



Multisensorale, objektbasierte und GIS gestützte Klassifizierung von Grünlandbiototypen im Biosphärengebiet Schwäbische Alb

PATRIC SCHLAGER, Tübingen, ALFONS KRISMANN, Singen, KATHRIN WIEDMANN, HEIKO HILTSCHER, Hohenheim, VOLKER HOCHSCHILD, Tübingen & KLAUS SCHMIEDER, Hohenheim

Keywords: Biotopkartierung, Sekundärdaten, Orthophotos, RapidEye, Lidar

Zusammenfassung: Seit den 1990er Jahren werden Fernerkundungssysteme zur Biototypenklassifizierung eingesetzt. Zeitgleich wuchs der Bedarf nach aktuellen und hochaufgelösten räumlichen Daten über den Zustand und das Vorkommen wertvoller Habitatstrukturen im Zuge nationaler und internationaler Naturschutzvereinbarungen (NATURA2000 2002, CBD 1992).

Eine automatisierte Biototypeninterpretation wurde bislang nur selten bis zur Praxistauglichkeit entwickelt. Probleme ergeben sich bei der Übertragung von Klassifizierungsalgorithmen auf andere Gebiete oder bei der erreichten Klassifizierungstiefe.

Im Rahmen des Projektes „Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring“ wird eine flächendeckende Biototypenkartierung für das Biosphärengebiet Schwäbische Alb durchgeführt. Verwendet werden hierfür multisensorale Fernerkundungsquellen (Orthophotos, RapidEye, Lidar, TerraSAR-X) und vektorielle Daten, vor allem Geobasisdaten aus der amtlichen Katasterverwaltung, des Agrarkontrollsystems InVeKoS, sowie Umweltdaten, wie Lebensraumtyp- und Biotopkartierungen.

Ausgangspunkt war die Verschneidung aller GIS-Daten zu einer flächendeckenden Objektkarte, die dann für Objektarten mit geringer Güte, z. B. Acker- Grünlanddifferenzierung, oder grober Klassifizierungstiefe als Segmentgrenzen für eine objektorientierte Segmentierung und Klassifizierung mittels eCognition 8.64 zur Differenzierung der übrigen Biototypen verwendet wurde. Biototypen mit dreidimensionalen Merkmalen (Schilf, Röhricht etc.) wurden regelbasiert aus den Lidar-Daten extrahiert und automatisch klassifiziert.

Summary: *Multisensoral, object- and GIS-based classification of grassland habitats in the Biosphere Reserve Schwäbische Alb.* Remote sensing of habitat complexes dates back into the 1990ies and has been continuously improved. At the same time the demand for spatially and temporally precise datasets has become urgent, due to international agreements like the NATURA 2000 and the CBD (NATURA2000 2002, CBD 1992).

Automatically derived habitat complexes which realize an appropriate level of relevance for end users was only seldomly achieved. Problems evolve with the transferability of algorithms to other sites or scenes as well as with the classification depths and accuracy.

Within the project „Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring“ an area-wide classification of habitat complexes of the Biosphere Reserve Schwäbische Alb has been conducted.

The classification is based on multisensoral remote sensing datasets (Orthophotos, RapidEye, lidar, TerraSAR-X) and on vector data, mainly geodata sets of the cadastral land register and the agrarian control system InVeKoS. Additionally, environmental geodata sets like habitat mapping were used. The GIS data was merged to a thematic consistent pre-classification scheme that was used to further classify habitat complexes based on spectral and three dimensional attributes. Later, an object based image classification approach with image segmentation and rule based classification has been conducted and provided for the final classification. Three dimensional habitat complexes like reed were extracted from the lidar data.

1 Einleitung

Die Bedeutung der Erfassung und Bewertung von Biotoptypen wächst mit zunehmendem Landschaftswandel und fortschreitendem Artenverlust zusehends. Biotoptypenkartierungen nehmen nicht zuletzt auch für die Überwachung der Einhaltung von nationalen und internationalen Naturschutzvereinbarungen wie der FFH-Richtlinie und des Biodiversitätskonvention (CBD = Convention on Biological Diversity) eine wichtige Rolle ein (MANDER et al. 2005, FRICK 2006). Im Rahmen des Monitorings für diese Vereinbarungen sind stets aktuelle Daten über die Art, Lage und Verbreitung sowie die Häufigkeit und den Zustand der Biotoptypen in einem Lebensraum nötig (BRAND et al. 2002, KIM 2007). Seit den 1990ern wurden verschiedene Fernerkundungsverfahren zur Biotoptypenbestimmung entwickelt (BRAND et al. 2002, BOCK 2003, FRICK 2006, TIEDE et al. 2008). Überwiegend wurden objektorientierte Klassifizierungsverfahren eingesetzt, mit denen genauere Ergebnisse als mit pixelbasierten Verfahren erreicht werden konnten (BOCK et al. 2005).

Objektorientierte Klassifizierungsverfahren (GEOBIA = geographic object-based image analysis) stützen sich auf die zwei methodischen Säulen der Segmentierung und Klassifizierung (LANG 2008). Bei der Segmentierung werden benachbarte Pixel auf Grund von Ähnlichkeiten zu Pixelgruppen, sogenannten „*meaningful objects*“, zusammengefasst (NEUBERT 2005). Diese Objekte lassen sich anhand ihrer spektralen Eigenschaften klassifizieren. Darüber hinaus lassen sich Texturparameter objektweise berechnen und gleichzeitig Formeigenschaften und Nachbarschaftsbeziehungen für die Klassifizierung verwenden. Zusätzlich kann das Klassifizierungsverfahren durch die Einbindung von Sekundärdaten, z. B. des Liegenschaftskatasters, unterstützt werden.

