



**Abschlussbericht zum Projekt  
Flächendeckende Biotop- und  
Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet  
Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten  
als Basis für ein Landschaftsmonitoring**

**Februar 2015**

**Patric Schlager, Alfons Krismann,  
Prof. Dr. Volker Hochschild**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Datengrundlagen</b> .....	<b>5</b>
2.1. Ground truth Daten .....	6
2.1.1. Vorbereitung der Kartierung .....	7
2.1.2. Durchführung der Kartierung .....	8
2.1.3. Nachbereitung der Kartierung .....	9
2.1.4. Simultane Geländevergleichsmessungen während der Befliegung .....	10
2.2. GIS-Kataster .....	10
2.3. Orthophotos .....	12
2.3.1. Preprocessing der Orthophotos .....	12
2.4. Satellitenbilder .....	14
2.4.1. Preprocessing der Satellitenbilder .....	16
2.5. LIDAR-Daten .....	17
<b>3. Methoden</b> .....	<b>18</b>
3.1. Erstellung einer einheitlichen GIS Maske zur Vorklassifikation .....	18
3.2. Aufbau der GIS Maske .....	18
3.3. Spektrale Klassifikation.....	20
3.3.1. Objektbasierte Bildanalyse .....	21
3.3.2. Bildsegmentierung.....	21
3.3.3. Aufbau von eCognition 8.7 .....	25
3.3.4. Spektral-klassifizierte Biotoptypen.....	26
3.3.4.1 Magerrasen basenreicher Standorte (36.50) .....	26
3.3.4.2 Nasswiese (33.20), Großseggenried (34.60), Dominanzbestand (35.30), Hochstaudenflur (35.40) .....	33
3.3.4.3 Intensivgrünland oder Grünlandansaat (33.60) .....	37
3.3.4.4 Offene Felsbildung (21.10) .....	38
3.3.5. Laserscanning .....	39
3.3.6. Per Laserscanning klassifizierte Biotoptypen.....	41
3.3.6.1 Röhricht (34.50) .....	41
3.3.6.2 Wacholderheiden (36.30) .....	44
3.3.6.3 Gehölzbestände (41.00 bis 45.00) .....	45
3.3.6.4 Wälder (52.00 bis 59.50) .....	48

---

3.4. Datenfusion .....	50
3.5. Validation.....	51
<b>4. Ergebnisse .....</b>	<b>55</b>
4.1. Grünlandklassifikation .....	55
4.2. Gehölzklassifikation.....	59
4.3. Waldklassifikation .....	67
4.4. Gesamtergebnisse .....	72
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>76</b>
<b>6. Literatur.....</b>	<b>81</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>84</b>

## 1. Einleitung

Gemäß den Kriterien des MAB (Man and Biosphere) Nationalkomitees der UNESCO (BfN 2007) für die Anerkennung und Überprüfung von UNESCO-Biosphärenreservaten sind Forschung und Monitoring Pflichtaufgaben in deutschen Biosphärenreservaten. Sie sollen als Modellregionen für nachhaltige Entwicklung auch Untersuchungsgebiete für angewandte und umsetzungsorientierte Forschungsprojekte sein. Zu Kriterium Nr. 30 „Forschung“ wird ausgeführt, dass u.a. die Inventur und Dokumentation der Naturlandschaft und ihrer gegenwärtigen und historischen Nutzung als Ausgangsbasis für Maßnahmen der Forschung und der Umweltbeobachtung wichtige Aufgaben sind. Zudem wird insbesondere auf eine einheitliche Datenbasis für die Datenerhebung und -auswertung verwiesen. Da für Baden-Württemberg keine flächendeckende Biotoptypenkartierung vorliegt, hat die Geschäftsstelle des Biosphärengebiets die Erarbeitung einer entsprechenden Datengrundlage aus Fernerkundungs- und Kataster-/GIS-Daten für das Biosphärengebiet Schwäbische Alb in Auftrag gegeben.

Ziel dieses Projektes war anhand der zur Verfügung stehenden hoch auflösenden Fernerkundungsdaten eine flächendeckende, hierarchisch aufgebaute und detaillierte Biotop- und Nutzungstypenkartierung gemäß den Grundlagen des LUBW-Biotoptypenschlüssels (LUBW 2009) und den landwirtschaftlichen Nutzungstypen zu erstellen. Damit soll eine Grundlage für eine regelmäßige Zustandsüberprüfung der Biotope innerhalb des Biosphärengebiets gelegt werden („Landschaftsmonitoring“). Methodisch wurde hier ein integrativer Ansatz aus innovativen Bildverarbeitungsmethoden (Objektorientierte Bildinterpretation) und der Modellierung von Klassen unter Einbezug bereits vorliegender Geodaten (Laserscanning DGM, Katasterdaten, etc.) als auch satellitengestützten, zeitlich hoch auflösenden Daten (RapidEye) und Orthophotos verfolgt. Dieser Ansatz liefert die Grundlagen für die Klassifizierung des aktuellen Landschaftszustands und für spätere vergleichende Untersuchungen im Hinblick auf die Dokumentation des Landschaftsinventars für das UNESCO-Biosphärengebiet.

Orientierungspunkt für die Biotoptypen- und Nutzungskarte ist v.a. die Biotoptypenliste der LUBW Baden-Württemberg (LUBW 2009), die allein für Baden-Württemberg 281 Biotoptypen (mit Untertypen) listet. Mittels dieser Biotoptypen wird die komplette natürliche oder anthropogen bestimmte Oberflächengestaltung beschrieben (inkl. Siedlungsbereiche) – es handelt sich also nicht nur um gesetzlich geschützte Biotope. Parallel dazu wird in diesem Biotoptypenschlüssel eine „Übersetzung“ in die Lebensraumtypen (LRT) nach FFH-Richtlinie (EU, Natura 2000) angegeben bzw. erläutert. Die Differenzierung ist im Wald und Offenland, v.a. im Grünland, sehr differenziert, im Bereich der Siedlungen mäßig differenziert und im Bereich Ackerland indifferent. Zusätzlich wird im Biotoptypenschlüssel nach 4. Hierarchiestufen unterschieden: Auf der ersten, sehr groben Ebene werden nur sechs

Biotopgruppen unterschieden (z.B. Gewässer, Gehölzbestände und Gebüsche oder Wälder); auf der 4. Ebene alle 281 Gruppen (z.B. „Montane Magerwiese mittlerer Standorte“ oder „Hochstaudenreicher Ahorn-Buchen-Wald“).

Ziel dieser Arbeit war die Differenzierung mindestens auf Ebene der 2. Biotopgruppen-Hierachiestufe. Dies sind 27 Gruppen, wie z.B. „Fließgewässer“, „Stillgewässer“, „Wiesen und Weiden“ oder „Buchenreiche Wälder mittlerer Standorte“ (25 dieser 27 Gruppen sind im Biosphärengebiet vertreten). Die Hierarchie des LUBW-Biotoptypenschlüssels ist allerdings nicht auf jeder Ebene für die Zwecke dieses Projektes gleich stark differenziert ausgebildet. So fallen unter die 27 Gruppen beispielsweise 9 Waldtypen während „Wiesen und Weiden“ eine Gruppe bilden. Das Ergebnis dieser Arbeit orientiert sich daher an einer Mischung von Stufe 2 bis Stufe 4 mit Schwerpunkt im Bereich der Offenlandbiotope.

