscht oder gemäht wurden.



Anforderungen an ein Monitoring von Seiten der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH

Zu Beginn des DBU-Projektes 26257 formulierte die Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH (SNL) eine Liste von Anforderungen / Wünschen an das Projekt. Im Folgenden werden die von uns damals genannten Punkte bezüglich ihrer Bedeutung und Erfüllung durch das DBU-Projekt beurteilt:

1) Leichter Zugriff auf die Zentrale Bibliothek!

Der Literaturbestand „Zentrale Bibliothek“ war über die gesamte Projektdauer hinweg für alle Projektpartner zugänglich, allerdings verteilt auf die verschiedenen Standorte. Die Literaturdaten wurden an der Universität Potsdam verwaltet. In der Hauptphase der Literaturlauswertung (2010-2011) wurde die Verwaltung und Organisation der Literaturdaten von einer Studentischen Hilfskraft unterstützt (Stefanie Gerull).

Der Arbeitsstand der Literaturdatenbank wird der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH im I. Quartal 2012 zur Weiternutzung übergeben.

2-3) Aktualisierung und stetige Ergänzung des vorhandenen Datenpools von zentraler Stelle - regelmäßiger Daten- und Erfahrungsaustausch?

Die Datenstände zum Projekt befinden sich in der laufend aktualisierten GIS-Datenbank. Darunter fallen Fachdaten zur Döberitzer Heide (z.B. Vegetationskartierungen, Bestand der Megaherbivoren, abiotische Parameter, etc.) sowie Datensätze aus der Fernerkundung (z.B. Luftbilder, Befliegungsdaten mit Hyperspektralsensoren, Satellitendaten, Feldspektren, Auswertungsergebnisse, etc.). Die Masterversion der GIS-Datenbank befindet sich beim Geoforschungszentrum (GFZ). Kopien befinden sich bei den Projektpartnern SNL und Universität Potsdam. Nach Abschluss des DBU-Projektes wird die GIS-Datenbank übergeben und von der SNL verwaltet.

Die regelmäßigen Projekttreffen dienten dem regelmäßigen Daten- und Erfahrungsaustausch. Einen großen Beitrag zum Erfahrungsaustausch erbrachte auch der Workshop „Monitoring in der Döberitzer Heide“ (16.-17.4.2010), der Akteure verschiedener Bereiche zusammenbrachte und die Präsentation sowie den Austausch aktueller Datensätze zu den verschiedenen Monitoringbereichen (Flora, Fauna und Abiotik) ermöglichte. Die Beiträge wurden im gleichnamigen Tagungsband der Reihe „Studien- und Tagungsberichte“ des LUGV Brandenburg fixiert; die Veröffentlichung ist Anfang 2012 geplant.

4) Welche Kosten fallen jährlich für eine Fortführung des Monitorings an?

Erst in Kenntnis der entwickelten Bearbeitungsprozeduren und des im Routinebetrieb tatsächlich entstehenden Aufwandes (DBU-Projekt 26257, thematisch verwandte Projekte) lässt sich eine belastbare Kostenkalkulation für die Fortführung des Monitorings vornehmen. Einschätzungen zur Durchführbarkeit von verschiedenen Monitoring-Methoden in der Döberitzer Heide sind zudem Elemente des Promotionsvorhabens von Frau Luft (Anlage QUAL).

5) Welche Rückschlüsse ergeben sich durch die Veränderung der Flora und Fauna auf den jeweils aktuellen Tierbesatz ?

Die Anwesenheit der Megaherbivoren in der Wildniskernzone der Döberitzer Heide ist nur einer von vielen Einflussfaktoren (u.a. Klimawandel, Sukzessionsprozesse). Die im DBU-Projekt 26257 entwickelte Monitoringmethode aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten ermöglicht belastbare Aussagen zum aktuellen Zustand der einzelnen Lebensraumtypen in den trockenen Offenländern. Dabei können auf Basis von Einzelterminen, später sicher auch Terminkombinationen, Karten der Vorkommenswahrscheinlichkeit und Beeinträchtigung von Vegetationseinheiten erzeugt werden, deren Betrachtung als Abfolge ein genaues Bild der Veränderungen in den Jahren zulässt. Um konkrete Rückschlüsse bezüglich der Besatzdichte der Megaherbivoren zu ziehen, sind gezieltere Betrachtungen nötig. Eine engere Verzahnung von Fernerkundungsaufnahmen in dichter Abfolge und Daten zu Aufenthaltsort und –dauer der Tiere an bestimmten Plätzen kann dazu einen entscheidenden Beitrag leisten, um andere Phänomene, als den Einfluss der Megaherbivoren, als Ursache für die Änderung zu erkennen und auszuschließen. Durch einen in der Vegetationsperiode 2011 erstmals durchgeführten Ansatz zur Habitatmodellierung werden daher auf Grundlage von Fernerkundungsdaten Aussagen zur Eignung potentieller Habitate für Ziel- und Indikatorarten abgeleitet. Hierbei können konkrete Arten gewählt werden, die z.B. an offenen Sandboden angepasst sind und deren Vorkommen bei stark von den großen Pflanzenfressern frequentierten Bereichen steigen müssten. Im Zuge der Habitatmodellierung 2011 wurden Bereiche unterschiedlicher Vorkommenswahrscheinlichkeiten prognostiziert und diese anschließend terrestrisch untersucht, um so die Eignung der Modellparameter abzuschätzen und die Übereinstimmung des theoretischen Ansatzes mit der Realität zu testen. Dieses Verfahren wird in den Promotionsvorhaben von Frau Luft und Herrn Neumann weiter bearbeitet und auf ein größeres Set an Indikatoren angewendet (Anlage QUAL).

Außerdem beschäftigt sich ein Interdisziplinäres Studienprojekt (ISP) der Studentinnen Lisa Domnig und Anne Karpinski mit den Auswirkungen der Anwesenheit der unterschiedlichen Megaherbivorenarten hauptsächlich auf die Vegetation. Das Projekt wurde im Frühjahr 2011 begonnen und wird voraussichtlich bis Mitte 2012 abgeschlossen sein.

6) Welche Erkenntnisse ergeben sich auf die Auswahl der jeweiligen Großherbivoren?

Im Wesentlichen gilt hier ebenfalls der Verweis auf weitere Analysen im Zuge der Habitatmodellierung in der Vegetationsperiode 2012. Grundsätzlich wird es jedoch schwierig, zum jetzigen Zeitpunkt (relativ geringe Besatzdichte) die Auswirkung der einzelnen Megaherbivorenarten auf Flora und Fauna zu unterscheiden. Mit den Unterschieden bezüglich des Nahrungsspektrums, der Bewegung im Raum, dem Sozialverhalten etc. beschäftigt sich das im vorigen Abschnitt beschriebene ISP. An einzelnen Stellen, die bevorzugt besucht werden, sind jedoch bereits Nachweise der Aktivität gelungen.

7) Kontrolle der Landschaftspflege, insbesondere auf den Flächen der Vertragspartner: Verteilung von "Problemarten" (Ginster, Land-Reitgras, Sumpf-Segge, Späte Traubenkirsche, Weißdorn)

Der Einsatz von Fernerkundungsmethoden ermöglicht die Analyse eines sehr breiten Spektrums an Pflanzengesellschaften und auch Einzelarten. Von den genannten „Problemarten“ sind Ginster, Land-Reitgras und Weißdorn relativ problemlos erkennbar. Aufgrund der sie überdeckenden Vegetation sind dagegen Sumpf-Segge und Traubenkirsche schwieriger zu erkennen. Möglichkeiten und Grenzen bezüglich der satellitengestützten Abbildung zur Verteilung von Problemarten wurden bereits durch GFZ und SNL erörtert.

8) Lässt sich auf den Pflegeflächen auch die aktuell durchgeführte Pflege erkennen?

Zur Überprüfung der Zustände von Pflegeflächen kann wiederum auf die Promotionsvorhaben verwiesen werden (Anlage QUAL). Durch Leit- und Zielarten der Behandlungs-Richtlinie zum Wildnisgroßprojekt von 2001 können die Auswirkungen der Pflegemaßnahmen auf die jeweiligen Habitate erkannt werden. Als Grundlage hierfür ist die Erstellung eines „Pflegeshapes“ von Seiten der SNL angedacht, in dem alle aktuellen Pflegemaßnahmen und -flächen kartographisch dargestellt sind.

Als einfache und kostengünstige Methode im Vergleich zur Überwachung der Flächen mit „hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten“ wird die regelmäßige Überfliegung der Fläche mit Kleinflugzeug und Digitalkamera empfohlen (einmal in einem Monat oder in zwei Monaten der Vegetationsperiode), die dabei gewonnenen Aufnahmen sollten von ausreichender Güte sein, um die Durchführung der Pflege zu dokumentieren.

9) Kontrolle der Verteilung von Offenland (incl. offener Boden) und Bewaldung, kritischer Biotopzustände für bestimmte Arten (Leit- und Zielarten) oder auch für so genannte diagnostische Arten (z.B. *Hipparchia statilinus*, *Bembix rostrata* und *Brenthis ino*, aber auch *Prunus serotina*), Prozesskontrolle (Verbuschung und Bewaldung)

Die Verteilung einzelner Biotoptypen und Lebensraumtypen wird durch die Methoden der hyperspektralen Erfassung des Vegetationskontinuums und der darauf beruhenden Bewertung aufgezeigt. Die Analyse einer langfristigen Zeitreihe, die jedoch nicht in hoher räumlicher Auflösung vorliegt, hat ergeben, dass mit diesen Daten durchaus verwertbare Aussagen zum Landschaftswandel seit der Aufgabe der militärischen Nutzung erlangt werden konnten. Anhand von Zeitreihen hyperspektraler Aufnahmen wird das in größerem Detaillierungsgrad auch in Zukunft möglich sein. So können z.B. Entwicklungen von Dominanzverhältnissen bestimmter Biotoptypen graphisch dargestellt werden. Als zusätzliche Information bezieht der Ansatz der Habitatmodellierung auch die so genannten diagnostischen Arten mit ein. Durch die Analyse der Habitatpräferenz des Eisenfarbigen Samtfalters (*Hipparchia statilinus*) in der Vegetationsperiode 2011 konnten so erstmalig Rückschlüsse auf die Auswirkung der Veränderung des Verhältnisses Offenland-Wald auf Tierarten gezogen werden.

10) Wann müssen welche Pflegemaßnahmen durchgeführt werden? Letzteres sollte vor allem vor dem Hintergrund der Anforderungen von Leit- und Zielarten stehen.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Hyperspektraldatenauswertung in Kombination mit dem Ansatz der Habitatmodellierung wird es möglich sein, den Handlungsbedarf auf einzelnen Flächen anhand der Artenzusammensetzungen abzuleiten. Die Art der Pflegemaßnahmen ist dann jeweils von den Ansprüchen und Bedürfnissen der jeweiligen Zielart abhängig und kann nicht pauschal abgeleitet

werden. Stärker als bisher muss der Effekt, den konkrete Maßnahmen erzielen sollen und erzielt haben, am Boden beobachtet und in die Modellierung einbezogen werden.

- 11) Welche Aufwendungen, auch finanziell, müssen zur Landschaftspflege eingeplant werden? Das heißt, wann wird z. B. die kritische Grenze bei der Bewaldung überschritten, und wann muss dann wie viel Fläche gepflegt werden (Erkennung und Ableitung, Korrelationen).

Die im DBU-Projekt entwickelte Methodik liefert die Grundlage für die Erkennung kritischer Grenzen in der Vegetationsentwicklung. Abundanzen von Leit- und Zielarten dienen als Indikator für den jeweiligen Erhaltungszustand. Eine detaillierte Kostenschätzung für die notwendigen Pflegemaßnahmen ist kein definierter Bestandteil des DBU-Projekts.

- 12) Ein weiteres wichtiges Thema wäre für uns die Erkennung von neu entstandenen "Störungen" in Bezug auf militärische Altlasten.

Die aktuelle Situation der militärischen Altlasten wird auf kartographischen Übersichten (z.B. von der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus) deutlich. Bezüglich der konkreten Gefahren (z.B. durch Munitionsfunde, Austreten von Chemikalien), hervorgerufen durch die Aktivitäten der Megaherbivoren, wurden keine genauen Untersuchungen durchgeführt. Allerdings ermöglicht z.B. die Überlagerung der Raumnutzungsdaten aus der Telemetrie mit den jeweils aktuellen Vegetationsentwicklungen Aussagen zu den von den Tieren besonders präferierten Stellen und so evtl. auch zu potentiellen Störstellen.

- 13) Alles in allem sollte sich eine auswertbare und lesbare Analytik für SNL ergeben

Das DBU-Projekt sollte die Anwendbarkeit von innovativen Fernerkundungsmethoden für naturschutzfachliche Fragestellungen im Monitoring testen. Die Methodik hat sich in vielerlei Hinsicht als hilfreich für Monitoringfragen erwiesen und ist für den erfahrenen Nutzer nachvollziehbar dokumentiert. Für den technischen Teil des Verfahrens, die Spektralanalyse und -auswertung jeweils aktueller Satellitendaten wird es allerdings auch in mittlerer Zukunft der Expertise von Fernerkundungsspezialisten bedürfen. Hier steht z.B. die Luftbild Umwelt Planung GmbH (LUP) als Auftragnehmer zur Verfügung. Unbedingt in die Zukunft zu übernehmen ist die im Projekt praktizierte intensive Zusammenarbeit von Vegetationskunde und Fernerkundung. Nur so ist das große Potential der Methode weiter zu stärken.

SNL erhält mit den Ergebnissen des DBU-Projektes 26257 die Grundlage für das Monitoring der Landschaftsveränderung und zur Ableitung von Managementmaßnahmen.

gez. Peter Nitschke, Geschäftsführer

Anhang V1: Gesamtbiootypenliste und Lebensraumtypenliste der Döberitzer Heide und des Ferbitzer Bruches

Auswahlstatus der Biootypen im Projekt und landschaftspflegerische Relevanz der Biootypen

Legende: Auswahlstatus: 1= 2008, 2= 2009, 4= 2010; 3= ausgeschlossen; Kriterien: verbaut, zu kleinflächig, nicht repräsentativ für Gebiet, bei anderen Kategorien erfasst.