Bei einer Segmentierung und Klassifizierung mit der überwiegend verwendeten Analysesoftware eCognition konnte DIETSCHKE (2007) zeigen, dass die geometrische Abgrenzung der Objekttypen der softwaregestützten Segmentierung deutlich genauer als die durch Geländekartierer erstellte generalisierte FFH- und Biotop- und Nutzungstypenkarte ist.

Trotz der großen Fortschritte bei der fernerkundungsbasierten Klassifizierung von Biotoptypen kann der Bedarf der Naturschutzverwaltung an zeitlich und räumlich hochauflösten Biotoptypenklassifizierungen mit einer für die Anwendung brauchbaren thematischen Tiefe und Genauigkeit bis hin zur Rechtssicherheit z. B. des FFH-Lebensraumtyps 6510 (Magere Flachland-Mähwiese) bislang nicht erfüllt werden. Oft ist die Klassifizierung als „Potentialfläche“ nach FRANKE et al. (2012) möglich. Das sind Flächen, die mit relativ hoher Güte als Mähwiesen klassifiziert werden konnten, aber noch einer Verifizierung im Gelände bedürfen. Als problematisch erweist sich häufig neben der geringen thematischen Tiefe und mangelnden Übertragbarkeit von Algorithmen auf andere Gebiete die ausschließliche Verfügbarkeit von monotemporalen Datensätzen, die keine Beobachtung über die zeitliche Entwicklung der Phänologie zulassen. TIEDE et al. (2008) verfolgte in diesem Zusammenhang den Ansatz, bei großen Unsicherheiten der Klassifizierung einen fachkundigen Nutzer in den Entscheidungsprozess einzubeziehen, indem dieser über ein *graphical user interface* die Möglichkeit bekommt, die Klassenzuweisung und Aggregation von Objekten zu unterstützen. Die Datenbereitstellung durch die RapidEye Mission mit Wiederholungsraten von bis zu 14 Tagen eröffnet hier neue Möglichkeiten. Die Möglichkeiten zur Kartierung von Vegetationseinheiten mit multitemporalen RapidEye Daten wurden beispielsweise von FÖRSTER et al. (2011) untersucht.

Im Rahmen des Projektes „Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring“ wird das Ziel verfolgt, eine flächendeckende Biotoptypenerfassung für das Biosphärengebiet Schwäbische Alb auf der Grundlage des Biotoptypen-Kartierschlüssels der Landesanstalt für Umwelt, Messungen & Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW 2009) zu erstellen.

Dabei wird ein innovativer Ansatz verfolgt, der sich einerseits auf multisensorale Fernerkundungsquellen (Orthophotos, RapidEye, Lidar und explorativ TerraSAR-X) und andererseits auf amtliche vektorielle Geobasisda-

ten stützt. Dies sind vor allem GIS-Daten wie die Angaben der landwirtschaftlichen Betriebe im „Gemeinsamen Antrag“ (GA 2013), das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS), das Forstliche Geo-Informationssystem (FoGIS, SCHLÜTER 2011), NATURA 2000-Lebensraum- (LRT) & Biotopkartierungen und Landschaftspflegeflächen, im Folgenden „GIS-Geodatenbasis“ genannt (s. Abschnitt 2.1), die im Sinne einer Vorklassifizierung die Segmentierung entscheidend verbessern können. Die erarbeiteten Daten dienen als Planungsgrundlage sowie als Basis für ein langfristiges Monitoring der Landschaftsdynamik im Biosphärengebiet.

2 Material und Methoden

Das Biosphärengebiet Schwäbische Alb deckt eine Fläche von 85.269 ha der Schwäbischen Alb ab. 3,1 % des Gebietes sind als Kernzone, 41,8 % als Pflegezone und 55,4 % als Entwicklungszone ausgewiesen. Charakteristische und wertvolle Biotoptypen der Schwäbischen Alb sind beispielsweise die Wacholderheiden, die Magerrasen basenreicher Standorte oder die Streuobstgebiete, während nasse und/oder saure Standortbedingungen auf Grund der Geologie eher selten vorkommen.

Das Gebiet wurde im Jahr 2010 vollständig mit einer digitalen Kamera UltraCamXP befliegen, so dass Orthophotos in RGB und IR mit einer Auflösung von 20 cm und einer Datentiefe von 8 Bit vorliegen. Zusätzlich wurden alle in den Jahren 2010 und 2011 verfügbaren RapidEye-Satellitendaten (6,5 m Bodenauflösung, Level 3A) hinzugezogen. Für

eine vollständige Abdeckung des Gebiets mit RapidEye Szenen werden 7 Kacheln benötigt. Während im Jahre 2010 nur für einen Termin wolkenfreie Aufnahmen vorlagen, standen für 2011 fünf Aufnahmetermine zur Verfügung, die das Gebiet nahezu vollständig abdecken und wolkenfrei sind. Die Daten wurden am 18.04., 26.06., 02.08., 22.08. und 10.09. aufgenommen.

Neben den optischen Fernerkundungssystemen wurden die Lidar-Daten des Landes Baden-Württemberg von 2002 für die Extraktion von Gehölztypen und hochwachsenden Pflanzen feuchter Standorte herangezogen. Die Daten liegen mit einer Punktdichte von 1 Punkt/m² vor.

Die verwendeten Sekundärdaten (GIS-Geodatenbasis, siehe Abschnitt 1) stammen aus den Jahren 2009 und 2010. Die zum Abgleich verwendeten Kartierungen der geschützten Biotope stammen aus den 90er Jahren und von 2011.

Zusätzlich wurde im Jahre 2010 eine gezielte Kartierung von Trainings- und Evaluierungsdaten im Gelände durchgeführt, bei denen alle im Biosphärengebiet vorkommenden Biotoptypen in 710 Einzelpolygonen mit insgesamt rund 800 ha Fläche erfasst wurden. Für einzelne Klassen erfolgten zusätzliche Geländekartierungen in den Jahren 2011 und 2012.