Ergänzend wurde für die Nutzung des Ackerlandes der Nutzungsschlüssel laut „Gemeinsamen Antrag“ (MLR Baden-Württemberg) in den Biotoptypenschlüssel integriert. Insgesamt sind hier 114 Nutzungstypen aufgeführt.

## 2. Datengrundlagen

Die im Rahmen des Projektes angestrebte Klassifikation von Biotoptypen wurde auf der Grundlage unterschiedlicher spektraler Fernerkundungsdaten (Satellitenbilder, Orthophotos) sowie flugzeuggestützter Laserscanningdaten (LIDAR) durchgeführt. Zusätzlich wurden Geodaten aus Verwaltungsbehörden für Naturschutz, Forst und Landwirtschaft für die Klassifikation verwendet. Die Datenquellen unterscheiden sich in ihren Eigenschaften (räumliche, zeitliche Auflösung, spektral vs. Laser usw.) erheblich voneinander und können dadurch zur Klassifikation einer großen Bandbreite von Biotoptypen eingesetzt werden. Nachfolgend werden die einzelnen Datensätze vorgestellt und besprochen (siehe Abb. 1).

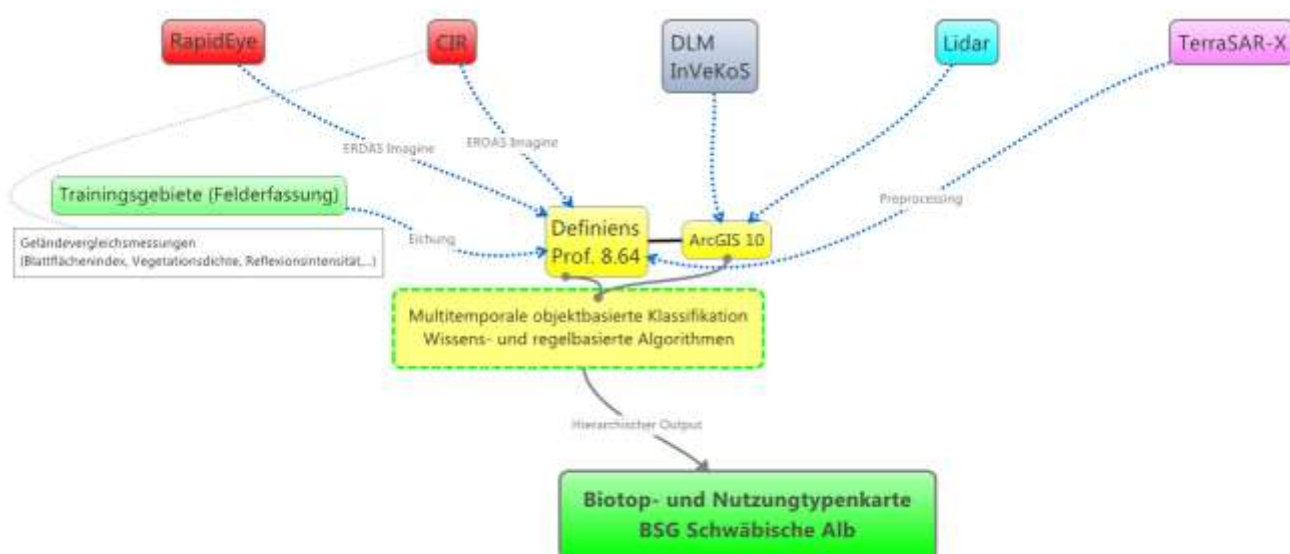


Abb. 1: Prinzipieller Workflow im Kontext von Datenquellen und Softwareprodukten

## 2.1. *Ground truth* Daten

*Ground truth* Daten sind im Gelände gesammelte Referenzdaten aus deren Eigenschaften Klassifikationsalgorithmen entwickelt werden, mittels derer im Bilddatensatz unbekannte Geländeobjekte klassifiziert werden. Man bezeichnet Referenzdaten in diesem Zusammenhang auch als Trainingsdaten. Trainingsdaten stellen die zentrale Schnittstelle zwischen den Geländeobjekten und den Bilddaten dar und haben eine große Bedeutung für die Güte und Qualität der Klassifikation. Neben dem Einsatz als Trainingsdaten werden Referenzdaten auch für die Bewertung der Genauigkeit der Klassifikation verwendet. In der Regel wird ein Teil der gesammelten Referenzdaten nicht bei der Entwicklung von Algorithmen verwendet, sondern nach Abschluss der Klassifikation mit den Bilddaten verglichen, um so die Güte der Klassifikation zu bewerten.

Im Rahmen des Projektes wurden *ground truth* Daten im gesamten Biosphärengebiet kartiert. Die Kartierung wurde vom 22.6.-1.7.2010 von fünf Kartierern durchgeführt (705 Flächen, insgesamt 826 ha). Bei den Kartierern handelte es sich um diplomierte wissenschaftliche Hilfskräfte, die über sehr gute pflanzensoziologische Kenntnisse verfügen. Ein gemeinsamer Schulungs- und Eichungstermin fand am 22.06.2010 statt. Die Feldbegehungen wurden vor dem 1. Grünlandschnitt der Heuwiesen durchgeführt. Nur intensive Vielschnitt-Silagewiesen waren bereits gemäht (Auskunft des Landwirtschaftsamtes Reutlingen). Ackerfrüchte waren zum Zeitpunkt der Kartierung bereits gut differenzierbar.

## 2.1.1. Vorbereitung der Kartierung

### Auswahl der Stichproben

Die Kartierung erfolgte auf der Ebene des Biotoptyps. Dazu wurde im Vorfeld eine geschichtete Stichprobe der zu kartierenden Flächen festgelegt. Die Auswahl erfolgte nach Seltenheit des Biotoptyps (z.B. 12.30 Naturnaher Flussabschnitt) und nach schwer im Luftbild zu differenzierenden Typen (vor allem Wiesen und Weiden). Je nach Typ wurden 7, 12 und 30 Flächen als Zielstichprobenumfänge ausgewählt. Den Kartierern wurden Zielumfänge von 10, 20 und 50 Flächen vorgegeben (Sicherheitsreserve).

### Geodaten

Um die Kartierung effizient zu gestalten wurden unterschiedliche Geodaten ausgewertet, zusammengeführt und den Kartierern zur Verfügung gestellt.