Abk: AS: Auswahlstatus; BTC: Biootyp Code; LRT: Lebensraumtyp; N ZB: Naturschutzfachlicher Zielbiootyp

B: beeinträchtigter Biootyp

AS	BTC	Biootyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
1	022111	Schilf-Röhricht an Standgewässern				
2	0451102	Schilfröhricht nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe, Verlandungsmoor				
2	0221151	Teichsimsen-Röhricht				
2	04519	sonstige Röhrichte nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe				
1	04530	Seggenriede mit überwiegenden rasig wachsenden Großseggen nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe			x	x
2	03110	vegetationsfreie und -arme Sandflächen			x	x
1	03210	Landreitgrasfluren				x
1	032101	Landreitgrasfluren, weitgehend ohne Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				x
2	05102	Feuchtwiesen nährstoffarmer bis mäßig nährstoffreicher Standorte (Pfeifengraswiesen)	6410	überwiegend Erhaltungszustand A, Mahd oder Beweidung, artenreich, großflächig	x	
2	0510201	Feuchtwiesen nährstoffarmer bis mäßig nährstoffreicher Standorte (Pfeifengraswiesen), weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)	6410	überwiegend Erhaltungszustand A, Mahd oder Beweidung, artenreich, großflächig	x	
2	05103	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte			x	
2	0510302	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte, mit spontanem Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				x
2	051031	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte, artenreiche Ausprägung			x	
2	0510311	Feuchtwiesen nährstoffreicher Standorte, artenreiche Ausprägung, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)			x	
2	051051	Feuchtwiesen, artenreiche Ausprägung			x	
2	051121	Frischwiesen, artenreiche Ausprägung	6510	überwiegend Erhaltungszustand A, Mahd und Beweidung, sehr artenreich, mittlere Flächengröße	x	
2	0511211	Frischwiesen, artenreiche Ausprägung, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)	6510	überwiegend Erhaltungszustand A, Mahd und Beweidung, sehr artenreich, mittlere Flächengröße	x	
2	051122	Frischwiesen, verarmte Ausprägung				
2	0511221	Frischwiesen, verarmte Ausprägung, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
2	0511311	ruderales Wiesen, artenreiche Ausprägung, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				x
2	0511322	ruderales Wiesen, verarmte Ausprägung, mit spontanem Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				x
1	0513001	Grünlandbrachen, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				x
2	051311	Grünlandbrache feuchter Standorte, von Schilf dominiert				
1	051316	Grünlandbrache feuchter Standorte, von sonstigen Süßgräsern dominiert				
1	051321	Grünlandbrachen frischer Standorte, artenreich (typische Grünlandarten)				
1	051322	Grünlandbrachen frischer Standorte, artenarm				
2	051331	Grünlandbrachen trockener Standorte mit einzelnen Trockenrasenarten				
2	0513311	Grünlandbrachen trockener Standorte mit einzelnen Trockenrasenarten, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
2	051332	artenarme oder ruderales trockene Brachen				

AS	BTC	Biotoptyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
2	051211	silbergrasreiche Pionierfluren	2330	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht, großflächig	x	
1	05121101	silbergrasreiche Pionierfluren, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)	2330	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht, großflächig	x	
1	051212	Grasnelken-Fluren und Blauschillergras-Rasen	6120	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht, großflächig	x	
1	0512122	Heidenelken-Grasnelkenflur	6120	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht, großflächig	x	
2	0512132	Thymian-Schafschwingel-Rasen und Pionierflur des Schmalrispigen Straußgrases	6120	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht	x	
1	051215	kennartenarme Rotstraußgrasfluren auf Trockenstandorten				x
1	05141	Hochstaudenfluren feuchter bis nasser Standorte	6430	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht, kleinflächig	x	
2	051412	flächige Hochstaudenfluren auf Grünlandbrachen feuchter bis nasser Standorte	6430	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, teilweise beweidet oder entbuscht, kleinflächig	x	
2	051413	Brennesselfluren feuchter bis nasser Standorte				
2	051414	Neophytenfluren feuchter bis nasser Standorte				
2	051421	Staudenfluren (Säume) frischer, nährstoffreicher Standorte, artenreiche Ausprägung				
2	051422	Staudenfluren (Säume) frischer, nährstoffreicher Standorte, verarmt, ruderalisiert				
1	0610201	trockene Sandheide, weitgehend ohne Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)	4030	guter bis sehr guter Erhaltungszustand, weiter in Ausbreitung, überwiegend beweidet und entbuscht	x	
2	0610202	trockene Sandheide, mit Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)	4030	guter bis sehr guter Erhaltungszustand, weiter in Ausbreitung, teilweise beweidet und entbuscht		x
1	0611001	Besenginsterheide, weitgehend ohne Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				x
2	071011	Gebüsche nasser Standorte, Strauchweidengebüsche				
4	045621	Weidengebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe (Gehölzdeckung 10- 30%)				
4	045622	Weidengebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe (Gehölzdeckung 30- 50%)				
4	045623	Weidengebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe (Gehölzdeckung > 50%)				
4	071021	Laubgebüsche frischer Standorte, überwiegend heimische Arten				
4	07103	Laubgebüsche trockener und trockenwarmer Standorte				
4	071111	Feldgehölze nasser oder feuchter Standorte, überwiegend heimische Gehölzarten				
4	07112	Feldgehölze frischer u./o. reicher Standorte				
4	07114	Feldgehölze armer u./o. trockener Standorte				
4	08190	Eichenmischwälder bodensaurer Standorte	9190	mittlerer bis sehr guter Erhaltungszustand, tlw. starke Zunahme von Padus serotina, teilweise Nutzung		

AS	BTC	Biotoptyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
4	08192	Eichenmischwälder bodensaurer Standorte, frisch bis mäßig trocken	9190	mittlerer bis sehr guter Erhaltungszustand, tlw. starke Zunahme von Padus serotina, teilweise Nutzung		
4	081923	Straußgras-Eichenwald	9190	mittlerer bis sehr guter Erhaltungszustand, tlw. starke Zunahme von Padus serotina, teilweise Nutzung		
4	08200	Eichenmischwälder trockenwarmer Standorte	9190	mittlerer bis sehr guter Erhaltungszustand, tlw. starke Zunahme von Padus serotina, teilweise Nutzung		
4	08210	Kiefernwälder trockenwarmer Standorte				
4	08211	Silbergras-Kieferngehölz				
4	08281	Vorwälder trockener Standorte				
4	08281	Vorwälder trockener Standorte				
4	082811	Eichen-Vorwald trockener Standorte				
4	082814	Robinien-Vorwald trockener Standorte				
4	082816	Birken-Vorwald trockener Standorte				
4	082817	Espen-Vorwald trockener Standorte				
4	082819	Kiefern-Vorwald trockener Standorte				
4	082821	Eichen-Vorwald frischer Standorte				
4	082824	Robinien-Vorwald frischer Standorte				
4	082826	Birken-Vorwald frischer Standorte				
4	082827	Espen-Vorwald frischer Standorte				
3	01130	Gräben				
3	01131	Gräben, naturnah, unbeschattet				
3	0113102	Gräben, naturnah, unbeschattet, trockengefallen oder nur stellenweise wasserführend				
3	01132	Gräben, naturnah, beschattet				
3	0113201	Gräben, naturnah, beschattet, ständig wasserführend				
3	011331	Gräben, weitgehend naturfern, ohne Verbauung, unbeschattet				
3	0113311	Gräben, weitgehend naturfern, ohne Verbauung, unbeschattet, ständig wasserführend				
3	011332	Gräben, weitgehend naturfern, ohne Verbauung, beschattet				
3	0113321	Gräben, weitgehend naturfern, ohne Verbauung, beschattet, ständig wasserführend				
3	0113331	Gräben, weitgehend naturfern, ohne Verbauung, teilweise beschattet, ständig wasserführend				
3	02120	perennierende Kleingewässer (Sölle, Kolke, Pfuhe etc., < 1 ha)				
3	02121	perennierende Kleingewässer (Sölle, Kolke, Pfuhe etc., < 1 ha), naturnah, unbeschattet				
3	02122	perennierende Kleingewässer (Sölle, Kolke, Pfuhe etc., < 1 ha), naturnah, beschattet				
3	02150	Teiche				
3	02151	Teiche, unbeschattet				
3	02167	sonstige Abgrabungsgewässer				
3	02210	Röhrichtgesellschaften an Standgewässern				
3	05142	Staudenfluren (Säume) frischer, nährstoffreicher Standorte				
3	03200	ruderales Pionier-, Gras- und Staudenfluren				
3	032001	ruderales Pionier-, Gras- und Staudenfluren, weitgehend ohne Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
3	032002	ruderales Pionier-, Gras- und Staudenfluren, mit Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				
3	03242	Möhren-Steinkleefluren (Dauco-Melilotion)				
3	03250	Ufer-Zweizahn-Gesellschaften und Melden-Uferfluren (Bidentetea tripartitae) auf sekundären Standorten				
3	03251	Ufer-Zweizahn-Gesellschaften (Bidentetea tripartitae) auf sekundären Standorten				
3	04326	gehölzarmes Degenerationsstadium der Sauer-Zwischenmoore (mesotroph-saure Moore)				
3	045	nährstoffreiche (eutrophe bis polytrophe) Moore und Sümpfe				
3	04510	Röhrichte nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe				

AS	BTC	Biotoptyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
3	04511	Schilfröhricht nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe				
3	04590	sonstige nährstoffreiche (eutrophe bis polytrope) Moore und Sümpfe				
3	051	Feuchtwiesen und Feuchtweiden				
3	05101	Großseggenwiesen (Streuwiesen)				
3	0510101	Großseggenwiesen (Streuwiesen), weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
3	0510102	Großseggenwiesen (Streuwiesen), mit spontanem Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				
3	05110	Frischwiesen und Frischweiden				
3	051111	artenreiche Magerweiden				
3	0511111	artenreiche Magerweiden, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
3	0511112	artenreiche Magerweiden, mit spontanem Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				
3	051131	ruderales Wiesen, artenreiche Ausprägung				
3	05131	Grünlandbrachen feuchter Standorte				
3	051319	sonstige Grünlandbrache feuchter Standorte				
3	05120	Trockenrasen				
3	05120001	Trockenrasen, weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
3	05120002	Trockenrasen, mit spontanem Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				
3	05121001	Sandtrockenrasen (einschließlich offene Sandstandorte und Borstgrasrasen trockener Ausprägung), weitgehend ohne spontanen Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung < 10%)				
3	05121002	Sandtrockenrasen (einschließlich offene Sandstandorte und Borstgrasrasen trockener Ausprägung), mit spontanem Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				
3	05150	Intensivgrasland				
3	0611002	Besenginsterheide, mit Gehölzbewuchs (Gehölzdeckung 10-30%)				
3	07100	flächige Laubgebüsche				
3	07101	Gebüsche nasser Standorte				
3	04560	Gehölze nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe				
3	045613	Erlen-Moorgehölz nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe (Gehölzdeckung > 50%)				
3	04562	Weidengebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe				
3	0456222	Weidengebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe (Gehölzdeckung 30-50%), Verlandungsmoor				
3	045633	Faulbaumgebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe (Gehölzdeckung > 50%)				
3	04569	sonstige Gebüsche nährstoffreicher (eutropher bis polytropher) Moore und Sümpfe				
3	043253	Faulbaum- und Faulbaum-Weiden- sowie sonstige Moorgebüsche der Sauer-Zwischenmoore (mesotroph-saure Moore) (Gehölzdeckung > 50%)	7140	schlechter Erhaltungszustand, starke Austrocknung, Artenschwund, keine Nutzung		
3	07102	Laubgebüsche frischer Standorte				
3	07110	Feldgehölze				
3	07111	Feldgehölze nasser oder feuchter Standorte				
3	071312	lückige Hecken und Windschutzstreifen ohne Überschirmung, überwiegend heimische Gehölze				
3	07132	Hecken und Windschutzstreifen, von Bäumen überschirmt (> 10% Überschirmung)				
3	071321	geschlossene Hecken und Windschutzstreifen, von Bäumen überschirmt (> 10% Überschirmung), überwiegend heimische Gehölze				
3	071411	Alleen, mehr oder weniger geschlossen und in gesundem Zustand, überwiegend heimische Baumarten				
3	071412	Alleen, lückig oder hoher Anteil an geschädigten Bäumen, überwiegend heimische Baumarten				
3	07142	Baumreihen				

AS	BTC	Biotoptyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
3	071421	Baumreihen, mehr oder weniger geschlossen und in gesundem Zustand, überwiegend heimische Baumarten				
3	071424	Baumreihen, lückig oder hoher Anteil an geschädigten Bäumen, überwiegend nicht heimische Baumarten				
3	07150	Solitärbäume und Baumgruppen				
3	071511	markanter Solitärbaum, heimische Baumart				
3	0715111	markanter Solitärbaum, heimische Baumart, Altbaum				
3	0715112	markanter Solitärbaum, heimische Baumart, mittleres Alter (> 10 Jahre)				
3	07153	einschichtige oder kleine Baumgruppen				
3	071531	einschichtige oder kleine Baumgruppen, heimische Baumarten				
3	08100	Moor-, Bruch- und Sumpfwälder				
3	08102	Birken-Moorwälder	91D1	schlechter Erhaltungszustand, starke Austrocknung, Artenschwund, keine Nutzung		
3	08103	Erlen-Bruchwälder, Erlenwälder	91E0	mittlerer bis guter Erhaltungszustand, weitere Austrocknung, Artenschwund, keine Nutzung		
3	081038	Brennessel-Schwarzerlenwald				
3	08110	Erlen-Eschen-Wälder	91E0	guter Erhaltungszustand, keine Nutzung		
3	08121	Silberweiden-Auenwald	91E0	guter Erhaltungszustand, keine Nutzung		
3	08130	Stieleichen-Ulmen-Auenwald	91F0	guter Erhaltungszustand, keine Nutzung		
3	08262	junge Aufforstungen				
3	08280	Vorwälder				
3	08282	Vorwälder frischer Standorte				
3	082825	Pappel-Vorwald (ohne Espe) frischer Standorte				
3	082828	sonstiger Vorwald frischer Standorte				
3	08283	Vorwälder feuchter Standorte (außerhalb intakter Moore)				
3	082833	Eschen-Vorwald feuchter Standorte	91E0	guter Erhaltungszustand, keine Nutzung		
3	082837	Erlen-Vorwald feuchter Standorte				
3	082838	sonstiger Vorwald feuchter Standorte				
3	08292	naturahe Laubwälder und Laub-Nadel-Mischwälder mit heimischen Baumarten frischer u./o. reicher Standorte				
3	08300	Laubholzforste (weitgehend naturferne Forste und aus Sukzession hervorgegangene Wälder mit nicht heimischen Holzarten)				
3	08310	Eichenforste (Stieleiche, Traubeneiche)				
3	083109	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083126	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit Buche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und Birke (Nebenbaumart, Fl.-Ant. 10-30%)				
3	083129	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit Buche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08314	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit Robinie (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	083149	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit Robinie (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083169	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit Birke (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083179	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit Erle (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08319	Eichenforste (Stiel-/ Traubeneiche) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083209	Buchenforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				