Der Kartierschlüssel der LUBW (2009) gliedert sich in vier hierarchische Ebenen, die je nach betrachteter Ebene eine feinere Aufschlüsselung und Betrachtung des Biotoptyps vornehmen. Die sechs Typen der ersten Ebene sind folgende: 1. Gewässer, 2. Terrestrisch-morphologische Biotoptypen, 3. Gehölzarme terrestrische und semiterrestrische Biotoptypen, 4. Gehölzbestände und Gebüsch, 5. Wälder, 6. Biotoptypen der Siedlungs- und Infrastrukturflächen. Daraus ergeben sich auf der 4. Ebene 281 Biotoptypen.

Schematisch lässt sich der *workflow* der Grünlandklassifizierung folgendermaßen gliedern:



Abb. 1: Schematische Darstellung des work-flows für die Grünlandklassifizierung.

2.1 GIS-Daten

In der objektorientierten Bildanalyse ist die Verwendung von Sekundärdaten konzept-

tionell angelegt. eCognition bietet daher die Möglichkeit, Sekundärdaten in den Segmentierungs- und Klassifizierungsprozess einzu-beziehen. Auf Grund der unter 1. geschilderten Problematik bei der Ableitung von Biotop-typen aus Fernerkundungsdaten und der Ge-bietsgröße wurde aus den unter 2. erwähnten GIS-Daten (Terrestrisch-morphologische Bio-topotypen) in einem iterativen Prozess eine ein-heitliche Maske für das Untersuchungsgebiet erstellt, die Objektgruppen, z. B. Wald, Grün-land etc., von anderen Objektgruppen bezie-hungsweise bereits bekannten Biotoptypen, z. B. Acker, trennt. Dadurch konnte für schwer zu trennende Biotoptypen, z. B. Wirtschaftswiesen und beweidete Grünlandflächen, eine Vorabgrenzung vorgenommen werden.

Die Erstellung der Maske erfolgte in sechs aufeinander aufbauenden Prozessschritten.

1. Vom ATKIS-BasisDLM (Basis Digitales Landschaftsmodell) wurden 75 Objekttypen in 119 Einzelschritten mit ArcGIS 10 einheitlich aufbereitet, wobei der Schwerpunkt auf der Offenland/Waldabgrenzung und dem Siedlungs- und Gebäudebereich lag. Darüber hinaus wurden gehölzreiche Grünlandbestände aus den Siedlungen entfernt. Hierbei handelt es sich vorwiegend um Streuobstwiesen. Das ATKIS-Basis-DLM lag damals für Baden-Württemberg zersplittert in 429 einzelnen Shape-Dateien (Blattschnitten) vor. Mittlerweile wurden diese Einzeldateien seitens der zuständigen Behörde zu größeren Einheiten aggregiert.
2. Die FFH-Mähwiesenkartierung von 2004 und 2010 wurde kombiniert und in das BasisDLM eingefügt.
3. Die landwirtschaftlichen GA-Daten wurden mittels der Flurstücksnummer mit der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) verbunden. Für das Gesamtgebiet wurden etwa 48.000 Flurstücke verwendet. Es wurden nur Flurstücke berücksichtigt, bei denen der einheitliche Flächenanteil im GA mindestens 80 % betrug, d. h. die Information von Flurstücken mit mehreren landwirtschaftlichen Schlägen unterschiedlicher Nutzung konnte prinzipiell nicht verwendet werden. Auf diese Weise konnten ca. 90 % der Ackerflächen abgeleitet werden, die auch bei unterschiedlicher Nutzung einen einheitlichen Biototyp darstellen.

4. Neben den Ackerflächen wurde aus den GA-Daten das naturschutzfachlich wertge-bende Grünland („Artenreiches Grünland“, in Baden-Württemberg eine förderfähige Agrarumweltmaßnahme des MEKA-Pro-grammes (MEKA 2013)) sowie die bewei-deten Flächen gefiltert.
5. Aus der Forstinventur wurden nach einem Bereinigungsschritt 6721 Flächen über-nommen.
6. Aus den Landschaftspflegeverträgen wur-den 131 Flächen übernommen, verteilt auf drei Landkreise. Dabei handelt es sich vor allem um Sommerschafweiden.

Nach Abschluss der sechs Prozessierungs-schritte, wurden die Daten zu einem einheit-lichen Landnutzungslayer verschnitten, wobei keine Polygone < 200 m² zugelassen bzw. mittels der ArcGIS-Erweiterung ET Geowizards 10.1 (www.ian-ko.com) zu Nachbarflächen

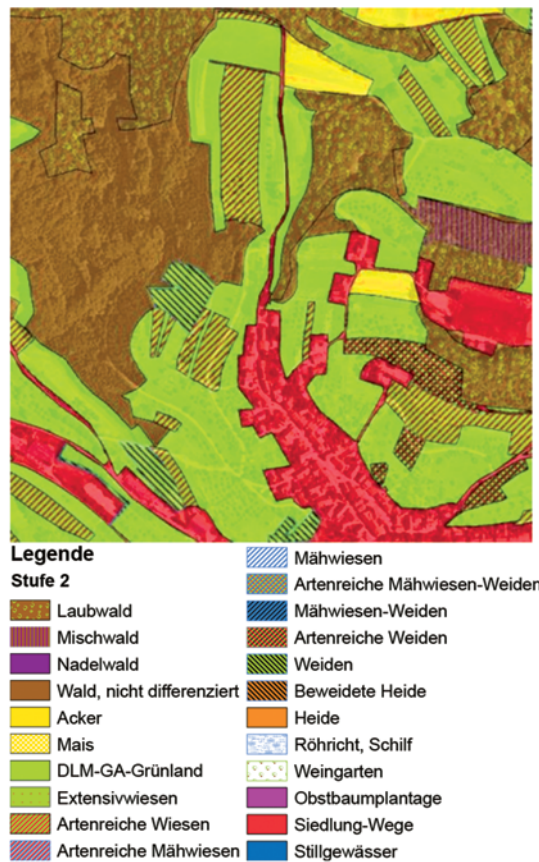


Abb. 2: Ausschnitt des Landnutzungslayers in der Detaillierungsstufe 2 mit zugehöriger Legende.

mit der längsten gemeinsamen Grenzen aggregiert wurden. Der Landnutzungslayer wurde in drei unterschiedlichen Detaillierungsgraden erstellt, um im Rahmen der Klassifizierung unterschiedliche Strategien testen zu können.