Vom LUBW Server wurde die Biotopkartierung nach §32a heruntergeladen. Diese liegt auf Ebene der Biotopgruppe – untergeordnete, d.h. die selteneren Biotoptypen erscheinen dort oft nicht. Daher wurde die Kartierung durch die im PDF Format auf dem LUBW Server vorliegende Kartierung auf Ebene des Biotoptyps ergänzt (manuelle Selektion über Biotopnummer von ca. 350 Biotopen; siehe Abb. 3). Ergänzt wurde die Datei durch die FFH-Lebensraumtypen (nur Mähwiesen-LRTs, zur Verfügung gestellt vom RP Tübingen) und dem PEPL „Albtrauf zwischen Mössingen und Gönningen“ (Pflege- und Entwicklungsplan: komplette FFH-LRT-Kartierung). Diese Kartiergrundlagen wurden in ArcGIS 9.3.1 mit den Orthophotos des Landesamts für Geoinformation und Landeskunde (LGL) hinterlegt und mit den Biotopnamen beschriftet (siehe Anhang). Das Gesamtgebiet wurde in fünf Teile unterteilt (siehe Abb. 2), aus denen Ausschnitte im Maßstab 1:5000 ausgewählt wurden (207 Feldkarten, 28500 ha), die eine große Anzahl an Biotoptypen aus der Biotopkartierung enthielten und räumlich weitgehend zusammenhängend waren. Diese Ausschnitte wurden ausgedruckt und den Kartierern zusammen mit einem Aufnahmebogen, einer Kartieranleitung (Biotoptypen-erläuterungen und Nutzungsschlüssel, siehe Anhang) sowie einem GPS zur Verfügung gestellt.

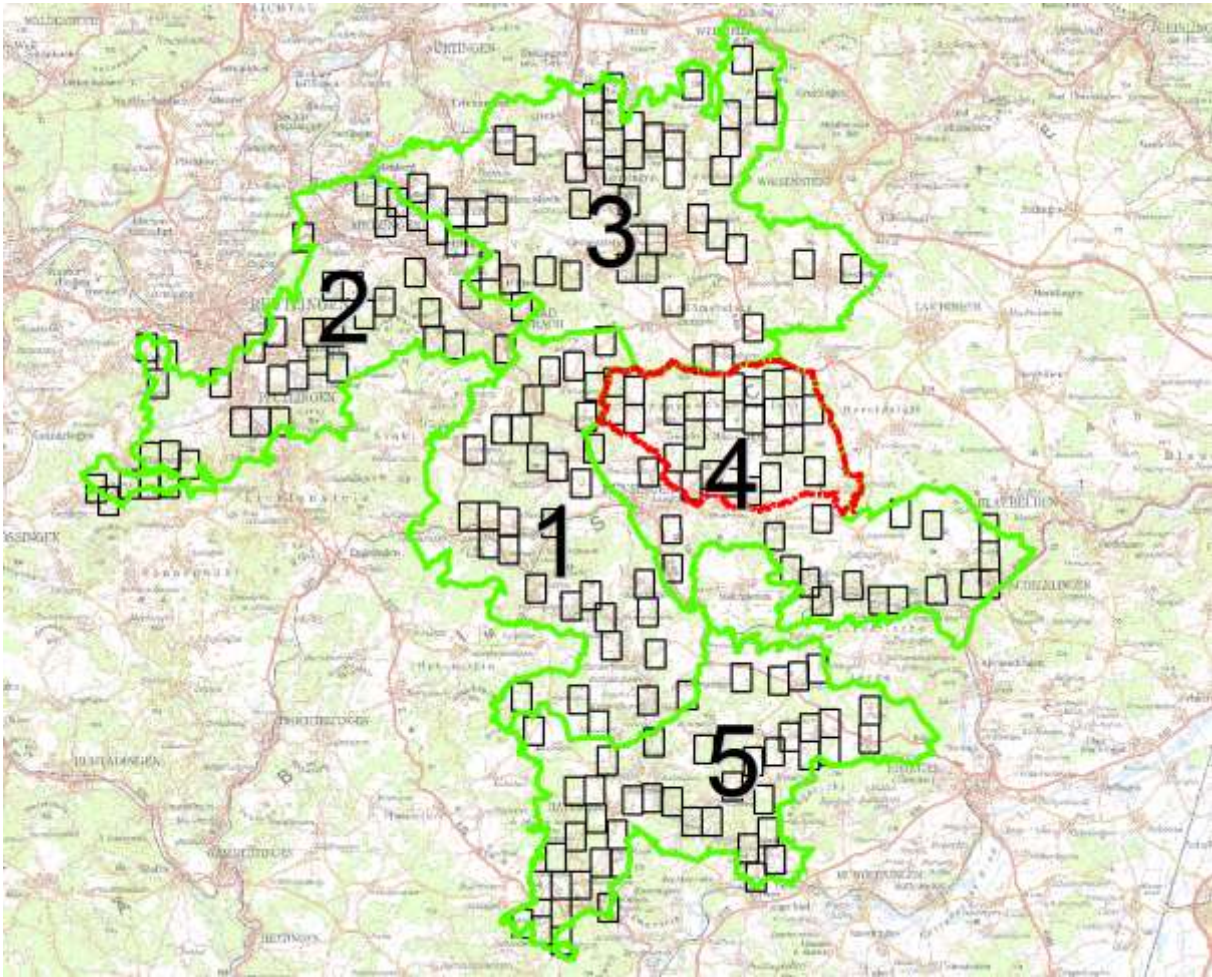


Abb. 2: Teilgebiete und Feldarbeitsblätter (grün: Grenzen des BSG, rot: ehemaliger Truppenübungsplatz)

### 2.1.2. Durchführung der Kartierung

Bei jeder Aufnahme wurde der Aufnahmetyp, der Biotoptyp, die Wuchshöhe, Blütenfarbe mit >5 % Deckung, die Nutzung (z.B. Weide), Sondermerkmale (z.B. trocken), Nutzungsaktivitäten (z.B. Mahd), die Fotonummern und Bemerkungen aufgenommen (siehe Aufnahmebogen im Anhang). Zusätzlich wurde der Biotoptyp im Luftbild eingezeichnet. Wurde ein Typ außerhalb der vorausgewählten Luftbilder aufgenommen, wurde zusätzlich ein GPS-Punkt gemessen. Detailfotos wurden in einem 45° Winkel mit der Sonne im Rücken aufgenommen und als Punkt auf dem Luftbild vermerkt.