AS	BTC	Biotoptyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
3	083219	Buchenforste mit Eiche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083269	Buchenforste mit Birke (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08329	Buchenforste mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08340	Robinienforste				
3	083409	Robinienforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08341	Robinienforste mit Eiche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	083419	Robinienforste mit Eiche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083469	Robinienforste mit Birke (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08349	Robinienforste mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08350	Pappelforste				
3	08360	Birkenforste				
3	083609	Birkenforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08361	Birkenforste mit Eiche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	083619	Birkenforste mit Eiche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08362	Birkenforste mit Buche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	083629	Birkenforste mit Buche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08369	Birkenforste mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08370	Erlenforste				
3	083709	Erlenforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083719	Erlenforste mit Eiche (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083769	Erlenforste mit Birke (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08390	Laubholzforste aus mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	083909	Laubholzforste aus mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08500	Laubholzforste mit Nadelholzarten (naturferne Bestände)				
3	085108	Eichenforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit Kiefer (Nebenbaumart, Fl.-Ant. 10-30%)				
3	08518	Eichenforste mit Kiefer (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	08518	Eichenforste mit Kiefer (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	085208	Buchenforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit Kiefer (Nebenbaumart, Fl.-Ant. 10-30%)				
3	08528	Buchenforste mit Kiefer (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	085608	Birkenforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit Kiefer (Nebenbaumart, Fl.-Ant. 10-30%)				
3	08568	Birkenforste mit Kiefer (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	08578	Erlenforste mit Kiefer (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	08590	Laubholzforste aus mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen mit Nadelholzarten				
3	085908	Laubholzforste aus mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit Kiefer (Nebenbaumart, Fl.-Ant. 10-30%)				

AS	BTC	Biotoptyp Text	LRT	Ausprägung LRT	N ZB	B
3	085909	Laubholzforste aus mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Nadelholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	086809	Kiefernforste ohne Mischbaumart (Fl.-Ant. > 30%) mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08681	Kiefernforste mit Eiche (Stiel-, Traubeneiche) (Mischbaumart, Fl.-Ant. 10-30%)				
3	086819	Kiefernforste mit Eiche (Stiel-, Traubeneiche) (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08686	Kiefernforste mit Birke (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%)				
3	086869	Kiefernforste mit Birke (Mischbaumart, Fl.-Ant. > 30%) und mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	08689	Kiefernforste mit mehreren Laubholzarten in etwa gleichen Anteilen				
3	091253	extensiv genutzte Lehmäcker				
3	09130	Intensiväcker				
3	09134	intensiv genutzte Sandäcker				
3	09140	Ackerbrachen				
3	10125	Waldschneisen				
3	12261	Einzel- und Reihenhausbauung mit Ziergärten				
3	126102	Straßen ohne bewachsenen Mittelstreifen				
3	12650	Wege				
3	12651	unbefestigter Weg				
3	12661	Gleisanlagen außerhalb der Bahnhöfe				
3	12700	anthropogene Sonderflächen				
3	12720	Aufschüttungen und Abgrabungen				
3	12820	militärische Sonderbauflächen				
3	12900	Gebäudehabitats				
3	12930	Gebäudeinnenräume mit Bedeutung als Wildtierlebensraum				

Anlage V2: Liste der Vegetationseinheiten im Offenland der Döberitzer Heide

Codes					Beschreibung					
Level1	Level2	Level3	Level4	Level5	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5	Name
1	1	1	1		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffarm	Pfeifengraswiesen		Pfeifengraswiesen
1	1	2	1	1	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Röhrichte & Seggenriede	Schilf mit Wunderseeaue	Schilf-Röhricht
1	1	2	1	2	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Röhrichte & Seggenriede	Schilf	Schilf-Röhricht
1	1	2	1	3	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Röhrichte & Seggenriede	Flatterbinse	Flatterbinsen-Röhricht
1	1	2	1	4	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Röhrichte & Seggenriede	Schlanksegge	Schlankseggen-Röhricht
1	1	2	1	5	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Röhrichte & Seggenriede	Schlanksegge Ü zu Hochstaudenflur	Feuchte Hochstaudenflur mit Schlanksegge
1	1	2	2	1	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Feuchtwiesen	Feuchte Hochstaudenflur	Feuchte Hochstaudenflur mit Sumpfstorchschnabel / Mädesüß
1	1	2	2	2	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Feuchtwiesen	Sumpfschilf	Seggenbestände, Sumpfschilf
1	1	2	2	3	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Feuchtwiesen	Zweizeilige Segge	Seggenbestände, Zweizeilige Segge
1	1	2	2	4	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Feuchtwiesen	Calthion-Feuchtwiesen	Feuchtwiese Ü zu Flutrasen
1	1	2	2	5	Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	nasse Standorte	nährstoffreich	Feuchtwiesen	Hainsegge	Seggenbestände, Hainsegge
1	2	1			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	wechselfeuchte Frischwiese			Frischwiese, artenreich, wechselfeucht
1	2	1			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	wechselfeuchte Frischwiese			Frischwiese, artenreich, wechselfeucht
1	2	1			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	wechselfeuchte Frischwiese			Frischwiese, artenreich, wechselfeucht
1	2	1			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	wechselfeuchte Frischwiese			Frischwiese, artenreich, wechselfeucht
1	2	2	1		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frischwiese	Frischwiese, typisch, artenreich		Frischwiese, artenreich, typisch
1	2	2	2		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frischwiese	Frischwiese verbuscht		Frischwiese, artenreich, verbuscht
1	2	2	3		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frischwiese	Frischwiese mager		Frischwiese, artenreich, magere AF
1	2	2	4		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frischwiese	Frischwiese ruderal		Frischwiese, ruderal
1	2	2	5		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frischwiese	Frischwiese fett		Frischwiese, artenreich, Ü zu Fettwiese
1	2	3	1		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frische Gras- und Staudenflur	Goldrute AF		Frische Staudenflur, Goldruten-AF
1	2	3	2		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frische Gras- und Staudenflur	Fiederzwenken AF		Frische ruderale Grasflur, Fiederzwenken-AF
1	2	3	3		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frische Gras- und Staudenflur	Glatthafer AF		Frische ruderale Grasflur, Glatthafer-AF
1	2	3	4		Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	frische Standorte	Frische Gras- und Staudenflur	Landreitgras AF		Frische ruderale Grasflur, Landreitgras-AF
1	3	1			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	Landreitgras-Dominanz	trockene AF			Landreitgrasdominanz, trocken
1	3	2			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	Landreitgras-Dominanz	frische AF			Landreitgrasdominanz, frisch
1	3	3			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	Landreitgras-Dominanz	Röhricht-AF			Landreitgrasdominanz, Röhricht

Codes					Beschreibung						
Level1	Level2	Level3	Level4	Level5	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5	Name	
1	3	4			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	Landreitgras-Dominanz	ruderales Misch AF			Landreitgrasdominanz, Brennessel, Rainfarn	
1	4	1			Gras- und Staudenfluren frischer bis nasser Standorte	Brennesselfluren				Brennesselflur	
2	1	1	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	basenreichere Standorte	typisch kräuterreich		Sandtrockenrasen, basenreich	
2	1	1	2		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	basenreichere Standorte	ruderales Landreitgras AF		Sandtrockenrasen, basenreich, gestört	
2	1	2	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	basenärmere Standorte	typisch kräuterreich		Sandtrockenrasen, basenarm	
2	1	2	2		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	basenärmere Standorte	gräserdominiert Rotes Straußgras AF		Sandtrockenrasen, basenarm, gräserdominiert	
2	1	3	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	Besenginsterheide	Vital		Besenginsterheide	
2	1	3	2		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	Besenginsterheide	Alterstadium		Besenginsterheide, Alterstadium	
2	1	4	2		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	verbuscht			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	1	4	2		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	verbuscht			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	1	4	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	verbuscht			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	1	4	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	verbuscht			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	1	4	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	verbuscht			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	1	4	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	verbuscht			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	1	5			Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Sandtrockenrasen	Deschampsia flexuosa AF			Sandtrockenrasen, verbuscht	
2	2	1			Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Heidekraut-Heide	typisch			Heidekraut-Heide, typisch	
2	2	2			Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Heidekraut-Heide	ruderal			Heidekraut-Heide, gestört	
2	2	3			Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Heidekraut-Heide	vergrast			Heidekraut-Heide, vergrast	
2	2	4			Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Heidekraut-Heide	flechtenreich			Heidekraut-Heide, Kryptogamenreich	
2	3	1			Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Offene Sandpionierfluren	Flechtenfluren Alterstadium Silbergrasfluren			Flechtenfluren	
2	3	2	1		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Offene Sandpionierfluren	Silbergrasfluren	Übergang zu SaMa		Silbergrasfluren, Übergang zu Sandtrockenrasen	
2	3	2	2		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Offene Sandpionierfluren	Silbergrasfluren	typisch		Silbergrasfluren, typisch	
2	3	2	3		Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Offene Sandpionierfluren	Silbergrasfluren	Landreitgras AF		Silbergrasfluren, Übergang zu Sandtrockenrasen	
2	4				Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Borstgrasrasen				Borstgrasrasen, trocken	
2	4				Gras- und Staudenfluren trockener Sandstandorte	Borstgrasrasen				Borstgrasrasen, trocken	

Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32					
Flächennummer	149a	148a	147a	036a	neu 3a	neu 3b	neu 14a	neu 14b	T1 - 2	T1 - 3	T1 - 9	156	T1 - 4	T1 - 6	T1 - 7	T1 - 1	039a	T1 - 8	041a	T3 - 8	152	151	153	074a	075a	076a	077a	038a	T3 - 1	T3 - 2	T3 - 5	T3 - 7					
Gehölzarten																																					
S Populus tremula	4																				20	12	5	40													
S Betula pendula	2				40	x																															
Sarothamnus scoparius	5			1					1	1				2				7																			
Betula pendula	2				3	x																															
Arten des Wirtschaftsgrünlandes																																					
Holcus lanatus	3											0,5		5																				0,1			
Achillea millefolium ssp. millefo	2			1							2																										
Vicia angustifolia	2			0,1							0,5																										
Sonstige Arten																																					
Jasione montana	1										1																										
Hypochaeris radicata	1																																			0,1	
Agrostis vinealis	1																																		1		
Plantago lanceolata	1										3																										
Trifolium arvense	1										3																										
Dianthus deltoides	1			0,5																																	
Galium verum et wirtgenii	1													5																							
Peucedanum oreoselinum	1										5																										
Dianthus carthusianorum	1										3																										
Prunus serotina juv.	1					0,5																															

BEW1: Bewertung Silbergrasfluren (LRT 2330)

Laufende Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
Flächennummer	049b	049a	078a	078a	T36	051b	051a	123a	146a	146b	126a	150a	T23	121a	086a	071a	130a	131a	129a	125a	128a	T21	072a	T33	071a	T22	T34	072a	059b	059a	030b	029b	029a	158a	159a	T35	T32		
Jahr	2009	2009	2009	2010	2010	2009	2009	2009	2010	2010	2009	2010	2010	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2009	2009	2009	2009	2009	2010	2010	2010	2010	2010		
Größe m x m)	1x1	5x5	2x2	2x2	1x1	5x5	1x1	2x2	1x1	5x5	2x2	1x1	1x1	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	1x1	2x2	1x1	2x2	1x1	1x1	2x2	5x5	1x1	5x5	1x1	5x5	1x1	1x1	1x1	1x1		
Gesamtbewertung spektral (ABC)	B	B	C	C	A	A	A	B	B	B	A	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	A	
Gesamtbewertung terrestrisch (ABC)	B	B	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	e	B	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	
Vergleich			-	-	+						+			+	+	+	+		+		+					+	+	+	+	+	+	+	+	-	-				
Gesamtbewertung spektral (BC)	B	B	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	B	B	
Gesamtbewertung terrestrisch (BC)	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Vergleich			-	-																																-	-		

Terrestrisches Bewertungsverfahren

Gesamtbewertung terrestrisch	B	B	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	B	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	
Wertung Habitatstrukturen	C	B	C	B	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	B	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
Wertung Struktur- und Vegetationstypen	C	C	C	C	C	B	B	C	C	C	B	C	A	B	B	C	B	B	C	B	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	C	A
Altersstadien	A	A	A	no	Fr	no	no	A	A	A	opt	A	opt	no	no	no	no	no	no	no	opt	opt	opt	opt	opt	opt	opt	no	A	A	A	A	A	A	A	no	no	no	opt	
Wertung	C	C	C	B	C	B	B	C	C	C	A	C	A	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	B	C	C	C	C	C	C	B	B	B	A		
Moosdeckung	30	20	15	10	20	5	10	10	50	40	10	10	10	5	10	40	15	15	10	30	5	2	5	25	20	25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	55	20	30	5	
Wertung Moosdeckung									C	C																												C		
Flechten	0	0	0	1	1	0	0	0	15	10	0	20	20	0	0	0	0	0	0	0	30	30	25	40	60	65	70	75	85	85	70	70	2	6	2	20				
Wertung Flechten	C	C	C	C	C	C	C	C	B	B	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	B	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	
Offene Sandböden	10	15	5	10	40	40	40	10	0,5	5	20	10	2	40	15	30	45	20	60	50	25	25	40	4	25	1	1	10	5	5	15	3	10	5	1	20	2			
Wertung Offene Sandböden	B	A	B	B	A	A	A	B	C	B	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	C	C	B	B	B	A	B	B	B	C	A	B			
Dünenrelief																																								
Wertung Arteninventar	A	B	A	B	A	A	A	B	A	A	A	A	A	B	C	B	B	C	C	E	B	B	A	A	A	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	A	A	
2330 charakteristische Arten	8	5	14	5	10	10	8	5	11	16	7	11	10	5	2	4	4	3	3	1	4	4	7	7	7	4	5	4	4	3	4	6	4	5	5	9	7			
2330 Kennzeichende Arten	7	5	13	5	10	10	8	5	11	14	6	11	9	5	2	4	3	3	3	1	4	4	7	7	7	4	5	4	4	3	4	6	4	5	5	8	7			
Wertung Beeinträchtigungen	B	B	C	C	B	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	A	
Verbuschung	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wertung Verbuschung	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Stör-/ Eutrophierungszeiger	9	8	11	27	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	51	3	0	
Wertung Stör-/ Eutrophierungszeiger	B	B	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	A		
Vergrasung	4	8	1	3	1	5	4	0	0	10	20	10	20	5	2	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0			
Wertung Vergrasung	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Aufforstungen																																								