2.2 Klassifizierung der spektralen Daten

Mittels der Klassifizierung der spektralen Fernerkundungsdaten wurde das Ziel verfolgt, folgende Grünlandbiotoptypen zu klassifizieren: *Feuchtwiesen* (33.10), *Nasswiese* (33.20), *Schilf* (34.40), *Röhricht* (34.50), *Großseggenriede* (34.60), *Dominanzbestände* (35.30), *Hochstaudenfluren* (35.40), *Intensivgrünland* oder *Grünlandansaat* (33.60) und *Magerrasen basenreicher Standorte* (33.60). Zusätzlich wurden die *Wirtschaftswiesen mittlerer Standorte* (33.40) und die *Weiden mittlerer Standorte* (33.50) berücksichtigt. Allerdings war für die Ableitung dieser Klassen keine spektrale Klassifizierung notwendig, da sich die Wirtschaftswiesen als Restsumme aus dem Gesamtgrünland nach Abzug der anderen Grünlandtypen ergaben und die Weiden bereits durch die Erstellung des Landnutzungslayers erkannt waren.

Für die Klassifizierung wurden einerseits die in 30 Einzelkacheln vorliegenden RapidEye-Daten und andererseits die Orthophotos genutzt. Die RapidEye-Daten wurden einer Atmosphärenkorrektur unterzogen und anschließend zu fünf einheitlichen Bildmosaiken aufbereitet (Abb. 3). Die Orthophotos wurden in 4 x 1404 Einzeldateien geliefert und mussten zunächst zu *composites* gerechnet und anschließend mosaikiert werden. Durch das Mosaikieren wurden radiometrische Unterschiede in den Daten ausgeglichen.

Die Klassifizierung erfolgte in mehreren aufeinander aufbauenden Prozessierungsschritten. Zunächst wurden alle für die angestrebte Zielklasse relevanten Ausgangsklassen aus dem Landnutzungslayer ausgewählt und als Segmentierungsgrundlage in eCognition zugrunde gelegt (Level 1). Ausgehend davon wurde mittels einer *multiresolution segmentation* ein zweites Segmentierungslevel erstellt, das über die Funktion *relations to su-*

per objects mit den in Level 1 eingegangenen Landnutzungslayer verbunden wurde. Dadurch standen die Ausgangsklassen auch auf Level 2 zur Verfügung. Innerhalb dieser noch relativ großen und unspezifischen Segmente wurden dann *geons*, d.h. Zielobjekte mit thematisch und geometrisch adäquater Auflösung, adressiert.

Bei der Klassifizierung wurden einerseits auf Fuzzy-Logik basierende Klassenbeschreibungen und die Definition von Zugehörigkeitsfunktionen verwendet und andererseits Schwellenwertfestlegungen. Die Definition von Objektbeziehungen diente dazu, die unterschiedlichen Segmentierungslevel miteinander zu verbinden und Nachbarobjekte zu fusionieren.

2.2.1 Feuchtflächen

Aufgrund der naturräumlich bedingten geringen Zahl von Feuchtflächen wurden diese in nur zwei Klassen aggregiert: Röhricht und Schilf sowie Nasswiesen, Dominanzbestände, Großseggenriede und Hochstaudenfluren. Ausgangspunkt für die Klassifizierung bildeten die im Landnutzungslayer definierten Klassen DLM-GA-Grünland. Die DLM-GA-Grünland enthält Grünland, das im Gemeinsamen Antrag und im BasisDLM nicht näher bestimmt ist, sowie Röhricht/Schilf, um Veränderungen gegenüber den bestehenden ATKIS Daten dokumentieren zu können. Diese



Abb. 3: Ausschnitt des RapidEye-Mosaiks vom 18.04.2011. Deutlich erkennbar sind die feuchten Bereiche (siehe Pfeil).

Daten wurden als Segmentierungsgrundlage für die RapidEye-Szene vom 18.04.2011 herangezogen.

Zu diesem frühen Aufnahmezeitpunkt war der Aufwuchs auf den feuchten Flächen noch kaum entwickelt, wodurch sich die Flächen zu den deutlich weiter entwickelten Wirtschaftswiesen spektral unterschieden (Abb. 2). Eine Trennung der feuchten und intensiver bewirtschafteten Flächen erfolgte mittels der Definition von Zugehörigkeitsfunktionen.

Anschließend wurde das Klassifizierungsergebnis als Segmentierungsgrundlage für die Klassifizierung der Orthophotos verwendet, für die eine eigene Segmentierung erstellt wurde. Mittels der Ableitung von Texturen erfolgte eine Trennung der fehlklassifizierten Wirtschaftswiesen, so dass im Anschluss eine Feuchtklasse verblieb, die mit Hilfe der Lidar-Daten weiter klassifiziert wurde. Aus den Lidar-Daten wurde ein in Bezug zur Geländehöhe „Normalisiertes Oberflächenmodell“ berechnet. D. h., es wurden alle First- und Lastpulse-Reflexionen unterhalb von 1 m entfernt, so dass in dem Datensatz lediglich Punkte verblieben, die Gehölze oder andere potentielle Objekte mit dreidimensionalem Charakter repräsentieren. Aus diesem Datensatz wurden einerseits mittels der eigens entwickelten Software „Biomass“ Offenlandgehölze klassifiziert (KRISMANN et al. 2012) und andererseits Röhricht und Schilfbestände. Neben der Ableitung der Objektgeometrien wurden objektweise mehrere Attribute wie die mittlere Höhe, das Längen- und Breitenverhältnis und anderes berechnet.