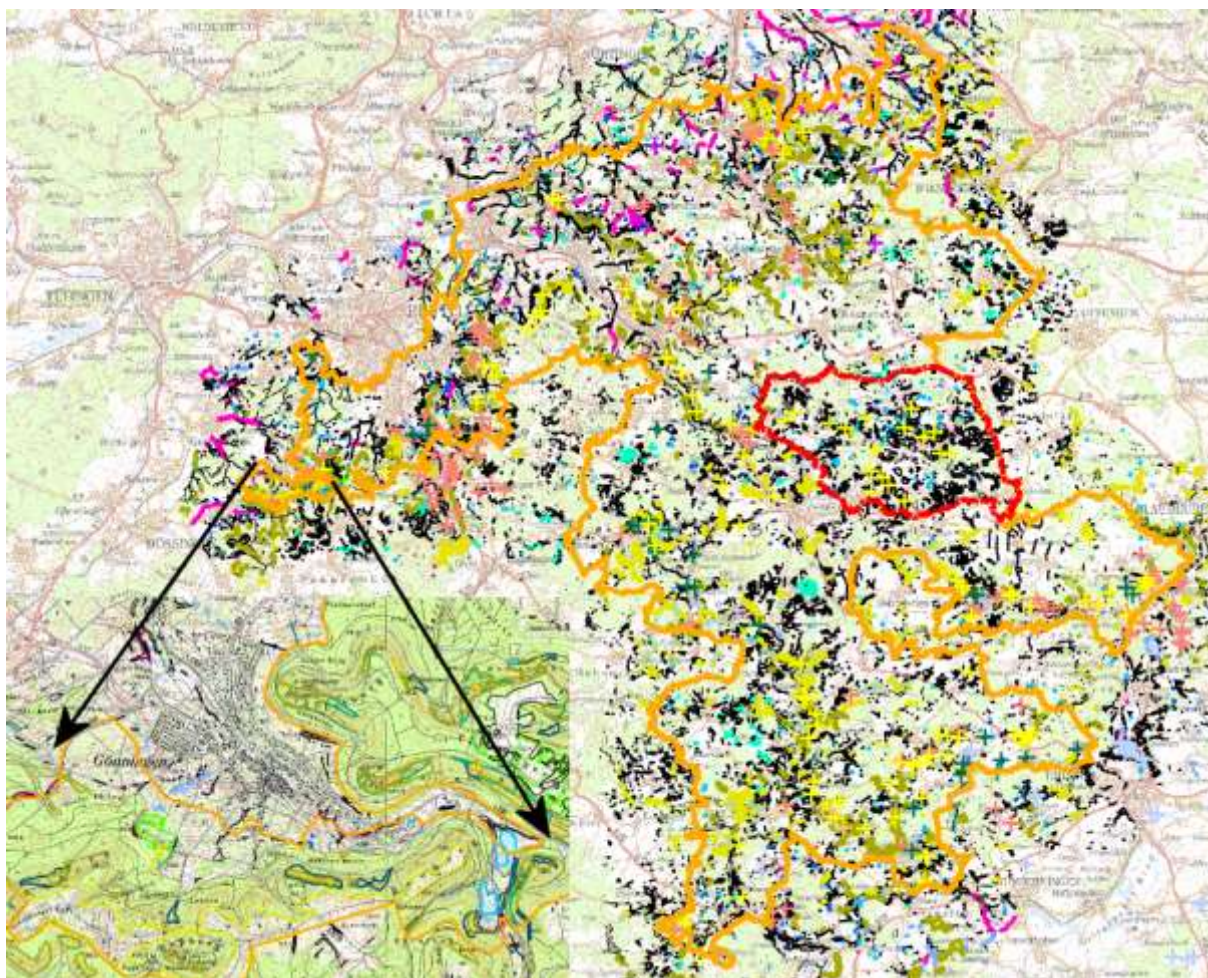


Abb. 3: Geschützte kartierte Biotope und FFH-Lebensraumtypen (orange: Grenzen des BSG)

### 2.1.3. Nachbereitung der Kartierung

Alle aufgenommenen Kartierbögen wurden in Excel eingearbeitet und mit einer ID versehen, um sie später mit den räumlichen Daten in ArcGIS verbinden zu können. Die räumliche Kartierung auf den Luftbildern wurde in ArcGIS digitalisiert.

Insgesamt steht mit rund 700 Flächen ein außerordentlich großer und gut aufbereiteter Pool an Daten für Trainings- und Validationszwecke digital zur Verfügung (siehe Abb. 4).



Abb. 4: Ausschnitt aus Arbeitskarte (lila: erfasste und digitalisierte Validationsflächen)

#### 2.1.4. Simultane Geländevergleichsmessungen während der Befliegung

Parallel zur Befliegung, die vom 20. bis 22.07.2010 stattfand, mussten verschiedene Geländevergleichsmessungen durchgeführt werden. Dazu gehörten im Einzelnen: Messungen des Blattflächenindex (LAI) mit einer hemisphärischen Kamera, Bestimmungen der phänologischen Stadien, Bestimmungen der Vegetationsbedeckung (Dichte), Messungen der Reflexionsintensität, etc.

## 2.2. GIS-Kataster

Einige amtlich vorliegenden Datenquelle bzw. GIS-Kataster konnten direkt oder teilweise in die Auswertungen übernommen werden. Dies spielte v.a. bei der Erstellung einer ersten flächendeckenden groben Nutzungskarte eine entscheidende Rolle. Diese erste Nutzungskarte wurde weitgehend als „Vorklassifikationsmaske“ für die fernerkundlichen Auswertungen genutzt, wodurch die in den GIS Daten bereits enthaltenen Informationen in Wert gesetzt wurden. So konnte v.a. die zeitintensive spektrale Grünlandklassifikation auf Offenlandbereiche außerhalb von (gemeldeten, GA-Antrag) Ackerland beschränkt werden. Ein weiterer Vorteil dieser Maske war, dass auf dieser relativ groben Ebene GIS-technisch alle Überlappungen von verschiedenen Themen bereinigt werden konnte (siehe Anhang):

Die konkret verwendeten Datenquellen für diese Maske werden in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Datenquellen der Objekttypen für eine rein auf GIS-Katastern basierende Nutzungskarte (Biosphärengebiet Schwäbische Alb)

<b>Objekttyp</b>	<b>Datenquelle</b>
Waldtypen	Forstinventur, Außengrenzen ATKIS
Wald nicht differenziert	ATKIS
"..Mähwiesen.."	FFH-Mähwiesenkartierungen 2006 (FFH-Gebiete) / 2010 (Kreis Esslingen)
"Artenreiche..."	Im MEKA III-2010 als "Artenreiches Grünland" beantragt und anerkannt
"Weiden/ Beweidete..."	Im GA-Antrag mit Beweidungs-Code oder LPR-Weide
Extensivwiesen	LPR-Magerwiesen oder LPR-Halbtrockenrasen (zwei-, i.d.R. einschürig)
Acker, DLM-GA-Grünland	Sonstige nicht näher spezifizierte Acker bzw. Grünlandflächen aus dem ATKIS oder GA-Antrag
Mais	GA: Mais-Code
Siedlung-Wege	Objekttypen aus ATKIS, Wege/Straßen wurden Siedlungsflächen zugeordnet und stammen aus dem amtlichen Flurstückverzeichnis (2009), zur Siedlung wurden auch das digitale Gebäudeverzeichnis hinzugenommen
<i>Kartierung geschützter Offenland-Biotope</i>	<i>Integration zum Abschluss des Projektes (s. Text), die Daten lagen anfangs noch nicht vor (2012)</i>
Restliche Typen	Objekttypen aus ATKIS, bei den Sonderkulturen geringfügig um GA-Angaben ergänzt

Legende:

ATKIS: Teil Basis-DLM 25/2 Stand 09/2009

GA-Antrag: Gemeinsamer Antrag 2010

daraus MEKA III: "Artenreiches Grünland"

LPR-Verträge: 2010

Forstinventur: 2010

Gebäudeverzeichnis: 2008

Flurstücke: 2009

## 2.3. Orthophotos

Das Biosphärengebiet wurde vom 20.-22. Juli 2010 an drei aufeinanderfolgenden Tagen flächendeckend im Auftrag des Landesministeriums für Geoinformation und Landentwicklung (LGL) flugzeuggestützt kartiert. Dieser ungewöhnlich späte Aufnahmezeitpunkt war durch das sehr schlechte Flugwetter im Frühjahr bedingt (siehe Diskussion). Die dabei entstandenen Luftbilder wurden durch das LGL prozessiert und als Orthophotos in vier Einzelkanälen (rot, grün, blau, infrarot) bereitgestellt. Die Daten wurden mittels der digitalen Kamera UltramCam XP von Vexcel aufgenommen und mit 8 Bit Farbtiefe sowie 20 cm Bodenaufösung (1 Pixel = 20 cm) ausgeliefert. Jede Luftbildkachel deckt einen Quadratkilometer ab. Insgesamt wurden 1404 Bilder benötigt, um das gesamte Biosphärengebiet abzudecken. Da jede Kachel in vier Kanälen ausgeliefert wurde, ergab sich ein Datenvolumen von 5616 Einzelbildern.