Laufende Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		
Spektrales Bewertungsverfahren																																							
Gesamtbewertung spektral	B	B	C	C	A	A	A	B	B	B	A	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	A		
Beeinträchtigungen	B	B	C	C	B	B	A	B	A	B	A	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	A	
Verbuschung	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wertung Verbuschung	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Vergrasung	4	8	2	4	3	12	7	0	0	15	20	10	21	5	2	0	10	20	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	1	0		
Wertung Vergrasung	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Stör-/ Eutrophierungszeiger	8	8	10	25	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	51	3	0	
Wertung Stör-/ Eutrophierungszeiger	B	B	C	C	B	B	A	B	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	A		
Zusatzkriterien					A	A	A		C					A			A		A		A	A	A		A											C			
Offene Sandböden	10	15	5	10	40	40	40	10	0,5	5	20	10	2	40	15	30	45	20	60	50	25	25	40	4	25	1	1	10	5	5	15	3	10	5	1	20	2		
Wertung offene Sandböden					A	A	A							A		A	A		A	A	A	A	A		A														
Moosdeckung	30	20	15	10	20	5	10	10	50	40	10	10	10	5	10	40	15	15	10	30	5	2	5	25	20	25	1	0	0	0	0	0	0	0	55	20	30	5	
Wertung Moosdeckung									C																											C			

Anmerkungen: Blau Schrift: Aufnahmen enthalten nicht immer alle Arten, daher LRT-Bewertung des Arteninventars, nur teilweise korrekt (z.B. 125a);

BEW2: Bewertung der Sandtrockenrasen (LRT 6120)

lfd. Nummer	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	2	29	30	31	32	33	34	35	
Flächennummer	T2 - 4	52L	62L	T1 - 5	054a	027a	027b	T1 - 10	T2 - 5	T1 - 9	028b	026b	026a	042b	042a	040b	040a	045b	045a	047b	047a	057b	057a	048a	048b	55L	052b	044a	044b	046b	046a	036b	036a	043b	043a	
Aufnahmedatum	2010	2009	2009	2010	2009	2009	2009	2010	2010	2010	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	
Größe (mxm)	1x1	2x2	2x2	1x1	1x1	1x1	5x5	1x1	1x1	1x1	5x5	5x5	1x1	5x5	1x1	5x5	1x1	5x5	1x1	5x5	1x1	5x5	1x1	1x1	5x5	2x2	5x5	1x1	5x5	5x5	1x1	5x5	1x1	5x5	1x1	
Code 1.Level	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Code 2.Level	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Code 3.Level	5	5	5	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Code 4.Level	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	2	2	2
Artenzahl typischer Arten	6	3	7	8	9	9	22	17	13	14	20	23	15	30	13	32	18	22	13	25	12	19	13	12	19	8	25	3	25	19	8	16	10	12	6	
LRT eigene Einstufung	6120				6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	6120	
LRT nach Bbg-Schlüssel 2010							6120	6120	6120	6120				6120	6120	6120	6120								6120				6120	6120	6120	6120				
LRT Bewertung 2010 terrestrisch	E		E	E	B	B	B				A	B	B	A	A	B	B	C	C	B	B				B	B	B		B	B	B					
LRT Bewertung spektral	C	C	B	B	C	C	B	B	B	B	B	A	A	B	B	C	B	C	B	B	B	A	A	B	B	B	B	C	B	E	C	E	C	E	C	
LRT Bewertung terrestrisch	E	E	C	B	C	C	B	A	B	A	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	E	B	E	B	E	C	E	E	E	E	
Vergleich	++	++	+					-		-		+	+	-	-	-		-					+	+	-	++		++						++	++	

17ok, 7 zu schlecht, 5 zu gut, 6 nicht ausgeschlossen

LRT Bewertung terrestrisch, Bewertungschema Bbg (nachträglich anhand der Daten eingeschätzt)

Gesamtbewertung	E	E	C	B	C	C	B	A	B	A	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	A	B	E	B	E	B	E	C	E	E	E	E		
Wertung Habitatstruktur	C	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	C	C	C	B	B	B	C	
Vegetationsaufbau	C	C	C	C	C	C	A	B	B	B	A	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	B	B	B	B	C	A	C	A	B	C	B	B	B	C		
Moos- und Flechtengesellschaften	0	j	j	j	j	0	j	j	j	0	j	j	j	j	j	j	j	j	j	j	0	j	j	j	j	j	0	j	0	0	j	j	j	j	j		
Wertung	C	B	B	B	B	C	B	B	A	C	A	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B	B	B	A	C	B	C	C	A	A	A	A	A		
Deckung Horstgräser	0	0	0	5	3	11	26	25	25	40	46	26	46	46	11	21	1	3	46	46	3	18	8	8	0	3	1	21	11	16	8	3	0	0			
Wertung	C	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
Anteil offener Boden	0	0	0	0	1	0	2	0	0	5	4	20	10	2	1	5	10	1	0	2	1	10	10	10	5	5	2	0	5	1	0	2	2	0	0		
Wertung	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	C	A	B	C	C	B	B	C	C	C	C	B	B	B	B	B	C	C	B	C	C	C	C	C	C		
Wertung Arteninventar	E	E	C	C	C	B	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	B	B	A	A	A	B	A	A	E	A	E	A	A	B	B	E	C	E		
Arten berücksichtigt	2	2	3	3	3	4	10	9	8	7	9	10	5	13	9	11	7	5	4	11	7	6	4	6	9	2	8	2	7	9	4	4	2	3	1		
Wertung Beeinträchtigungen	C	C	C	B	C	C	C	A	B	A	A	B	B	A	A	C	C	C	C	B	B	C	C	A	B	C	C	C	C	E	C	E	C	E	C		
Verbuschung	15	0	0	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	42	39	45	29	1	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	80	46	70	65	70	41		
Wertung Verbuschung	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	E	C	C	C	C	C	C		
Vergrasung	56	60	70	30	14	7	20	3	10	3	4	13	4	9	3	14	14	28	12	11	11	29	36	3	3	16	34	62	46	24	11	15	12	80	24		
Wertung Vergrasung	C	C	C	B	B	A	B	A	B	A	A	B	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	C	A	A	B	C	C	C	B	B	B	B	E	B		
Stör-/Eutrophierungszeiger, incl. Neophyten	16	0	1	15	42	62	41	1	6	0	4	9	9	4	0	7	1	21	16	1	0	18	8	1	5	25	10	1	7	19	8	17	7	15	24		
Wertung Störzeiger	C	A	A	C	C	C	C	A	B	A	A	B	B	A	A	B	A	B	C	A	A	C	B	A	B	C	B	A	B	C	B	C	B	C	C		
Zerstörung des natürlichen Reliefs																																					
direkte Schäden an Vegetation																																					
Aufforstungen																																					

lfd. Nummer	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	2	29	30	31	32	33	34	35		
Flächennummer	T2 - 4	52L	62L	T1 - 5	054a	027a	027b	T1 - 10	T2 - 5	T1 - 9	028b	026b	026a	042b	042a	040b	040a	045b	045a	047b	047a	057b	057a	048a	048b	55L	052b	044a	044b	046b	046a	036b	036a	043b	043a		
LRT Bewertung spektral	C	C	B	B	C	C	B	B	B	B	B	A	A	B	B	C	B	C	B	B	B	A	A	B	B	B	B	C	B	E	C	E	C	E	C		
Gesamtbewertung nach Aufwertung												A	A				B					A	A														
Zwischenwertung	C	C	B	B	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	E	C	E	C	E	C		
Wertung Beeinträchtigungen	C	C	A	B	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	A	A	B	B	A	A	B	A	C	B	E	C	E	C	E	C	E	C
Verbuschung	15	0	0	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	42	39	45	29	1	0	0	0	0	0	0	4	3	2	80	46	70	65	70	41		
Wertung Verbuschung	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	E	C	E	C	E	C		
Vergrasung mesomorph	51	60	5	25	14	7	17	2	10	3	4	10	4	6	3	11	11	25	12	11	11	29	36	3	3	11	23	62	42	24	11	11	11	79	24		
Wertung Vergrasung	C	C	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	A	A	A	A	C	B	B	A	A	A	E	B		
Stör-/Eutrophierungszeiger	15	0	1	15	41	62	41	1	3	0	3	8	8	3	0	4	1	21	16	1	0	18	8	1	5	25	6	0	4	18	8	16	7	11	21		
Wertung Störzeiger	A	A	A	A	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	
Deckung Horstgräser	0	0	0	5	3	11	26	25	25	40	46	26	46	46	46	11	21	0,5	3	46	46	3	18	8	8	0	3	1	21	11	16	8	3	0	0		
Wertung Horstgräser	C	C	C	C	C	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
Anteil offener Boden	0	0	0	0	1	0	2	0	0	5	4	20	10	2	1	5	10	1	0	2	1	10	10	10	5	5	2	0	5	1	0	2	2	0	0		
Wertung offener Boden												A	A				A						A	A													

BEW3: Bewertung Heidekrauthaiden (LRT 4030)

Lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	###	###	###	12	###	###	###	###	17	###	19	###	21	22	23	24	25	26	27	28	###	###	
Flächennr.	149a	148a	147a	036a	neu 3a	neu 3b	neu 14	neu 14	T1 - 2	T1 - 3	T1 - 9	156	T1 - 4	T1 - 6	T1 - 7	T1 - 1	039a	T1 - 8	041a	T3 - 8	152	151	153	074a	075a	076a	077a	038a	T3 - 1	T3 - 2	
Lage	NSZ	NSZ	NSZ	HH	EZ	EZ	EZ	EZ	HH	HH	HH	NSZ	HH	HH	HH	HH	HH	HH	HH	HH	HH	NSZ	NSZ	NSZ	NSZ	NSZ	NSZ	NSZ	HH	HH	HH
Größe (m xm)	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	10x10	1x1	20x20	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	1x1	2x2	2x2	2x2	2x2	1x1	1x1	1x1	
Jahr	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	2010	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	4	4	4	4	4	
Deckung Strauchschicht (%)	0	0	0	0	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	12	5	40	0	0	0	0	0	0	0
Deckung Krautschicht	70	60	50	70	70	60	40	40	80	65	65	98	60	50	65	80	60	80	40	75	80	95	60	50	40	40	40	35	40	25	
Höhe1 KS	0,10	0,13	0,12	0,11	0,20		0,20		0,60	0,45	0,35	0,30	0,48	0,56	0,35	0,17	0,13	0,21	0,20	0,18	0,16	0,20	0,15	0,10	0,09	0,12	0,03	0,10	0,40	0,14	
Höhe2 KS	0	0	0	0	0		0,07		0,25	0,17	0,17	0	0,17	0,11	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,05	
Deckung Gräser	11	11		18	10		23		30	50	43	25	63	47	17	10	2	3	1	0,5	0	0	0	0	1	0	0	1	2	6	
Deckung Kräuter	60	35		57	62		16		55	56	43	77	47	16	49	74	61	81	41	70	80	95	60	50	40	40	40	35	40	23	
Deckung Kryptogamen (%)	21	12	13	0,5	7	25	10	20	1	1	0	0,5	1	0	2	4	5	0	10	0	6	0,7	5,5	30	32	18	45	15	30	26	
Deckung offener Boden (%)	0	0	0	0	0	10	0	5	0	1	5	0	3	0	5	3	0	0	< 1	0	0	0	0	0,1	1	3	10	3	5	2	
Deckung Streu (%)	20	35	35	40	30	20	60	40	20	30	45	20	30	60	50	20	40	20	55	20	30	45	8	20	25	20	10	50	30	30	
Verbuschung (Deck Straucharten %)	0	0	0	0,5	40	10	0	0	1	1	0	2	0	2	0	0	0	7	0	25	12	5	40	0	0	0	0	0	0	0	
Artenzahl ges (n)	10	12	9	11	11		7		7	10	16	9	11	9	9	7	6	6	7	4	5	5	9	13	15	12	9	7	7	9	
Gesamtbewertung spektral	A	A	B	A	B	A	A	C	A	C	C	B	C	B	B	A	A	A	B	A	B	A	A	B	A	A	A	B	A	A	
Gesamtbewertung terrestrisch	B	B	C	C	B		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B	C	B	B	B	B	C	B	A	
Vergleich	+	+	+	+			+	-	+	-	-		-			+	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Gesamtbewertung spektral (BC)	B	B	B	B	B	B	C	B	C	C	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
Gesamtbewertung terrestrisch (BC)	B	B	C	C	B		B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B	B	C	B	B	B	B	C	B	B
Vergleich			+	+				-	-	-		-							+				+						+		