Die Ableitung der Schilf- und Röhrichtflächen erfolgte mittels der Kombination unterschiedlicher Attribute, z. B. mittlere Höhe $< 2,5$ m und Fläche < 500 m², sowie einer zusätzlichen Trennung von kleinen Gebüsch und Hochstauden anhand von relativen einzelflächenspezifischen NDVI-Schwellenwerten. Konkret: Wenn der mittlere NDVI eines Einzelobjektes (Gebüsch oder Hochstaudenpatch) mehr als 15 % unter dem des mittleren NDVI der gesamten Feuchtklasse oder mindestens ein Pixel (20 cm x 20 cm) mehr als 60 % unter dem des mittleren NDVI liegt, wurde das Objekt als kleines Gebüsch klassifiziert. Diese Schwellenwerte sind je nach Befliegungszeitpunkt anzupassen.

Bei der Entwicklung des Feuchtgebiets-Klassifizierungsschlüssels wurde auch auf Gebiete außerhalb des Biosphärengebiets zurückgegriffen (Bodenseeregion), da die wenigen Feuchtflächen der Schwäbischen Alb keine verlässliche Algorithmenentwicklung erlaubt hätten.

2.2.2 Intensivgrünland oder Grünlandansaat

Bei der Klasse Intensivgrünland handelt es sich um Grünlandstandorte, die vier- bis fünfmal im Jahr gemäht und stark gedüngt werden. Die Flächen werden von wenigen Arten, z. B. Klee und Weidelgras, dominiert. Spektral sind die Flächen bei einer monotemporalen Szene nur selten von Wirtschaftswiesen zu unterscheiden. Daher wurde als ausschlaggebendes Klassifizierungsmerkmal die Schnitthäufigkeit herangezogen, die aus den RapidEye-Mosaiken abgeleitet wurde.

Zunächst wurde das im Nutzungslayer nicht näher differenzierte Grünland mittels eCognition 8.64 auf Basis der RapidEye Mosaik segmentiert. Die Klassifizierung gemähter und ungemähter Flächen erfolgte für die RapidEye Mosaik vom 26.06.2011 – 10.09.2011. Als Klassifizierungsmerkmal wurden Klassenbeschreibungen erstellt, die sich im Wesent-

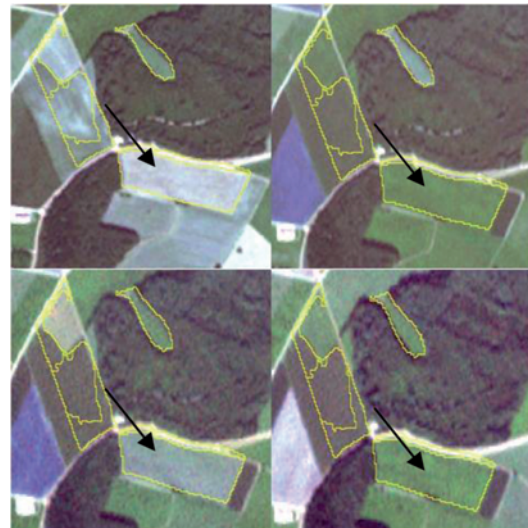


Abb. 4: Analyse der Schnitthäufigkeit anhand der vier RapidEye Aufnahmezeitpunkte (26.06. gemäht (links oben), 02.08. ungemäht (rechts oben), 22.08. gemäht (links unten), 10.09. ungemäht (rechts unten)).

lichen auf eine abrupte Änderung des NDVI im Falle eines Schnittereignisses stützten. Die Klassentrennung deckte auch Fehler in der Ausgangsklasse „Undifferenziertes Grünland“ auf, vor allem vereinzelte Ackerflächen.

Im Anschluss an die Klassifizierung in eCognition wurden die Ergebnisse exportiert und mit ArcGIS 10.1 ServicePack 1 hinsichtlich der Schnittfrequenz untersucht. Dabei wurde folgende Regel angewandt, um Intensivgrünland zu differenzieren: Ein Mahdereignis ist auf allen Mosaiken vom 26.06.–10.09.2011 sichtbar oder nur am 26.06., 02.08. und 22.08. oder 10.09.?

In einem letzten Bereinigungsverfahren wurden alle Flächen $< 0,05$ ha eliminiert und alle Flächen, die eine räumliche Überlagerung mit Straßen des BasisDLM aufweisen, entfernt. Die räumliche Überlagerung wird durch den Fehler der Entzerrung der Rapid-Eye-Szenen verursacht.

2.2.3 Magerrasen basenreicher Standorte

Magerrasen sind extensiv genutzte Grünlandstandorte auf nährstoffarmen („mageren“) Standorten, die durch historische Landnutzungsformen entstanden sind.

Für die Kartierung der Magerrasenstandorte wurden zusätzliche *ground truth* Daten in drei Testgebieten kartiert, da in den bereits verfügbaren *ground truth* Daten zu wenige und räumliche disperse Flächen vorhanden waren, um einen zuverlässigen Algorithmus zu entwickeln.

Ausgangspunkt der Klassifizierung bildeten die in der „Geodatenbasis“ erstellten Klassen: „Artenreiche Wiesen“, „Artenreiche Weiden“, „Heide“, „Beweidete Heide“, „Weiden“ und „DLM-GA-Grünland“. Bei diesen Klassen handelt es sich um die Flächen, die Magerrasen enthalten können. Analog zum Vorgehen bei den Feuchtflächen wurde aus der GIS Maske Level 1 die Segmentierung des Rapid-Eye-Mosaiks vom 18.04.2011 generiert. Anhand dieser ließen sich die Magerrasenflächen gut herausfiltern, da diese zum Aufnahmezeitpunkt noch fast keinen Aufwuchs hatten und damit deutliche spektrale Unterschiede zu dem intensiver bewirtschafteten Grünland aufwiesen.