### 2.3.1. *Preprocessing* der Orthophotos

Mit *preprocessing* von Fernerkundungsdaten werden die Arbeitsschritte bezeichnet, die die Daten für die Klassifikation vorbereiten. Bei Orthophotos umfasst dies die Zusammenführung der Einzelkanäle in ein einheitliches File, den Ausgleich von Beleuchtungsunterschieden in den Daten sowie den Prozess der Mosaikierung (Näheres siehe unten).

Die Zusammenführung der einzelnen Kanäle der Luftbilddaten in ein einheitliches File, erfolgte mit dem in ArcGIS 9.3.1 verfügbaren *composite tool*, das die einzelnen Kanäle der Luftbilder in eine Einzeldatei überführt (Abb. 5). Anschließend wurden die Daten in das gängige Rasterformat „.tif“ überführt, um sie für eine Prozessierung in Erdas Imagine 2010 und eCognition 8.7 zugänglich zu machen.

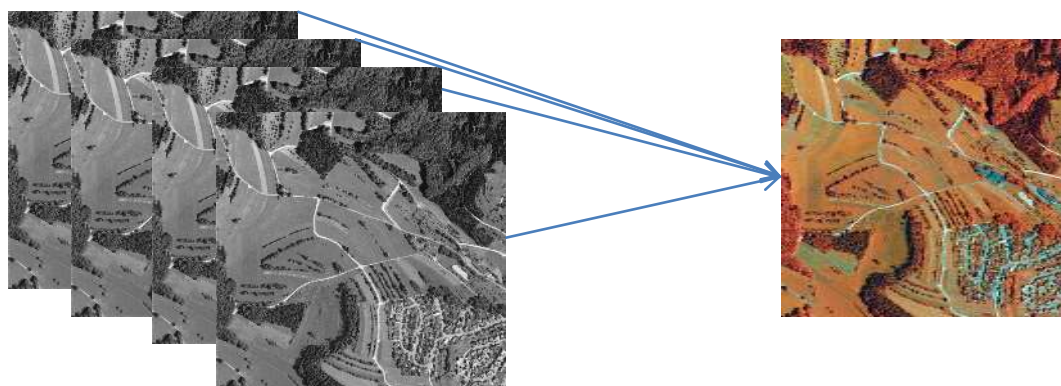


Abb. 5: Prinzip der Zusammenführung der einzelnen Kanäle in ein gemeinsames File

Der Ausgleich von Beleuchtungsunterschieden in den Daten erfolgte mit Erdas Imagine 2010. Dabei handelt es sich um eine Fernerkundungssoftware, die auf das Preprocessing von Fernerkundungsprodukten sowie die pixelbasierte Klassifikation dieser spezialisiert ist.

Beleuchtungsunterschiede kommen bei Luftbilddaten durch einen unterschiedlichen Sonnenstand während der Befliegung zustande sowie durch den Wechsel der Flugrichtung bei der Aufnahme der Daten, zudem aufnahmebedingt durch die Aufhellung der Bilddaten zum Rand hin (vgl. Abb. 6). Um diese Beleuchtungsunterschiede in den Daten auszugleichen, wurden die Orthophotos einem sogenannten *image dodging* mit einer *grid size* von 30 unterzogen. Dabei wird grob gesagt eine Farbanpassung von Einzelpixeln auf der Grundlage von benachbarten Pixeln durchgeführt. Die Wahl der *grid size* bestimmt dabei wie viele Nachbarpixel in die Anpassung einbezogen werden. Je größer die Wahl der *grid size* erfolgt, desto einheitlicher wird das Bild, gleichzeitig wächst mit der *grid size* auch der Informationsverlust im Bild.



Abb. 7: Beleuchtungsunterschiede zwischen einzelnen Orthophotos (deutlich zu sehen ist die Aufhellung des linken oberen Bildes).

Der abschließende Schritt des *preprocessing* umfasste die Mosaikierung der Luftbilder. Dabei wird aus den in einzelnen Kacheln vorliegenden Daten ein einheitliches Bildmosaik erzeugt, dass alle Kacheln in ein File (Datei) überführt (siehe Abb. 7). Das dadurch entstandene File umfasst 32 GB und war damit zu groß, um es als gesamtes File zu klassifizieren. Daher wurde das File erneut in einzelne Kacheln zerlegt, allerdings mit einer Größe von 36 km<sup>2</sup> und einer Kantenlänge von 6000 m. Die für die Klassifikation so erzeugten Kacheln hatten gegenüber dem Ausgangsdatensatz den Vorteil, dass die Daten keine Helligkeitsunterschiede aufwiesen,

sowie eine gute Größe zur Erprobung von Klassifikationsalgorithmen (bei zu kleinen Kacheln lässt sich nicht erkennen, ob der Algorithmus auf für größere Gebiete funktioniert).



Abb. 8a: Radiometrisch korrigiertes Mosaik des Biosphärengebiets

## 2.4. Satellitenbilder

Für das vorliegende Projekt wurden Satellitenbilder des RapidEye Systems verwendet. RapidEye ist ein kommerzielles Fernerkundungssystem, das Daten von fünf baugleichen Satelliten bereitstellt. Dadurch kann RapidEye Daten in einer für Fernerkundungssatelliten ungewöhnlich hohen zeitlichen Auflösung bereitstellen. RapidEye zeichnet Daten mit einem *Multi-Spectral-Imager* (MSI) mit 5 m Bodenauflösung (orthorektifiziert) in fünf Kanälen und 77 km Streifenbreite auf. Eine Besonderheit des Systems ist der sogenannte *Red Edge* Kanal, der im Wellenlängenbereich zwischen Rot und Infrarot von 690-730 nm Reflexionen aufzeichnet. Der *Red Edge* Kanal nimmt damit im Besonderen Informationen über den Zustand der Vegetation auf.

Die Datenrecherche der verfügbaren Szenen wurde im Onlinerechtersystem von RapidEye durchgeführt. Für das Jahr 2011 standen 41 Szenen zur Verfügung, wobei das gesamte Biosphärengebiet von je 7 Szenen abgedeckt wird (vgl. Abb. 8b).