Terrestrisches Bewertungsverfahren

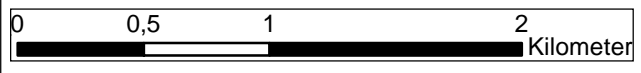
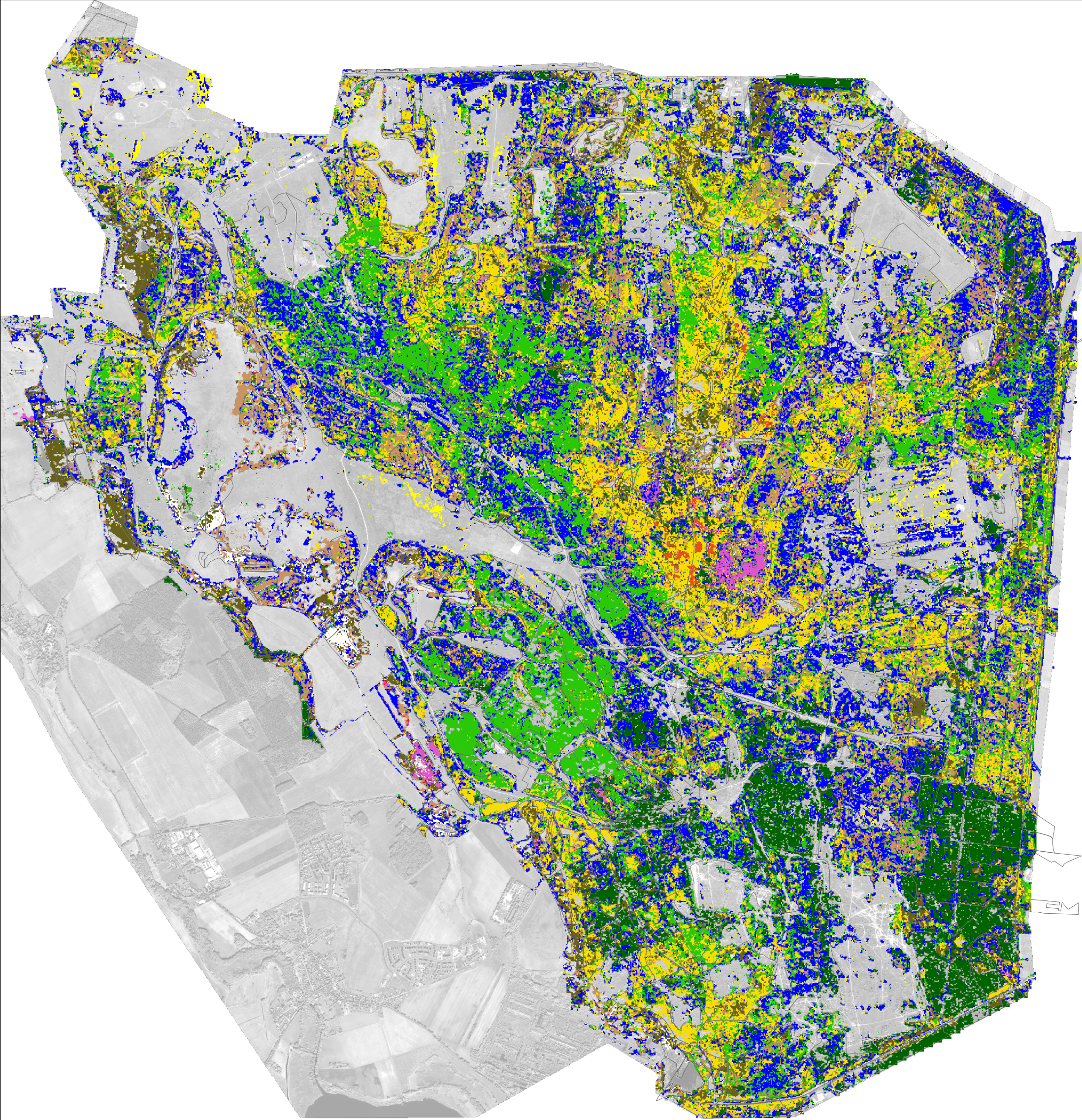
Gesamtbewertung terrestrisch	B	B	C	C	B	B?	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	B	B	B	C	B	B	B	B	B	C	B	A	
Wertung Habitatstrukturen	B	B	B	C	B		B	A	B	B	B	B	B	C	A	B	B	B	C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A
Altersphasen	mittel	mittel	mittel	gering	hoch		mittel		mittel	mittel	gering	hoch	gering	gering	mittel	mittel	mittel	mittel	gering	mittel	hoch	hoch	hoch	mittel	mittel	mittel	mittel	gering	gering	hoch	
Wertung Altersphasen	B	B	B	C	A		B		B	B	C	A	C	C	B	B	B	B	C	B	A	A	A	B	B	B	B	C	C	A	
Anteil Degenerationsphase	0	0	0	45	0		6	8	3	0	1	0	1	0	1	5	3	20	90	2	24	43	3	40	39	42	0	75	24	0	
Wertung Degenerationsstadium	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A
Offene Sandstellen	0	0	0	0	0	10	0	5	0	1	5	0	3	0	5	3	0	0	< 1	0	0	0	0	0,1	1	3	10	3	5	2	
Wertung Offene Sandstellen	C	C	C	C	C	A	C	A	C	B	A	C	B	C	A	B	C	C	B	C	C	C	C	B	B	B	A	B	A	B	
Wertung Arteninventar (Schlüssel 2004)	B	B	C	C	B	B	B	B	B	A	B	B	A	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	B	
charakteristische Arten	4	4	2	2	4	4	4	4	3	6	3	3	6	4	4	3	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	
kennzeichnende Arten																															
Wertung Beeinträchtigungen	B	C	C	B	B		C	C	C	C	C	C	B	C	B	A	A	A	B	B	A	C	B	A	A	A	A	A	A	A	
Verbuschung	0	0	0	0,5	40	10	0	0	1	1	0	2	0	2	0	0	0	7	0	25	12	5	40	0	0	0	0	0	0	0	
Wertung Verbuschung	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	
Vergrasung	30	40	70	30	10		40	50	40	60	60	5	60	20	40	15	3	3	1	0,5	0	0	0	1	0	0	1	3	6		
Wertung Vergrasung	B	C	C	B	B		C	C	C	C	C	A	C	B	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Stör-/ Eutrophierungszeiger	0	0	0	0	0		0		0	0	0	20	20	60	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wertung Stör- und Eutrophierungszeiger	A	A	A	A	A		A		A	A	A	C	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Aufforstungen, Zerstörung der Vegetation																															

Spektrales Bewertungsverfahren																																
Gesamtbewertung spektral	A	A	B	A	B	A	A	C	A	C	C	B	C	B	B	A	A	A	B	A	B	A	B	A	A	A	A	A	B	A	A	
Zwischenbewertung	A	A	A	A	B	B	A	B	A	B	B	B	B	B	B	A	A	A	B	B	B	A	B	A	A	A	A	A	B	A	A	
Beeinträchtigungen	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	C	C	C	B	A	A	A	A	B	B	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	
Verbuschung	0	0	0	0,5	40	10	0	0	1	1	0	2	0	2	0	0	0	7	0	25	12	5	40	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wertung Verbuschung	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	
Stör-/ Eutrophierungszeiger	0	0	0	0	0		0		0	0	0	20	20	60	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Wertung Stör- und Eutrophierungszeiger	A	A	A	A	A		A		A	A	A	C	C	E	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Habitatstrukturen	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A
Anteil Degenerationsphase	0	0	0	45	0		6	8	3	0	1	0	1	0	1	5	3	20	90	2	24	43	3	40	39	42	0	75	24	0	0	
Wertung Degenerationsstadium	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	A	
Zusatzkriterien			C			A		C		C	C		C																	A		
Offene Sandstellen	0	0	0	0	0	10	0	5	0	1	5	0	3	0	5	3	0	0	< 1	0	0	0	0	0,1	1	3	10	3	5	2	2	
Wertung Offene Sandstellen						A																								A		
Vergrasung	30	40	70	30	10		40	50	40	60	60	5	60	20	40	15	3	3	1	0,5	0	0	0	0	1	0	0	1	3	6	6	
Wertung Vergrasung			C					C		C	C		C																			

Baumartenklassifikation Döberitzer Heide

Maßstab 1 : 30.000

Anlage WLD



Datengrundlage Klassifizierung:
7 RapidEye Szenen der Jahre 2009,
2010, 2011

Koordinatensystem: UTM
Datum: ETRS 1989

Erstellungsdatum: 10.12.2011

Legende

Baumarten

 Hängebirke	 Kiefer	 Winterlinde	 Weißdorn
 Zitterpappel	 Robinie	 Moorbirke	 Grauweide
 Stieleiche	 Erle		 Ginster
			 Biotypgrenze

Spektraldatenbank SPECLIB

&

SPECLIB Client

Die Beschreibung der Struktur und Nutzung von Spektraldatenbank und Client finden Sie unter www.gfz-potsdam.de/spectation

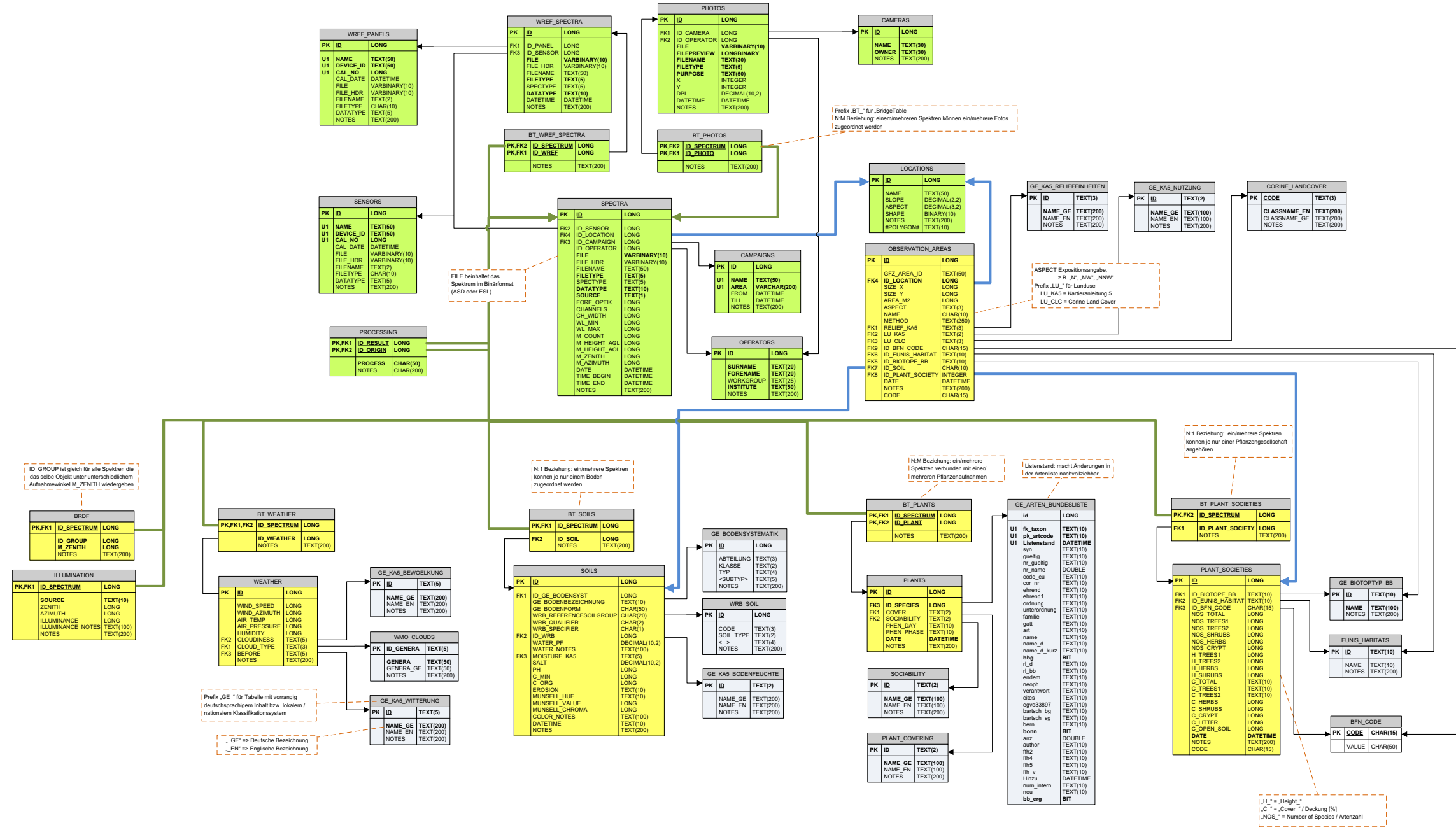
Benjamin Jakimow

Humboldt Universität zu Berlin

Daniel Stichs

Universität Potsdam

Datenmodell Spektralbibliothek „SPECLIB“ (Stand: 10.11.2011)



Schema „CORE“: Kerntabellen

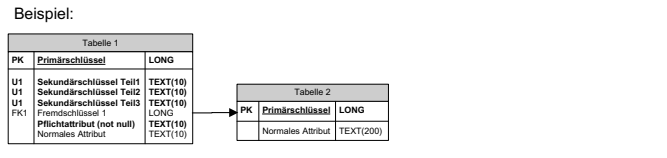
- Basisinformationen die i.d.R. zu jedem Spektrum verfügbar sind
- unabhängig von der Thematik der Klassifizierung

Schema „C_GFZ“: Klassifikationstabellen GFZ / Uni Potsdam

- jedes Spektrum kann zusätzlich unter verschiedenen Gesichtspunkten (z.B. Vegetation, Boden, Strahlungsverhältnisse) beschrieben werden

Schema „CKEYS“: Klassifikationsschlüssel

- konstant/statisch bzw. eher selten eintretende Änderungen
- können für unterschiedliche Klassifikationssysteme verwendet werden



→ Verbindung zwischen Tabellen durch Fremdschlüssel
 → Verbindung mit einzelnen Spektren
 → Verbindung mit Dauerbeobachtungsfläche/Observation Area

Primär-/Sekundärschlüssel = eindeutiges Attribut / eindeutige Kombination von Attributen, welche(s) in einer Tabelle nur einmal existiert (d.h. eine ID)
 Fremdschlüssel = Attribut muss in der Schlüsseltable existieren

Datentypen:

CHARACTER(X) = Text mit maximal X Zeichen, bis zum Xten Zeichen wird mit Leerzeichen aufgefüllt
 VARCHAR(X) = Text mit maximal X Zeichen
 TIMESTAMP = Zeitangabe (bis Mikrosekunde genau, nach Wahl mit Zeitzone)
 DECIMAL(X,Y) = Dezimalzahl mit X Dezimalstellen insgesamt und davon Y Dezimalstellen nach dem Komma
 SMALLINT = Ganzzahl, 2 Byte, -32768 bis +32767
 INTEGER = Ganzzahl, 4 Byte, -2147483648 bis +2147483647
 BIGINT = Ganzzahl, 8 Byte, -9223372036854775808 bis 9223372036854775807
 BLOB(X) = Binary Large Object = Binärdatei der maximalen Größe X in Byte

VIEWS

Sind allgemein "virtuelle" Tabellen als Ergebnis einer SQL Abfrage
 Vereinfachen die Darstellung von Beziehungen zwischen Tabellen