Im Anschluss an diese Vorabgrenzung erfolgte eine Analyse der Schnitthäufigkeit analog zu dem unter 2.2.2 beschriebenen methodischen Vorgehen. Lediglich die Abfrage der Schnitthäufigkeit wurde angepasst; jede Fläche, die mehr als einen Schnitt aufwies, wurde aus den Daten entfernt. Da magere Flächen höchstens einmal jährlich gemäht werden, konnten so Fehlklassifizierungen entfernt werden.

Die so in mehreren Iterationen verbesserte „Geodatenbasis“ wurde als Segmentierungsgrundlage für die Klassifizierung der Orthophotos herangezogen. Die Algorithmenentwicklung erfolgte in mehreren Testgebieten, da das gesamte knapp 1000 km^2 große Orthophotomosaik für jede Testklassifizierung drei Tage-Rechenzeit in eCognition benötigt.

Für die Klassifizierung wurde eine Segmentierungshierarchie mit zwei Leveln angelegt. Aufbauend auf Level 1 erfolgte eine *multiresolution segmentation* mit den Parametern *scale* 200, *shape* 0,3 und *compactness* 0,5 auf einem zweiten Level unterhalb von Level 1. Die so generierten *geons* trugen der kleinräumigen Strukturierung der Magerrasenpatches Rechnung.

In den Luftbilddaten konnten optisch drei Ausprägungen von Magerrasen unterschieden werden, für die auf Level 2 jeweils eigene Zugehörigkeitsfunktionen/Klassenbeschreibungen entwickelt wurden.

Nach der Übertragung des Algorithmus auf das gesamte Gebiet wurden mittels eines *grow region* Befehls benachbarte Magerrasensegmente zusammengefasst und exportiert. Die Auflösung der Kachelgrenzen wurde mit ArcGIS 10.1 und der darin eingebundenen Extension vLate 2 beta (V-LATE 2013) vorgenommen. Nach Abschluss der Klassifizierung wurden alle als Magerrasen kartierten Flächen innerhalb der Ausgangsklasse „Weiden“ entfernt, da die Textur der Weiden dem Magerrasen zu ähnlich war.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Grünlandklassifizierung wurden anhand einer *confusion matrix* ermittelt. Daraus resultierten klassenweise eine *producer's (pa)* und *user's accuracy (ua)* so-

wie die *overall accuracy* und ein Cohen-Kappa-Koeffizient für die Güte der gesamten Klassifizierung.

Der Cohen-Kappa-Koeffizient der gesamten Grünlandklassifizierung liegt bei 0,69 und die *overall accuracy* bei 80 %.

Das zufriedenstellende Klassifizierungsergebnis kann auf mehrere Faktoren des hier vorgestellten Ansatzes zurückgeführt werden.

Wie beim überwiegenden Anteil von fernerkundungsgestützten Biotopkartierungen seit dem Ende der 1990er hat sich der objektorientierte Bildanalyseansatz mit einer *multiresolution segmentation* und der Adressierung von *geons* auf unterschiedlichen Leveln als geeigneter Ansatz erwiesen, um sehr hochaufgelöste Spektraldaten zu klassifizieren (z. B. BOCK 2003, NEUBERT 2005, TIEDE et al. 2008). Insbesondere die Fähigkeit des Segmentierungsalgorithmus, Änderungen eines Biototyps präzise abzubilden und das gesuchte *geon* detailgetreu zu erfassen, hat sich dabei als sehr hilfreich erwiesen (vgl. z. B. DIETSCH 2007).

Das Einbeziehen von bestehenden Sekundärdaten (zumeist ATKIS Daten) wird ebenfalls von den meisten Autoren verfolgt (z. B. BOCK 2003, LESER 2003, NEUBERT 2005). Mit dem hier verfolgten Ansatz der Kombination unterschiedlicher GIS Daten in der vorgestellten Detaillierung konnte jedoch eine größere Differenzierung von Klassen erreicht werden. So fasst beispielsweise TIEDE et al. (2008), der ebenfalls ATKIS Daten für die Vorklassifizierung verwendet und eine ähnliche Gebietsgröße bearbeitet, unterschiedliche Grünlandklassen zu funktionalen Habitatkomplexen zusammen, ohne eine weitere Differen-

zierung der Grünlandflächen vorzunehmen. Auch lässt sich der Informationsgewinn der detaillierten GIS Daten daran ablesen, dass viele Forschungsansätze standortähnliche, z. B. Feuchtstandorte, oder bewirtschaftungseinheitliche, z. B. Intensivwiesen, Typen untersuchen, ohne dass das gesamte Grünlandspektrum erfasst wird (DIETSCH 2007, FRANKE et al. 2012). Schwer zu trennende Biototypen wie z. B. Wirtschaftswiesen und Weiden oder Magerrasen wurden bislang kaum untersucht.