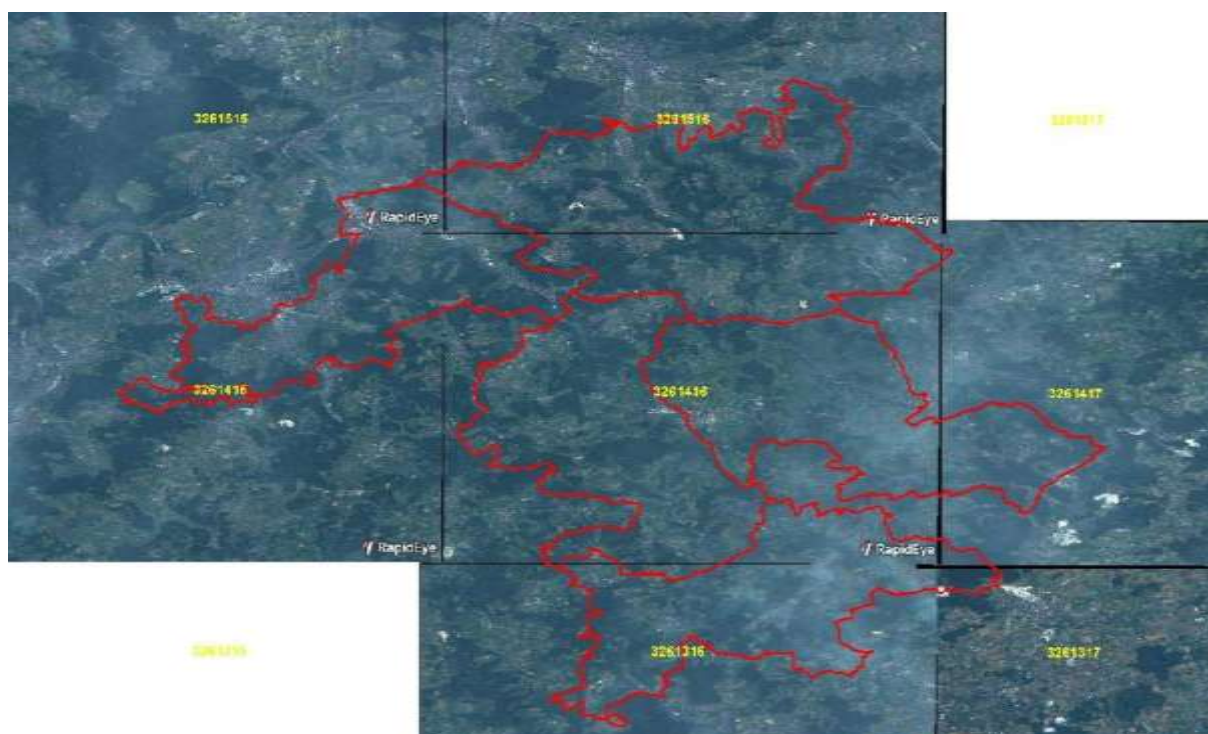


Abb. 8b: Beispielhafte Darstellung der Abdeckung des Biosphärengebiets mit 7 RapidEye Szenen.

Für das Jahr 2010 standen lediglich 10 Szenen zur Verfügung, die teilweise unter eher ungünstigen Bedingungen aufgenommen wurden (hoher Grad an Bedeckung mit Wolken).

Für wissenschaftliche Zwecke in Deutschland können RapidEye Daten nach der erfolgreichen Bewertung eines Proposals kostenfrei bezogen werden. Das eingereichte Proposal wurde als erfolgreich bewertet, lediglich der angeforderte Datenumfang wurde als zu groß angesehen, so dass (aufgrund der umfangreicheren Gebietsabdeckung) lediglich Daten für das Jahr 2011 abgerufen werden durften. Die Daten wurden im sogenannten Level 3 A geliefert. Mit dieser Abstufung werden RapidEye Daten bezeichnet, die bereits orthorektifiziert wurden. Mit Level 3 A ist eine Produktgenauigkeit von mindestens 6 m gewährleistet, was ca. einem Pixel entspricht.

### 2.4.1. *Preprocessing* der Satellitenbilder

Das *preprocessing* der Satellitenbilder umfasste den Schritt der Atmosphärenkorrektur, bei dem Störeinflüsse der Atmosphäre (z.B. Aerosole) herausgerechnet werden, so dass die tatsächlichen spektralen Merkmale von Oberflächenobjekten im Bild sichtbar sind und das Mosaikieren der unterschiedlichen Szenen zu einem flächendeckenden Mosaik möglich ist.

Die Atmosphärenkorrektur wurde mit dem in Erdas Imagine 2010 implementierten *Tool Atcor 2* durchgeführt. Verwendet wurden die Standardeinstellungen wie sie im mit den Daten gelieferten .xml File gespeichert sind. Der Prozess der Bildmosaikierung wurde ebenfalls mit Erdas Imagine durchgeführt. Die Mosaik der Satellitenbilder konnten im Unterschied zu den Orthophotos als gesamtes Mosaik klassifiziert werden, da sie aufgrund der geringeren räumlichen Auflösung ein geringeres Datenvolumen aufweisen. Eine erneute Zerlegung in einzelne *tiles* war demnach nicht notwendig.

Aus den zur Verfügung stehenden Daten wurden fünf Bildmosaiken berechnet, bei denen jeweils ein kleiner Teil im Osten des Biosphärengebiets fehlt. Zwei Mosaiken konnten nicht mit Daten eines einheitlichen Befliegungstermins gebildet werden (Abb. 9).