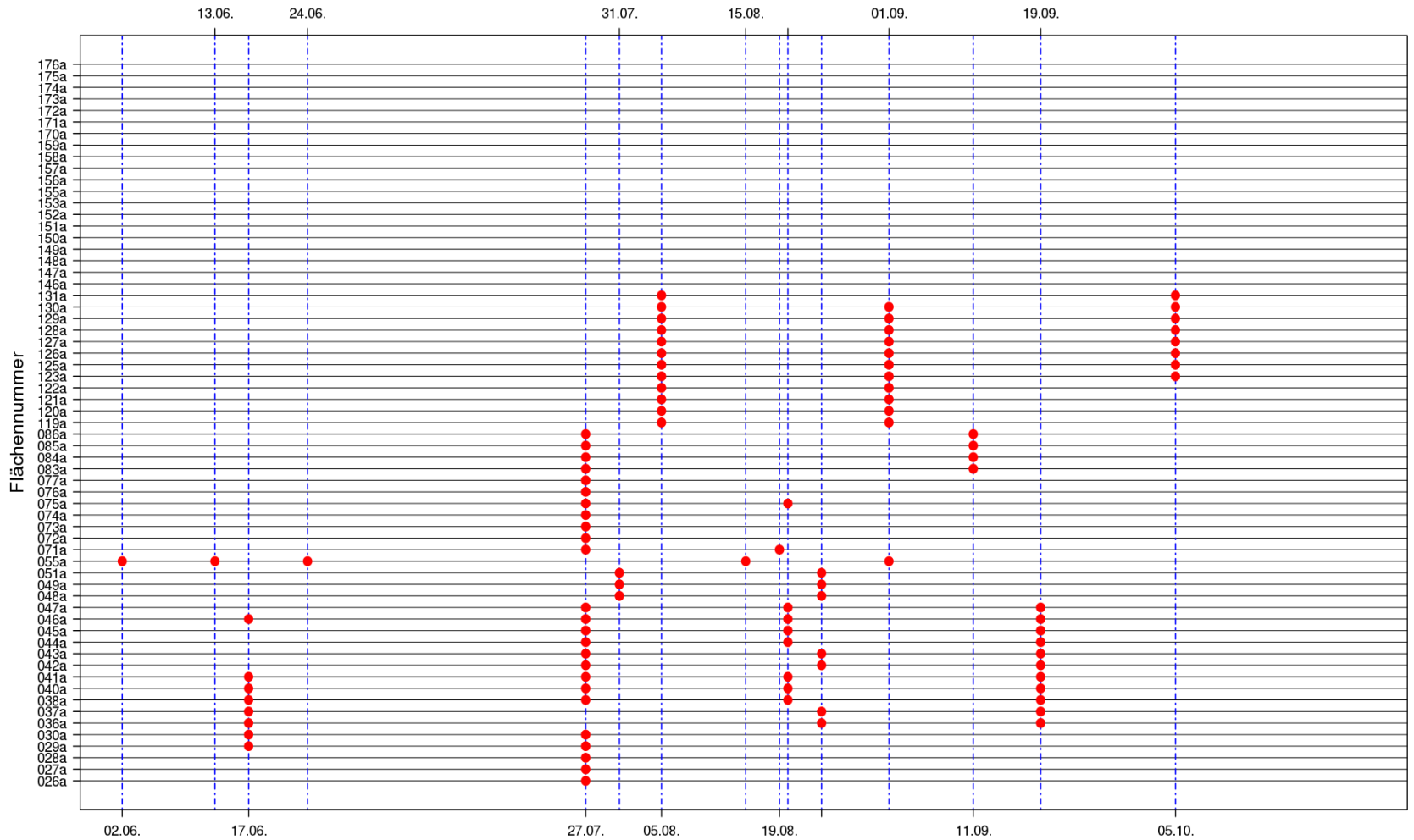
Views zur erweiterten Tabellendarstellung

CORE_VIEW_LOCATIONS (mit Longitude/Latitude Koordinaten)
 C_GFZ_VIEW_OBSERVATION_AREAS
 C_GFZ_VIEW_PLANTS
 C_GFZ_VIEW_PLANT_SOCIETIES
 C_GFZ_VIEW_SOILS

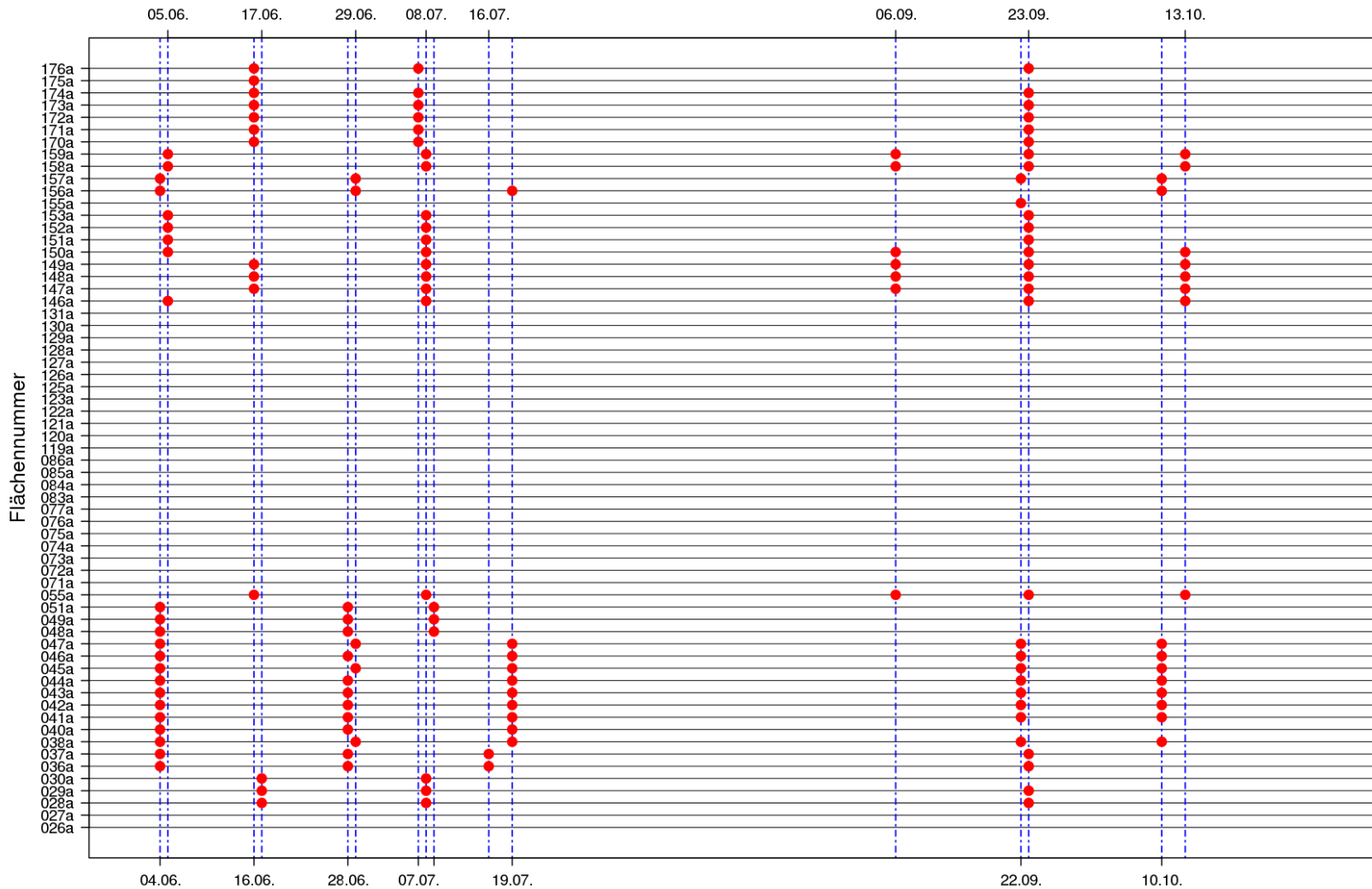
Views zur Darstellung von Spektren IDs und verlinkten Informationen

C_GFZ_VIEW_SPECOBSERVATION_AREAS
 C_GFZ_VIEW_SPECPLANTS
 C_GFZ_VIEW_SPECPLANT_SOCIETIES
 C_GFZ_VIEW_SPEC2SOILS

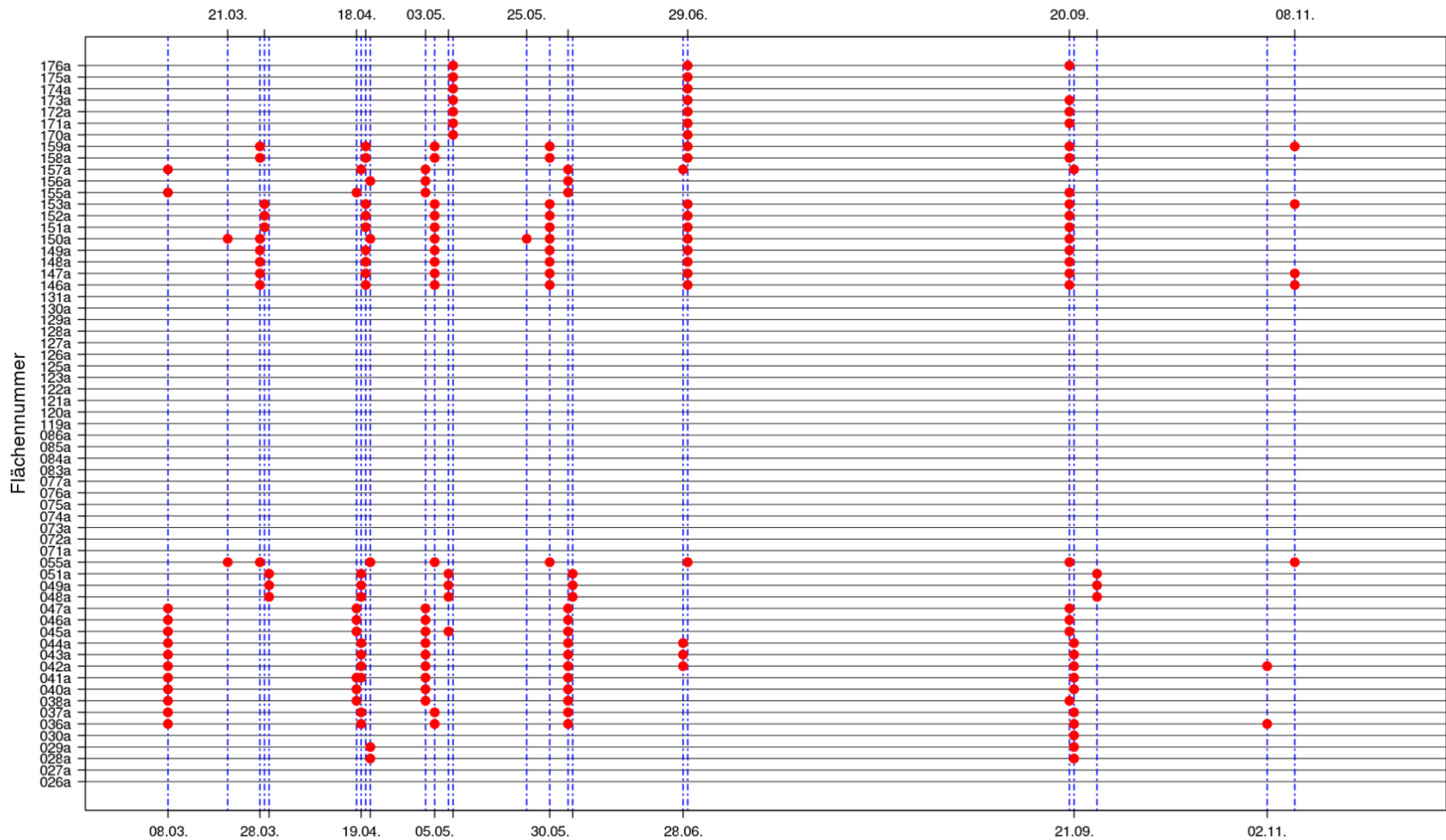
Entwurf:
 Benjamin Jakimow, Humboldt-Universität zu Berlin, 2011
 benjamin.jakimow@geo.hu-berlin.de



Anlage SP3: Aufnahmetermine mit dem Feldspektrometer (Jahr 2009)



Anlage SP3: Aufnahmetermine mit dem Feldspektrometer (Jahr 2010)



Anlage SP3: Aufnahmetermine mit dem Feldspektrometer (Jahr 2011)

Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter

Helmholtz Zentrum / Deutsches Geoforschungszentrum (GFZ)

- Dr. Sibylle Itzerott * **Fachliche Projektleitung**
- cand. Benjamin Jakimow (Werkvertrag)
- cand. Randolph Klinke (SHK)
- Dipl.-Geoökologe Carsten Neumann ¹
- cand. Daniel Stichs (SHK)

Natur & Text in Brandenburg GmbH / ecostrat GmbH

- Dipl.-Biol. Reinhard Baier
- Dipl.-Biol. Gabriele Weiß

Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide gGmbH (SNL)

- Jörg Fürstenow
- Dipl.-Ing. (FH) Peter Nitschke

Universität Potsdam, IMAF bzw. Institut für Erd- und Umweltwissenschaften ²

- cand. Rachid Aguerd (SHK)
- Dipl.-Ing. (Landschaftsplanung) Martina Düvel ³
- cand. Stephanie Gerull (SHK)
- Dipl.-Geogr. Andrea Neumann ⁴
- Dr. Matthias Kühling * **Management** ⁵
- Dipl.-Geoökologin Laura Luft (WHK) ⁶
- cand. Lydia Christiane Weber (SHK)
- cand. Josefine Wenzel (SHK)

¹ Herr Neumann war bis zum Abschluss seines Studiums (Diplomstudiengang Geoökologie) als Studentische Hilfskraft (SHK) in unserem Projekt tätig. Das Thema der (sehr gut bewerteten) Diplomarbeit: „Synthese von ökologischer Gradientenanalyse und hyperspektraler Fernerkundung zum Monitoring naturschutzfachlich bedeutsamer Offenlandschaften“ wies einen starken Bezug zum abgeschlossenen DBU-Projekt 26257 auf. Zum 01.08.2010 wurde er als Projektmitarbeiter eingestellt. Hauptsächlicher Arbeitsort war aus logistischen Gründen das Deutsche Geoforschungszentrum (GFZ). Im Juli 2011 wurde Herr Neumann vom GFZ als wissenschaftlicher Mitarbeiter übernommen. Angaben zum Promotionsvorhaben – siehe Anlage QUAL.

² Federführender Antragsteller war das Interdisziplinäre Zentrum für Musterdynamik und Angewandte Fernerkundung der Universität Potsdam (IMAF). Durch eine tiefgreifende Umstrukturierung wurden alle interdisziplinären Zentren der Universität Potsdam am 31.10.2009 geschlossen bzw. in die entsprechenden Profilbereiche überführt. Im Februar 2010 stimmte der Institutsrat des neu gebildeten Institutes für Erd- und Umweltwissenschaften der Universität Potsdam der Bildung einer Arbeitsgruppe „Angewandte Fernerkundung“ zu, die in der formalen Nachfolge des IMAF stand. Die gravierenden Strukturänderungen an der Universität Potsdam stellten die Durchführung des DBU-Projektes 26257 zu keinem Zeitpunkt in Frage.

³ Qualifizierte Mitarbeit bei der Antragstellung und befristete Projektmitarbeit (07.2008 bis 04.2009). Frau Düvel wechselte im Mai 2009 als Leiterin einer Projektarbeitsgruppe zum Naturschutzfonds Brandenburg.

⁴ Befristete Projektmitarbeit (05.2009 bis 09.2009).