Die Klassifizierung von multitemporalen Fernerkundungsdaten wird seit ca. 2011 vermehrt verfolgt, da für viele Gebiete Europas zwischenzeitlich größere Zeitreihen der RapidEye-Mission verfügbar sind. Wie im hier vorgestellten Ansatz wird beim Grünland häufig die Bewirtschaftung der Flächen dokumentiert (FÖRSTER et al. 2011, FRANKE et al. 2012). FRANKE et al. (2012) können bei ihrer Klassifizierung von intensiv bewirtschafteten Grünlandflächen bessere Ergebnisse der *producer's accuracy* und der *user's accuracy* als in der vorliegenden Klassifizierung aufweisen. Das liegt daran, dass für das Biosphärengebiet im Jahr 2011 die temporale Verteilung der Szenen nicht ganz optimal war. So fehlt beispielsweise eine Szene zwischen dem 15.05. und dem 31.05., mittels derer der erste Schnitt hätte erfasst werden können. Zwar liegt die *pa* mit 63 % noch in einem akzeptablen Bereich, die *ua* spiegelt allerdings mit 41 % das Fehlen von ein bis zwei Szenen zu einem günstigen Zeitpunkt deutlich wieder. Die Bedeutung der temporalen Verteilung für die Klassifizierung von Grünlandstandorten wird auch von FÖRSTER et al. (2011) und FRANKE et al. (2012) betont.

Die Kombination von Satellitendaten und Orthophotos hat sich vor allem bei der Klassifizierung von Magerrasen als sehr sinnvoll erwiesen. Während mit den RapidEye Daten eine gute Vorabgrenzung anhand eines frühen Aufnahmezeitpunkts im Jahr möglich war, konnten die auf engem Raum stark variierenden Magerrasenpatches mit den hochauflösenden Flugzeugbilddaten einerseits gut abgegrenzt und anschließend verlässlich kartiert werden.

Feuchtflächen wurden bereits in anderen Arbeiten mit zufriedenstellendem Ergebnis, häufig in kleineren Untersuchungsgebieten, klassifiziert (z. B. DIETSCH 2007).

Tab. 1: *Producer's* und *user's accuracy* der Grünlandklassifizierung.

Biototyp	Producer's accuracy	User's accuracy
Wirtschaftsgrünland	89 %	77 %
Intensivgrünland	41 %	63 %
Magerrasen	79 %	83 %
Röhricht/Schilf	80 %	94 %
Nasswiesen, Großseggen, Hochstauden, Dominanzbestände	74 %	96 %

Die in der vorliegenden Arbeit vorgenommene relativ grobe Aggregation in zwei Klassen ist dem Umstand geschuldet, dass auf der Schwäbischen Alb Feuchtflächen nur in sehr geringer Zahl vorkommen, so dass die Entwicklung eines stabilen Algorithmus für jeden Biotoptyp kaum möglich war.

Dass ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden konnte, ist einerseits der Möglichkeit der Kombination unterschiedlicher Spektraldaten geschuldet. So waren beispielsweise auch bei der Klassifizierung der Feuchtflächen die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte der RapidEye Daten eine Möglichkeit, Feuchtflächen einer Vorabgrenzung zu unterziehen, die dann mit den Orthophotos verbessert werden konnte. Das Einbeziehen von Lidar-Daten in den Klassifizierungsprozess stellt für die hochwüchsigen Kulturen eine methodische Erweiterung dar. Mittels der Lidar-Daten wurde auch der Versuch unternommen, Großseggenriede zu klassifizieren. Die Algorithmenentwicklung erfolgte im Bodenseeraum, da dort der Biotoptyp verbreiteter ist, und wurde anschließend auf die Schwäbische Alb übertragen. Allerdings konnte dabei für die Schwäbische Alb kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Vermutlich liegt dies daran, dass die auf der Schwäbischen Alb länger vorherrschende Schneelast die Großseggen länger niederdrückt und sie damit unterhalb der Schwellenwerte des Algorithmus drückt (im Winter vor der Befliegung 50–60 cm max. Schneehöhe).

Die TerraSAR-X Radardaten sollten zur Bestimmung von Feuchtigkeitsgradienten herangezogen werden. Dies erwies sich aber aufgrund der geringen Anzahl von verfügbaren Kacheln und den großen Datenlücken aufgrund des ausgeprägten Reliefs des Gebietes als nicht zielführend. Im Bereich des Albraufes liegen aufgrund des Neigungswinkels des Satelliten für einen 200 bis 500 m breiten Streifen keine Radardaten vor.

4 Schlussbemerkung

Mit der flächendeckenden Biotoptypen- und Nutzungskartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb wurden verschiedene spektrale Fernerkundungs- und Lidar-Daten mit

amtlichen „Geobasisdaten“ sowie Daten der Umweltbeobachtung in einem innovativen Ansatz auf pragmatische und nachvollziehbare Weise kombiniert. Die Klassifizierungstiefe bewegt sich zwischen der 2. und 4. Stufe des Landes-Biotoptypenschlüssels (LUBW 2009). Insgesamt wurden 50 Biotoptypen klassifiziert.

Für die Klassifizierung von Grünlandbiotoptypen hat sich eine Kombination von weniger hochaufgelösten Satellitendaten und sehr hochaufgelösten Flugzeugdaten mit bereits bestehenden Umweltinformationen als sinnvoll erwiesen. Aus den unterschiedlichen Daten lassen sich Informationen über die Bewirtschaftung, die typischen spektralen Charakteristika oder die dreidimensionalen Charakteristika ableiten und zu fachlich nachvollziehbaren Klassifizierungsregeln zusammenstellen.

Wesentlichen Anteil am Erfolg des Projektes hatte das interdisziplinäre Team von Biologen und Geographen, ohne das die Erstellung wissenschaftlicher und empirisch ermittelter Klassifizierungsregeln nicht möglich gewesen wäre. Die verwendete Methodik soll für weitere Gebiete, gegebenenfalls Großschutzgebiete, weiterentwickelt werden. Die benutzten Klassifizierungsregeln sind vermutlich genügend valide und robust, um auf andere Gebiete in Deutschland übertragen zu werden, da diese bereits für ein knapp 900 km² großes Gebiet erfolgreich eingesetzt wurden.