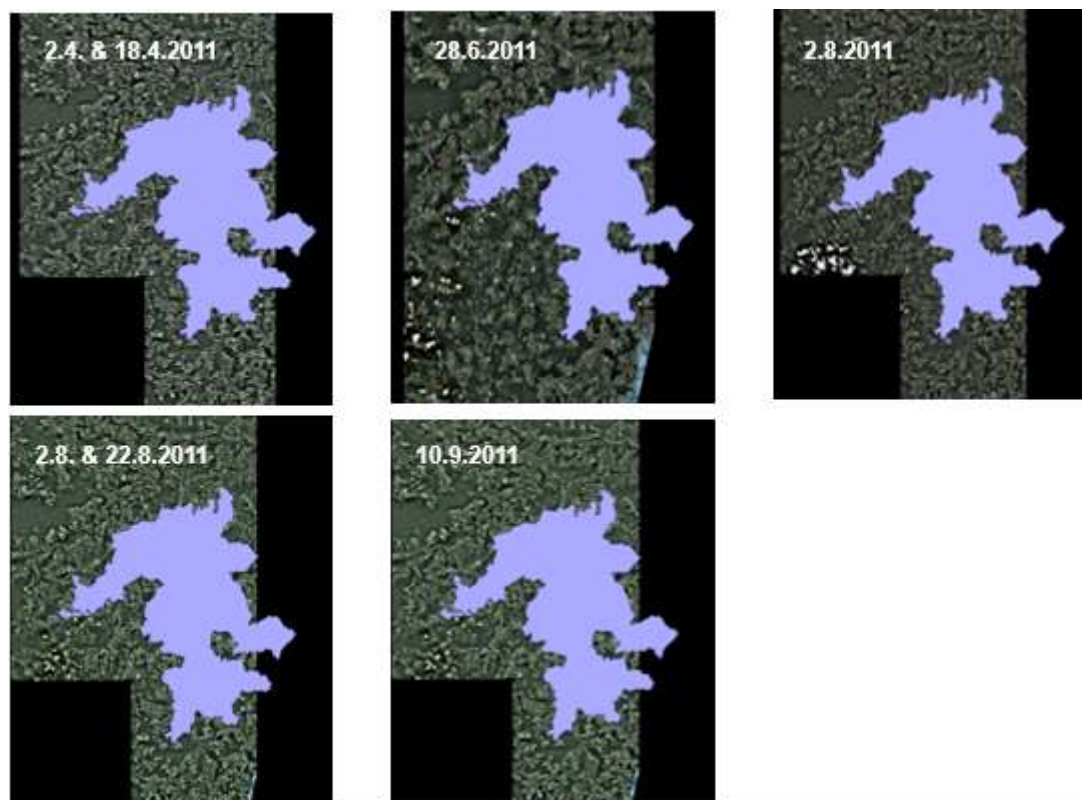


Abb. 9: Die fünf Bildmosaiken der RapidEye Daten, überlagert mit den Umrissen des Biosphärengebiets und dem Aufnahmeterrmin.



## 2.5. LIDAR Daten

Lidardaten entstehen durch ein flugzeuggestütztes Laserscannersystem (siehe Abb. 10 und 11). Mittels des Systems werden dreidimensionale Punktdaten erzeugt, aus denen sich dreidimensionale Objekte (Gehölze, Gebäude etc.) rekonstruieren lassen. Die Lidardaten standen aus dem Jahr 2002 zur Verfügung (LGL-landesweite Befliegung, 1 Punkt/m<sup>2</sup>) und wurden für die Gehölzabgrenzungen herangezogen.

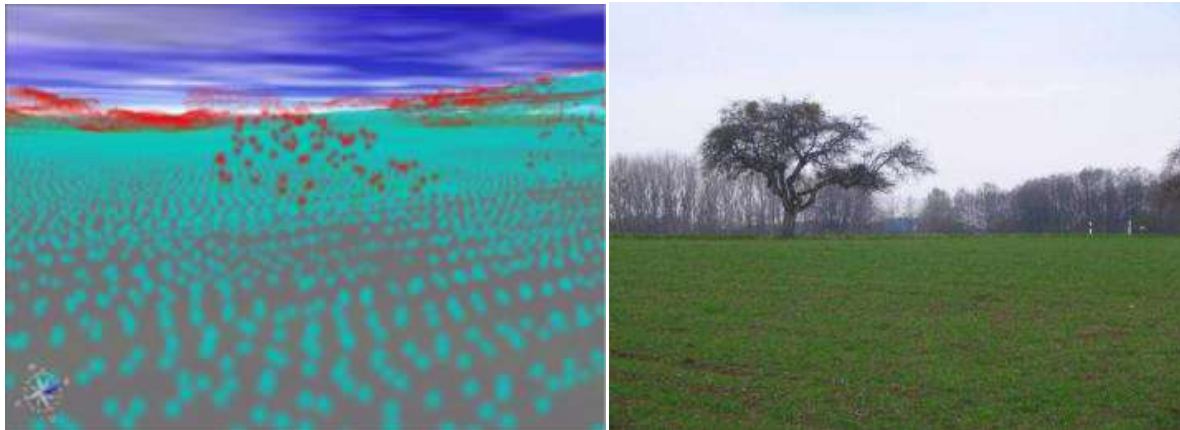


Abb. 10: Lidar-Punktwolken (links) und dazugehöriges Geländebild (rechts)

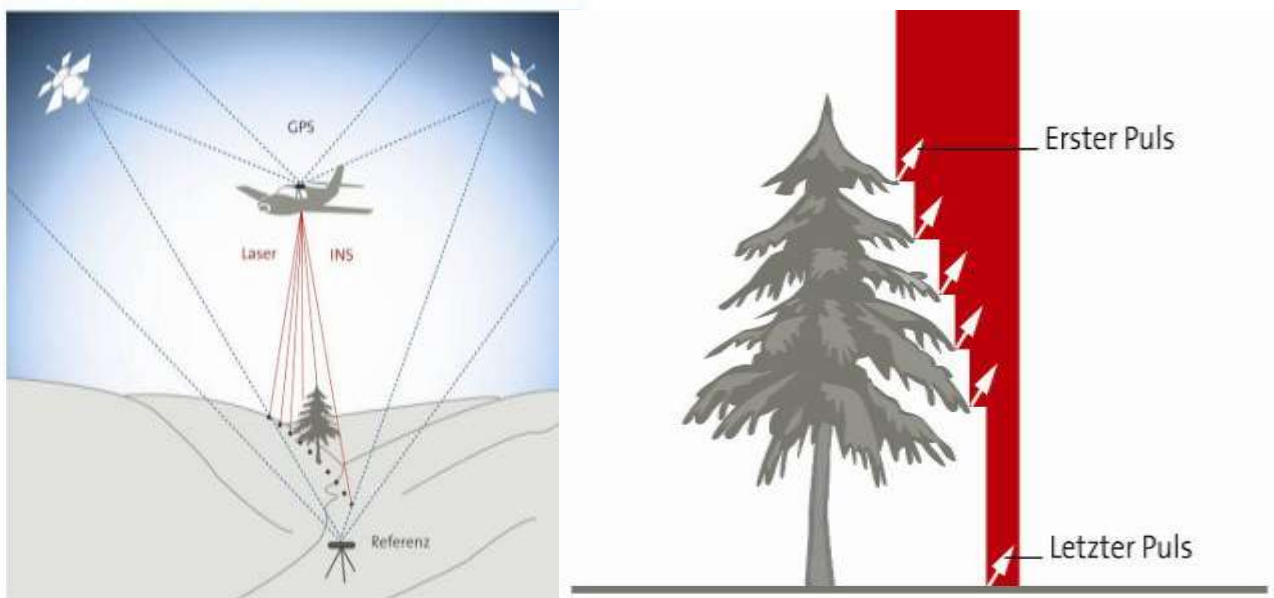


Abb. 11: Prinzip eines flugzeuggestützten Lasermesssystems und die Ableitung von Pulsreflexionen (aus den hier als weiße Pfeile dargestellten Reflexionen des Laserstrahls (hier rot dargestellt, tatsächlich unsichtbar, infrarot) kann der Sensor im Flugzeug 3D-Punktdaten berechnen)

### 3. Methoden

#### 3.1. Erstellung einer einheitlichen GIS Maske zur Vorklassifikation

Mittels der InVeKoS-Daten (Antragsdaten der Landwirte über den sogenannten „Gemeinsamen Antrag“) und den landesweiten Datensätzen des BasisDLM („Digitales Landschaftsmodell“) wurde der Aufbau einer flächendeckenden GIS-Maske aus unterschiedlichen GIS-Datensätzen, die als Vorinformation in den Klassifikationsprozess einbezogen werden, ermöglicht. Chronologisch ausgehend von den Grundlagen zur Erstellung dieser Maske wird im Folgenden jeder Arbeitsschritt methodisch beschrieben. Weitere detaillierte Ausführungen im Anhang bzw. Verweise auf eigene Veröffentlichungen (inkl. Masterarbeiten) dokumentieren insgesamt die Vorgehensweise und ermöglichen damit vergleichbare Folgeanalysen.