⁵ Herr Dr. Kühling wurde im Rahmen der Umstrukturierung am 14.01.2010 in das Präsidialamt der Universität Potsdam versetzt. Die DBU wurde davon bereits zum Statusseminar (Bildungszentrum Elstal, 04.02.2010) in Kenntnis gesetzt. Die übernommenen Verpflichtungen zur Koordination des laufenden DBU-Projektes 26257 konnten weiterhin mit 1-2 Wochenarbeitstagen, später nach aktuellem Bedarf, wahrgenommen werden.

⁶ Frau Luft hat ihr Studium an der Universität Potsdam (Diplomstudiengang Geoökologie) im Jahr 2009 abgeschlossen. Sie konnte, finanziert durch Haushaltsmittel der Universität Potsdam, Herrn Dr. Kühling sieben Monate (03.2010 bis 09.2010) als Wissenschaftliche Hilfskraft (WHK) unterstützen. Seit Oktober 2010 ist sie im Genuss eines Stipendiums aus der Graduiertenförderung des Landes Brandenburg (10.2010 bis 09.2013). Angaben zum Promotionsvorhaben – siehe Anlage QUAL.

Promotionsvorhaben

Dipl.-Geoökologin Laura Luft (Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie) ¹

Konzepterstellung und -bewertung des naturschutzfachlichen Monitorings in der Döberitzer Heide durch den Vergleich internationaler Monitoringkonzepte (2010-2013) ²

Mit dem Promotionsthema wird der Herausforderung begegnet, ein Monitoringkonzept für den ehemaligen Truppenübungsplatz „Döberitzer Heide“ zu erstellen. Die Landschaft der Döberitzer Heide bietet ein naturschutzfachlich höchst wertvolles, großräumiges Landschaftsmosaik, ist jedoch aufgrund der Munitionsbelastung sowie der Anwesenheit der drei Megaherbivoren-Arten Wisent, Przewalski-Pferd und Rotwild nahezu nicht betretbar. Es soll eine Verbindung zwischen Forschung und Naturschutzpraxis geschaffen werden, in dem gleichermaßen innovative wie qualitativ hochwertige Monitoringmethoden das Konzept bilden werden. Als Ausgangsbasis wurde zunächst ermittelt, wie in internationalen Wildnisgebieten der Herausforderung des Monitorings von großen und meist unzugänglichen Gebieten begegnet wird. Konkrete Methodenvergleiche sollen hier Hinweise für das Monitoring in der Döberitzer Heide liefern und internationale Standards einbeziehen. Zur weiteren Verknüpfung von Forschungsergebnissen des DBU-Projektes 26257 mit terrestrisch-ökologischen Feldstudien wurden in der Vegetationsperiode 2011 erstmalig Analysen zur Habitatpräferenz faunistischer Indikatoren durchgeführt. Die erwarteten Ergebnisse des Promotionsvorhabens werden den Einsatz innovativer und international anerkannter Methoden in einem Schutzgebiet von immenser Bedeutung für den Erhalt der Biodiversität ermöglichen und sollen einen Beitrag dazu leisten, internationalen Naturschutz vergleichbar zu machen.

¹ **Kontakt:** lluft@uni-potsdam.de (Email), 0172-8760-970 (mobil).

² Das Promotionsvorhaben von Frau Luft wird von Prof. Dr. Florian Jeltsch (Universität Potsdam, Professur für Vegetationsökologie und Naturschutz) und Prof. Dr. Matthias Freude (Präsident des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg) betreut.

Promotionsvorhaben

Dipl.-Geoökologe Carsten Neumann (Deutsches Geoforschungszentrum, Sektion Fernerkundung) ³

Die raum-zeitliche Modellierung der Struktur- und Dynamik natürlicher Vegetationsbestände unter Verwendung hyperspektraler Fernerkundungsdaten (2011-2014) ⁴

Die Beobachtung der Entwicklungstendenzen von Vegetationsbeständen in großflächig naturnahen Ökosystemen stellt für öffentliche Behörden und private, dem Naturschutz verpflichtete Stiftungen eine große Herausforderung dar. Dabei müssen für den gezielten Einsatz von Managementmaßnahmen zum Erhalt und zur Entwicklung natürlicher Landschaftsgefüge langfristige Monitoringkonzepte entworfen werden. Die Synthese dieser Überwachungskonzepte mit den Möglichkeiten der Geofernerkundung stellt in Zukunft eine große Herausforderung dar. Im Promotionsverfahren sollen zu diesem Zweck insbesondere die Potentiale vorhandener und zukünftiger hyperspektraler Sensoren erforscht werden. Im Rahmen der Entwicklung und Erprobung des ersten deutschen hyperspektralen Satellitensensors (EnMAP) werden anhand bereits vorhandener, flugzeuggetragener Sensoren die räumlichen, spektralen und temporalen Sensoreigenschaften auf ihre Anwendbarkeit zur Ableitung von Informationen über die Vegetationsstruktur überprüft. Mit Hilfe von spektralen und ökologischen Modellen sollen Ansätze zur effektiven Ableitung eines Informationsvorrates aus spezifischen Sensorkonfigurationen zur Übertragung in Monitoringansätze ermittelt werden. Es wird damit erstmals eine operationelle Methodik zur modellbasierten Extraktion von Vegetationsparametern aus hyperspektralen Sensoren eingeführt und im Hinblick auf ihre Übertragbarkeit auf zukünftiger hyperspektrale Satellitenmissionen bewertet.

³ **Kontakt:** carstenn@gfz-potsdam.de (Email), 0174-2366-842 (mobil).

⁴ Für das Promotionsvorhaben von Herrn Neumann wurde zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch kein festes Betreuungsverhältnis festgelegt.

Übersicht der Arbeitstreffen und Workshops ¹

01.07.2008	Eröffnung des Projektes (Rangsdorf, Natur & Text in Brandenburg GmbH)
22.01.2009	Projektinterner Workshop (Elstal, Bildungszentrum)
17.09.2009	Projektinterner Workshop (Elstal, Bildungszentrum, vormittags)
17.09.2009	Öffentlicher Workshop (Elstal, Bildungszentrum, nachmittags) ²
04.02.2010	DBU-Statusseminar (Elstal, Bildungszentrum) ³
16./17.04.2010	Fachtagung „Monitoring in der Döberitzer Heide“ (Elstal, Bildungszentrum)
01.07.2010	Gemütliches Beisammensein (Elstal, Besucherzentrum am Schaugehege)
22.10.2010	Projektinterner Workshop (Potsdam, Geoforschungszentrum)
17.03.2011	Kleiner Workshop (Potsdam, Geoforschungszentrum) ⁴
28.10.2011	Projektinterner Workshop (Potsdam, Geoforschungszentrum)
25./30.01.2012	Finale Redaktionssitzungen (Potsdam, Geoforschungszentrum)

¹ Gelistet werden nur die „formalen“ Arbeitstreffen, die jeweils als halbjährliche Vollversammlungen des DBU-Projektes 26257 aufzufassen sind. Workshops mit erweitertem Teilnehmerkreis sind **fett** hervorgehoben. Daneben fanden zahlreiche Treffen auf der Arbeitsebene statt – am Arbeitsplatz oder im Gelände.

² Teilnahme von Gästen aus den Partnerprojekten „SARA-EnMAP“ und „CAREX“, aus den Landkreisen „Havelland“ und „Potsdam-Mittelmark“ sowie aus dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg (LUGV).

³ Teilnahme von Dr. Reinhard Stock (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Förderbereich „Naturschutz“) und der Gutachterinnen Prof. Dr. Birgit Kleinschmitt (Technische Universität Berlin, Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung), Prof. Dr. habil. Sabine Tischew (Fachhochschule Anhalt, Fachbereich „Landwirtschaft, Ökotropologie und Landschaftsentwicklung“) und Monika Ulrich (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Teilnahme von verschiedenen Gästen (Fachhochschule Anhalt; Technische Universität Berlin; Fachhochschule Eberswalde; Universität Potsdam; Heinz Sielmann Stiftung; Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg; Luftbild Umwelt Planung GmbH; Natur & Text in Brandenburg GmbH). Ergebnispräsentationen und Diskussion des Zwischenberichtes (Vorlage: 21.12.2009).

⁴ Teilnahme von Dr. Reinhard Stock (Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Förderbereich „Naturschutz“). Ergebnispräsentationen und Diskussion des Sachstandsberichtes (Vorlage: 06.12.2010).

Tagungsbesuche und –beiträge (2008-2011)

- 29. Deutscher Naturschutztag (Karlsruhe, 16.-19.09.2008) [[Martina Düvel](#), [Matthias Kühling](#), Vortrag]
- Tagung "Remote sensing for Natura 2000 habitat reporting" (Brüssel, 24.10.2008) [[Martina Düvel](#)]
- 1. Cottbuser Weidetagung „Wasserbüffel in der Landschaftspflege“ (Brandenburgische Technische Universität Cottbus, 04.09.2009) [[Jörg Fürstenow](#), Vortrag]
- Tagung "Im Jahr des Büffels - extensive Gestaltung von Weidelandschaften" (Brandenburgische Akademie, Schloss Criewen, 15./16.10.2009) [[Matthias Kühling](#)]
- Large Herbivore Foundation Workshop (Amsterdam, 13.10.2009) [[Peter Nitschke](#), Vortrag]
- Nationaler EnMAP-Workshop (Deutsches Geoforschungszentrum Potsdam, 13.-14.10.2009) [[Sibylle Itzerott](#), [Matthias Kühling](#), [Carsten Neumann](#), [Gabriele Weiss](#)]
- Workshop „Warten auf EnMAP – Vorbereitung von Methoden zur detaillierten Landnutzungsanalyse“ (Deutsches Geoforschungszentrum Potsdam, 15.10.2009) [[Sibylle Itzerott](#), [Matthias Kühling](#), [Carsten Neumann](#)]
- 3. EARSeL-Workshop “Remote Sensing of Land Use and Land Cover” (Bonn, 25.-27.11.2009) [[Carsten Neumann](#), zwei Posterpräsentationen]
- Tagesseminar „Beweidung von Waldstandorten“ (Hobrechtsfelde, 10.02.2010) [[Laura Luft](#)]
- Tagung „Strategien zum Erhalt und zur Entwicklung von FFH-Offenland-Lebensräumen auf ehemaligen Truppenübungsplätzen“ (Dessau, 16.-17.03.2010) [[Laura Luft](#)]
- Hyperspectral Workshop 2010 bei ESA-ESRIN (Frascati/Italien; 17.-19.03.2010) [[Carsten Neumann](#), Posterpräsentation]
- Workshop „Monitoring in der Döberitzer Heide“ (Elstal, 16.-17.04.2010) [[alle Projektpartner](#)]
- Wildniskonferenz 2010 (Potsdam, 17./18.05.2010) [[Laura Luft](#)]
- Tagung „Biodiversität zählt in 2010 und danach – den Biodiversitätserhalt erreichen, messen und bewerten“ (Internationale Naturschutzakademie, Insel Vilm, 07.-09.09.2010) [[Peter Nitschke](#), Vortrag]
- Tagung „Sicherheit durch Konversion: Beispiel für eine erfolgreiche Weiternutzung“ (Lehnitz, 16.09.2010) [[Laura Luft](#)]
- 4. Umweltbeobachtungskonferenz „Monitoring im Bereich Umwelt und Biodiversität“ (Essen, 23.09.-24.09.2010) [[Laura Luft](#)]
- Tagung „Natürliche Weidelandschaften – eine Versöhnung zwischen Landwirtschaft und Naturschutz“ (Brandenburgische Akademie, Schloss Criewen, 30.09.-01.10.2010) [[Laura Luft](#), [Peter Nitschke](#), Vortrag]
- Tagung „Gemeinsam zum Erfolg. Zur Entwicklung der gemarkungsübergreifenden Konversionsfläche Falkenberg-Lönnewitz“ (Falkenberg / Elster, 26.10.2010) [[Laura Luft](#)]
- 2. Nationaler EnMAP-Workshop „Konzepte der Datennutzung“ (Potsdam, 25.-26.11.2010) [[Sibylle Itzerott](#), [Carsten Neumann](#), Vortrag]
- CARE-X - Workshop II (TU Berlin, 21.01.2011) [[Carsten Neumann](#)]
- Tagung „Zukunft der Schutzgebiete“ (Nationalpark Hohe Tauern / Österreich, 03.-04.05.2011) [[Laura Luft](#)]
- Tagung des NABU-BFA Botanik und NtPhyD Deutschland „Konzepte zum Erhalt der Pflanzenvielfalt in unserer Agrarlandschaft“ (Bonn, 04.-05.02.2011) [[Laura Luft](#), Vortrag]
- 7. EARSeL-Workshop “Imaging Spectroscopy” (Edinburgh/UK, 11.04.-13.04.2011) [[Carsten Neumann](#), Posterpräsentation]

- IDL/ENVI EnMAP Seminar (München, 02.-06.05.2011) [[Carsten Neumann](#)]
- Sommerakademie der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (St. Marienthal / Ostritz, 19.-24.06.2011) [[Laura Luft](#), [Carsten Neumann](#)]
- Interdisziplinäre Expertentagung im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt (Insel Vilm, 22.-26.08.2011) [[Laura Luft](#), Vortrag]
- Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie 2011 „Session: Remote Sensing Approaches in Ecological Research and Application“ (Oldenburg, 05.-09.09.2011) [[Carsten Neumann](#), [Gabriele Weiss](#), Vortrag]
- Tagung „Heidemanagement auf munitionsbelasteten Flächen“ (Eberswalde, 16.09.2011) [[Laura Luft](#)]
- Doktorandensymposium der Potsdam Graduate School (Universität Potsdam, 02.11.2011) [[Laura Luft](#), Vortrag]
- Potsdamer Naturschutztag „Naturschutz im besiedelten Bereich“ (Potsdam, 05.11.2011) [[Laura Luft](#), [Matthias Kühling](#), Moderation & Vortrag]

sowie

- Projektpräsentation in der „Langen Nacht der Wissenschaften“ (Universität Potsdam, 13.06.2009) [[Matthias Kühling](#)]
- Literaturrecherche und Fachgespräche im Bundesamt für Naturschutz (Bad Godesberg, 22.09.2010 und 08.11.-12.11.2010) [[Laura Luft](#)]
- Informationsaustausch und Projektpräsentationen in der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide mit / für Nationalpark Unteres Odertal (12.04.2011 und 07.05.2011), Bundesforst Mittelelbe (13.04.2011), Berliner Forsten (31.05.2011), Jahrestagung der floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft (03.-04.06.2011), Usbekischer Naturschutz (22.06.2011), Bima-Zentrale Bonn (31.08.2011), Spendertag (03.9.2011), Präsidialamt der Universität Potsdam (19.09.2011), Landesbetrieb Forst Brandenburg (11.10.2011), Biologische Station Münsterland (22.10.2011), Bundesministerium der Umwelt (29.11.2011), Naturschutzstation Coesfeld (07.12.2011) [[Laura Luft](#), [Jörg Fürstenow](#), [Peter Nitschke](#)]
- Internationale Arbeitstreffen zum Schutzgebietsmanagement: Naturschutzgebiet „Oostvaardersplassen“ / Niederlande (04.-05.04.2011), Soomaa-Nationalpark / Estland (04.06.2011), Oulanka-Nationalpark / Finnland (09.06.2011), Fulufjället-Nationalpark / Schweden (14.06.2011) [[Laura Luft](#)]
- Erfahrungsaustausch in der Puszta Hortobagy / Ungarn (13.-17.10.2011) [[Peter Nitschke](#)]

Faltblatt (Leporello)

Offenlandmanagement und Monitoring

Die zunehmend von Gehölzsukzession betroffenen Offenflächen sollen durch den Einsatz von Wisenten, Przewalski-Pferden und Rotwild bzw. von Nutztieren erhalten werden. Um den Erfolg zu kontrollieren, müssen die Veränderungen dokumentiert werden. Problematisch sind dabei jedoch die Größe des Gebietes und die Altlasten aus der ehemaligen militärischen Nutzung.