Literatur

- BRAND, J., EHLERS, M. & MÖLLER, M., 2002: Abschlussbericht des Projektes „Fortschreibung der Biotop- und Nutzungstypenkartierung mit multispektralen Scannerdaten“. – http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/NaturschutzForstJagd/_DL/Abschlussbericht_pdf__blob=publicationFile.pdf (16.3.2012).
- BOCK, M., 2003: Remote sensing and GIS-based techniques for the classification and monitoring of biotopes. – *Journal for Nature Conservation* **11**: 145–155.
- BOCK, M., XOFIS, P., MITCHLEY, J., ROSSNER, G. & WISSEN, M., 2005: Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales – Case studies from Northern Germany and Wye Downs, UK. – *Journal for Nature Conservation* **13**: 75–89.

- CBD, 1992: Convention on Biological Diversity. – <http://www.cbd.int/convention/text/> (5.3.2013).
- DIETSCHKE, D., 2007: Der Einsatz hochauflösender Fernerkundungsdaten zur Klassifizierung und Bewertung von FFH-Gebieten am Beispiel ausgewählter Moorhabitats Schleswig-Holsteins. – Magisterarbeit, Albert-Ludwig-Universität Freiburg, Freiburg.
- FÖRSTER, M., SCHUSTER, C., SONNENSCHNEIN, R., BAHLS, A. & KLEINSCHMIT, B., 2011: Möglichkeiten der Erfassung von Landbedeckung und Vegetationsgesellschaften mittels Rapid-Eye-Daten. – BORG, E. & DAEDLOW, H. (Hrsg.): Rapid-Eye Science Archive (RESA) – Erste Ergebnisse, 3. RESA Workshop, GITHO Verlag, Berlin.
- FRANKE, J., KEUCK, V. & SIEGERT, F., 2012: Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. – *Journal for Nature Conservation* **20**: 125–134.
- FRICK, A., 2006: Beiträge höchstauflösender Satellitenfernerkundung zum FFH-Monitoring – Entwicklung eines wissenschaftlichen Klassifikationsverfahrens und Anwendung in Brandenburg. – Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- GA, 2013: Gemeinsamer Antrag. – landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/menu/1211144/index.html (5.3.2013).
- KIM, H.O., 2007: Beitrag sehr hochauflösender Satellitenfernerkundungsdaten zur Aktualisierung der Biotop- und Nutzungstypenkartierung in Stadtgebieten – Dargestellt am Beispiel von Seoul. – Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- KRISMANN, A., BISCHOPING, H. & RENTSCH, M., 2012 (in press): Landesweite Biomasseberechnung von Gehölzen auf OpenSource-Basis. – Konferenzband: Energetische Biomassenutzung – Neue Technologien und Konzepte für die Bioenergie der Zukunft, 5.12.2012, Berlin.
- LANG, S., 2008: Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. – BLASCHKE, T., LANG, S. & HAY, G. (Hrsg.): Object-based image analysis: 3–27, Springer, Hamburg.
- LESER, C., 2003: Entwicklung operationell einsetzbarer Methoden zur Biotoptypen-Kartierung anhand hochauflösender HRSC-Daten. – Dissertation Technische Universität Berlin, Berlin.
- LUBW LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2009): Arten, Biotop, Landschaft – Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. – 4. Auflage, 314 S., http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/60969/arten_biotop_landschaft.pdf?command=downloadContent&filename=arten_biotop_landschaft.pdf (16.3.2012).
- MANDER, Ü., MITCHLEY, J., XOFIS, P., KERAMITSOGLU, I. & BOCK, M., 2005: Earth observation methods for habitat mapping and spatial indicators for nature conservation in Europe. – *Journal for Nature Conservation* **13**: 69–73.
- MEKA, 2013: <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/s/10fw6i44i8yboxb23bsp2hv1f1fimu24/menu/1149417/> (10.3.2013).
- NATURA2000, 2002: Arbeitsdokument der Kommission NATURA 2000. – ec.europa.eu/environment/nature/info/pubs/docs/nat2000/2002_faq_de.pdf (5.3.2013).
- NEUBERT, M., 2005: Bewertung, Verarbeitung und segmentbasierte Auswertung sehr hoch auflösender Satellitendaten vor dem Hintergrund landschaftsplanerischer und landschafts-ökologischer Anwendungen. – Dissertation, Technische Universität Dresden, Dresden.
- SCHLÜTER, W., 2011: Zusammenarbeit des Landesbetriebs ForstBW mit dem LGL (Vortrag 24. Mai 2011: https://www.lgl-bw.de/lgl-internet/web/sites/default/de/01_Aktuelles/Veranstaltungen/Galerien/Dokumente/01_Schlueter.pdf
- TIEDE, D., LANG, S. & HÖLBLING, D., 2008: Class modelling of biotope complexes – success and remaining challenges. – http://homepages.ualgary.ca/~gjhay/geobia/Aug18/GEOBIA%20Proceedings_Linked.pdf (26.6.2012).
- V-LATE, 2013: Vector-based Landscape Analysis Tools Extension. – <https://sites.google.com/site/largvlate/gis-tools/v-late> (5.3.2013).

Adressen der Autoren:

PATRIC SCHLAGER und VOLKER HOCHSCHILD, Geographisches Institut, Universität Tübingen, Rümelinstr. 19–23, D-72070 Tübingen, e-mail: patric.schlager@geographie.uni-tuebingen.de, volker.hochschild@uni-tuebingen.de

ALFONS KRISMANN, Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz (ILN Singen) Singen, Burgstr. 15, D-78244 Singen, e-mail ak@iln-singen.de

KATHRIN WIEDMANN, HEIKO HILTSCHER und KLAUS SCHMIEDER, Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie, Universität Hohenheim, August-von-Hartmann Str. 3, D-70599 Stuttgart, e-mail: kathrinwiedmann@web.de, heiko.hiltscher@googlemail.com, schmied@uni-hohenheim.de

Manuskript eingereicht: November 2012

Angenommen: Februar 2013