Zonierung der Sielmanns Naturlandschaft Döberitzer Heide

Zielstellung

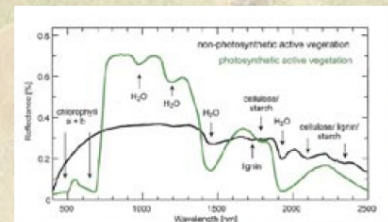
Das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderte FuE-Projekt „Monitoring in der Döberitzer Heide: Vegetation und Fernerkundung“ soll die von Projektpartnern begonnene Klassifikation der Biotoptypen des Gebietes mittels Fernerkundung weiterentwickeln und den Ist-Zustand mit allen aktuell großflächig vorhandenen Vegetationseinheiten dokumentieren. Damit wird ein Verfahren zur Verfügung gestellt, das die Überwachung des Offenland-Managements in der Döberitzer Heide großflächig und kostengünstig ermöglicht. Bis zum Projektende 2011 sollen die Grundlagen für die Erfassung der Veränderung der Landschaft – insbesondere durch den Einsatz von Großsäugern in der Wildnis-Kernzone – geschaffen werden.



Heidefläche

Fernerkundung

Es werden digitale Luftbilder des hyperspektralen HyMap-Sensors der Jahre 2004, 2008 und 2009 verwendet. Zusätzlich können simulierte EnMap-Bildern aus HyMap-Daten erzeugt werden. Diese können auf eine Auflösung von vier Metern geschärft werden und so im Hinblick auf Monitoring-Szenarien untersucht werden. Anhand der charakteristischen Spektralkurven ist es möglich, verschiedene Pflanzenbestände (Pflanzengesellschaften, Lebensraumtypen, Biotoptypen) zu erkennen.



Spektralkurven von grüner und nichtgrüner Vegetation mit Markierung der typischen Spektralbanden



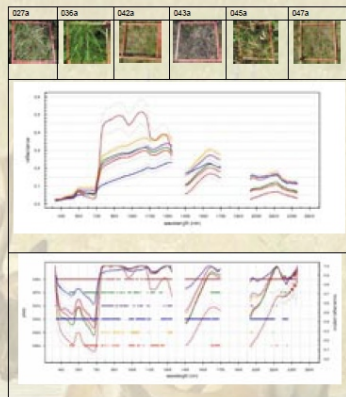
Vegetation und Wellenlängen



Einsatz eines Feldspektrometers

Um die erfassten Spektraldaten bestimmten Vegetationsausprägungen zuordnen zu können, müssen sie vorher terrestrisch geeicht worden sein. Hierzu erfolgen auf Probeflächen parallel Vegetationsuntersuchungen und Messungen des Wellenlängenspektrums mit Feldspektrometern der Firma ADS.

Mittels der Methoden *Klassifikation und Ordination* werden Erfassungseinheiten (z.B. Pflanzengesellschaften, Biotoptyp- und Lebensraumtypen) gebildet, deren charakteristische Pflanzenkombination durch ein entsprechendes Spektrum gekennzeichnet ist.



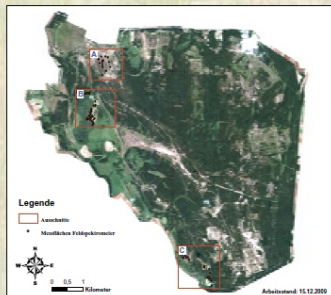
Vergleich der Reflektanzspektren von sechs Sandtrockenrasen-Standorten

Monitoring in der Döberitzer Heide: Vegetation und Fernerkundung



Aender Wisent

Nur einen Kilometer westlich der Stadtgrenze Berlins liegt das 3.500 Hektar große Wildnisgroßprojekt „Döberitzer Heide“ der Heinz Sielmann Stiftung. Durch eine mehr als 100jährige intensive militärische Nutzung hat sich ein vielfältiges Mosaik unterschiedlichster Lebensräume mit einer einzigartigen Arten- und Strukturvielfalt entwickelt.



Karte der Untersuchungsflächen

Impressum

Projektpartner:
GeoForschungsZentrum (GFZ) Potsdam,
Universität Potsdam,
Sielmann-Naturlandschaft (SNL) Döberitzer Heide

Kooperationspartner:
Luftbild Umwelt Planung (LUP)
Natur und Text
Ecotrat

Das Projekt „Entwicklung und Erprobung eines innovativen, naturschutzfachlichen Monitoringverfahrens auf der Basis von Fernerkundungsdaten am Beispiel der Döberitzer Heide, Brandenburg“, Förderkennzeichen: 26257 wird gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt.

Fotos von:
SNL Döberitzer Heide,
Thomas Stephan,
Frank Plücken (Geoflug e.V.)
M. Kübling



Luftbild der Untersuchungsflächen

Publikationen

- Förster, M.; Frick, A.; Körth, K.; Itzerott, S.; Neumann, A.; Förster, S.; Kleinschmit, B. (2009): Multi-sensor approaches for detecting protected plant communities in a nature conservation heathland area in Germany. Proc. 3rd EARSeL Workshop *Remote Sensing of Land Use and Land Cover* (Bonn, November 25th to November 27th 2009) pp. 125-126.
- Fürstenow, J. (2010): Das Wildnisgroßprojekt Döberitzer Heide. In: Hoffmann, Krawczynski & Wagner (Hrsg.): Wasserbüffel in der Landschaftspflege. Lexxion Verlagsgesellschaft, Berlin (Seiten 151-164)
- Fürstenow, J. (im Druck): Monitoring zu Flora und Vegetation in der Döberitzer Heide. In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (7 Seiten)
- Fürstenow, J.; Knuth, D. (im Druck): Monitoring zum Vorkommen der beiden Kiemenfußkrebsarten *Branchipus schaefferi* und *Triops cancriformis*. In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (3 Seiten)
- Fürstenow, J.; Kummer, V. (2011): Exkursion 3 - Vegetation und Landschaftspflege in der Döberitzer Heide. Tuexenia - Beiheft 4 (Flora und Vegetation in Brandenburg): 103-126.
- Itzerott, S. (im Druck): Fernerkundungsdatenbasis für das flächenhafte Monitoring der Döberitzer Heide. In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (8 Seiten).
- Kühling, M. (2010): Entwicklungen verfolgen - Monitoring in der Döberitzer Heide. Naturmagazin Berlin-Brandenburg, Heft 1/2010, Seiten 14-15
- Kühling, M. (im Druck): Monitoring Schmetterlinge (Lepidoptera). In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (5 Seiten)
- Luft, L. (im Druck): GIS-Datenbank im DBU-Projekt „Monitoring in der Döberitzer Heide. In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (2 Seiten)
- Luft, L.; Kühling, M. (im Druck): Literaturlisten im DBU-Projekt „Monitoring in der Döberitzer Heide“. In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (2 Seiten)
- Neumann, C. (2010): Synthese von ökologischer Gradientenanalyse und hyperspektraler Fern-erkundung zum Monitoring naturschutzfachlich bedeutsamer Offenlandschaften. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Potsdam, Institut für Erd- und Umweltwissenschaften.
- Neumann, C. (im Druck): Monitoring in der Döberitzer Heide - Vegetation und Fernerkundung. In: LUGV Brandenburg (Hrsg.): Monitoring in der Döberitzer Heide (Elstal, 16./17.04.2010), Studien und Tagungsberichte (5 Seiten)
- Neumann, C.; Förster, S.; Itzerott, S. (2010): From field spectra to an area wide monitoring - a case study in a dryland nature reserve in Germany. Proceedings of ESA Hyperspectral Workshop 2010, 17-19 March 2010, ESA ESRIN, Frascati (Rome) Italy, Special Publication SP-683 on CD.
- Neumann, C.; Neumann, A.; Itzerott, S.; Kühling, M. (2009): Monitoring of plant community changes in a nature conservation heathland area in Germany with multi-temporal HyMap data. Proc. 3rd EARSeL Workshop *Remote Sensing of Land Use and Land Cover* (Bonn, November 25th – November 27th 2009) pp. 149-150.
- Neumann, C.; Weiß, G.; Itzerott, S. (2011): Hyperspectral mapping of vegetational continuum and habitat assessment parameter. 41. Jahrestagung der Gesellschaft für Ökologie (Oldenburg, 05.-09.09.2011), Tagungsband, Seiten 298-299.
- Nitschke, P. (2009): Das Wildnisgroßprojekt Döberitzer Heide - Offenlandmanagement mit Przewalskipferden und Wisenten in der Döberitzer Heide. In: Finck, Riecken & Schröder (Hrsg.): Referate und Ergebnisse der Fachtagung „Offenlandmanagement außerhalb landwirtschaftlicher Nutzflächen“ (Internat. Naturschutzakademie, Insel Vilm, 23.-26.06.2008). Naturschutz und biologische Vielfalt, Heft 73, Seiten 35-49.

Fachtagung „Monitoring in der Döberitzer Heide“ (Elstal, 16./17.04.2010) ¹

Autoren- und Inhaltsverzeichnis

Inhalt

Vorwort 3

Autorenverzeichnis 4

Inhalt 5

1 Fernerkundungsdatenbasis für das flächenhafte Monitoring der Döberitzer Heide 6

2 Vegetationsmonitoring in der Döberitzer Heide auf Basis von Fernerkundungsdaten 14

3 Monitoring in der Döberitzer Heide - Vegetation und Fernerkundung 20

4 Geographische Informationssysteme für ein Offenlandmanagement 25

5 GIS-Datenbank im DBU-Projekt „Monitoring in der Döberitzer Heide“ 32

6 Literaturdatenbank im DBU-Projekt „Monitoring in der Döberitzer Heide“ 33

7 Osiris – Fachdatenbank für Naturschutzfachdaten 34

8 Geologie und Böden 35

9 Klimawandel in der Döberitzer Heide erste Projektionen zum Klimawandel und zur Bodenteuchte 39

10 Vegetationsökologisches Dauerflächen-Monitoring im Forstlicher Bruch als Beitrag zum Thema Wasserhaushalt in der Döberitzer Heidelebensgemeinschaft 42

11 Biotope, Vegetation und Flora der Döberitzer Heide – Arbeitsstände und Möglichkeiten für ein Monitoring 44

12 Monitoring zu Flora und Vegetation in der Döberitzer Heide 48

13 Eingeführte Großsäuger 55

14 Bodenständige Säugeltiere in der Döberitzer Heide 62

15 Europäisches Vogelschutzgebiet „Döberitzer Heide“ – Erfassung und Entwicklung der Avifauna 64

16 Amphibien und Reptilien in der Döberitzer Heide und im Forstlicher Bruch – Aktueller Kenntnisstand und Empfehlungen für ein Monitoring 70

17 Monitoring zum Vorkommen der beiden Kiementföhrkreisarten *Branchipus schaeferi* und *Tropis canalicornis* 75

18 Überblick zur Käterrauna der Döberitzer Heide unter besonderer Berücksichtigung der Latur- und Bockkäfer (Coleoptera: Carabidae et Cerambycidae) 78

19 Monitoring von Heuschrecken in der Döberitzer Heide 81

20 Spinnen als Bioindikatoren 85

21 Monitoring in der Döberitzer Heide am Beispiel der Artengruppe Stechimmen (Insecta: Hymenoptera) 90

22 Monitoring Schmetterlinge 94

Abbildungsverzeichnis 99

Tabellenverzeichnis 99

Anhang 102



**Workshop
Monitoring in der Döberitzer Heide
16.4. - 17.4.2010**

**Landesamt für Umwelt,
Gesundheit und Verbraucherschutz**

¹ Entwurf des Deckblattes und Inhaltsverzeichnis des Tagungsbandes - Mitteilung aus dem Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Büro des Präsidenten (Informationsstand: 04.12.2011).

Dokumentarfilm „Die Mark in Lila“ (RBB 2010) ^{1 2 3}

Foto: RBB (2010)

Auszeichnung als „Bester Naturfilm“ ⁴

Begründung der Jury: Mit sensibilisierenden Bildern von der Weite der Landschaft und dem Lob der Stille als meditativem Impuls erfährt der Zuschauer, dass Brandenburg die größten Heideflächen Deutschlands besitzt, meist militärische Hinterlassenschaft. Der Film zeigt nachdrücklich, dass die Heide als eine der ältesten vom Menschen geschaffene Kulturlandschaft und Lebensraum vieler Pflanzen und Tiere vom Menschen erhalten werden muss.

In nur 30 Minuten gelingt es dem Fernseh-Dokumentarfilm, sowohl unspektakulär als auch einfühlsam in historische, kulturelle und soziale Hintergründe zu führen und dabei Widersprüche nicht auszusparen. Dieser Film gibt gute Beispiele für gelebte und veranschaulichte Biodiversität, indem er die Heidelandschaften in der Vielfalt ihrer Nutzung dargestellt.



Foto: Naturschutzfonds Brandenburg

¹ Autorin/Regisseurin: Iduna Wünschmann, Kamera: Werner Peter, Schnitt: Martina Salbach.

² Länge: ca. 29 Minuten.

³ <http://www.ardmediathek.de/ard/servlet/content/3517136?documentId=6805464>

⁴ <http://www.oekofilm tour.de/0321e29e010b25001/index.html>