#### 3.2. Aufbau der GIS-Maske

Die Erstellung der Maske erfolgte in sechs aufeinander aufbauenden Prozessschritten.

1. Die in 32000 Einzeldateien vorliegenden Shapedateien des BasisDLM wurden in 119 Einzelschritten mit ArcGIS 10 einheitlich aufbereitet, wobei der Schwerpunkt auf der Offenland/Waldabgrenzung und dem Siedlungs- und Gebäudebereich lag.
2. Die FFH-Mähwiesenkartierungen von 2004 und 2010 wurden kombiniert und in das BasisDLM eingefügt.
3. Die InVeKoS-Daten wurden über die Flurstücks-Nr. mit dem Amtlichen Liegenschaftskataster (ALK) verbunden. Dabei musste für die Gemeinde Gomadingen auf Grund einer Flurbereinigung ein eigener Prozessierungsschritt eingefügt werden. Für das Gesamtgebiet wurden 48000 Flurstücke verwendet. Es wurden nur Flurstücke berücksichtigt, bei denen der einheitliche Flächenanteil im Gemeinsamen Antrag > 80% betrug (d.h. die Information von Flurstücken mit mehreren landwirtschaftlichen Schlägen unterschiedlicher Nutzung konnte prinzipiell nicht verwendet werden)
4. Aus den InVeKoS-Daten wurden das naturschutzfachlich wertgebende Grünland („Artenreiches Grünland“, in Baden-Württemberg eine förderfähige Agrarumweltmaßnahme) sowie die beweideten Flächen gefiltert.
5. Aus der Forstinventur wurden nach einem Bereinigungsschritt 6721 Flächen übernommen.
6. Aus den Landschaftspflegeverträgen wurden 131 Flächen übernommen (verteilt auf drei Landkreise). Dabei handelt es sich vor allem um Sommerschafweiden.

Nach Abschluss der sechs Prozessschritte, wurden die Daten zu einer einheitlichen Maske verschnitten, wobei keine Polygone <200 m<sup>2</sup> zugelassen und mittels der ArcGIS-Erweiterung ET Geowizard 10 Splitterflächen aggregiert wurden. Die Maske wurde in drei unterschiedlichen Detaillierungsgraden erstellt, um im Rahmen der Klassifikation unterschiedliche Strategien testen zu können (siehe Abb. 12a). Die einzelnen Arbeitsschritte sind im Anhang dokumentiert. Der erste Schritt kann in Zukunft entfallen, da mittlerweile das landesweite BasisDLM-Lücken- und ohne gravierende Überlappungen vorliegt. Die unterschiedlichen

Stufen repräsentieren einen unterschiedlich großen Detaillierungsgrad. Im Projekt wurde im Wesentlichen mit der Stufe zwei weitergearbeitet.

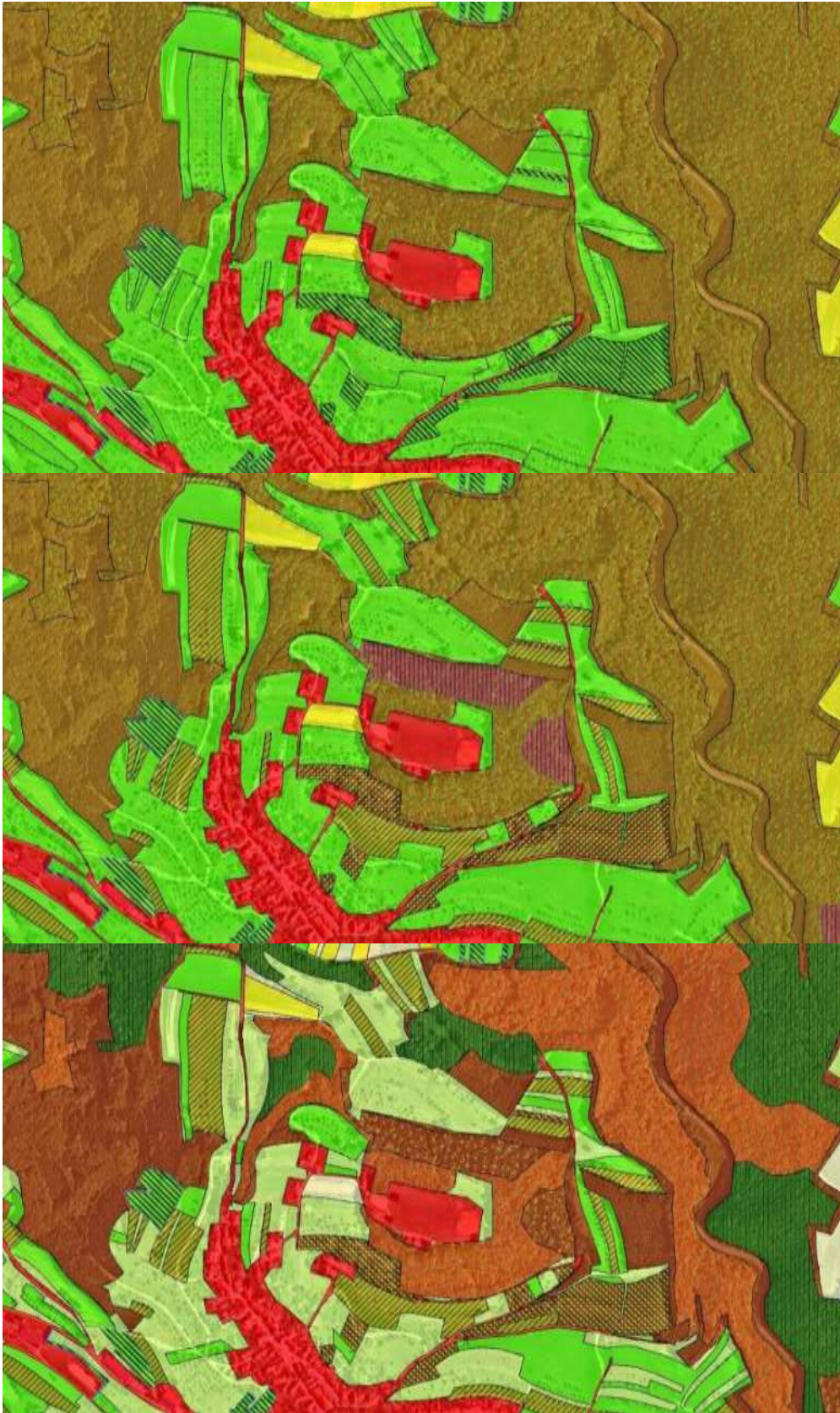


Abb. 12a: Ausschnitt der nach fachlichen Gesichtspunkten erstellten GIS Maske Stufe 1, 2 und 3, von oben nach unten (Legenden zu allen Stufen siehe Abb. 12b).

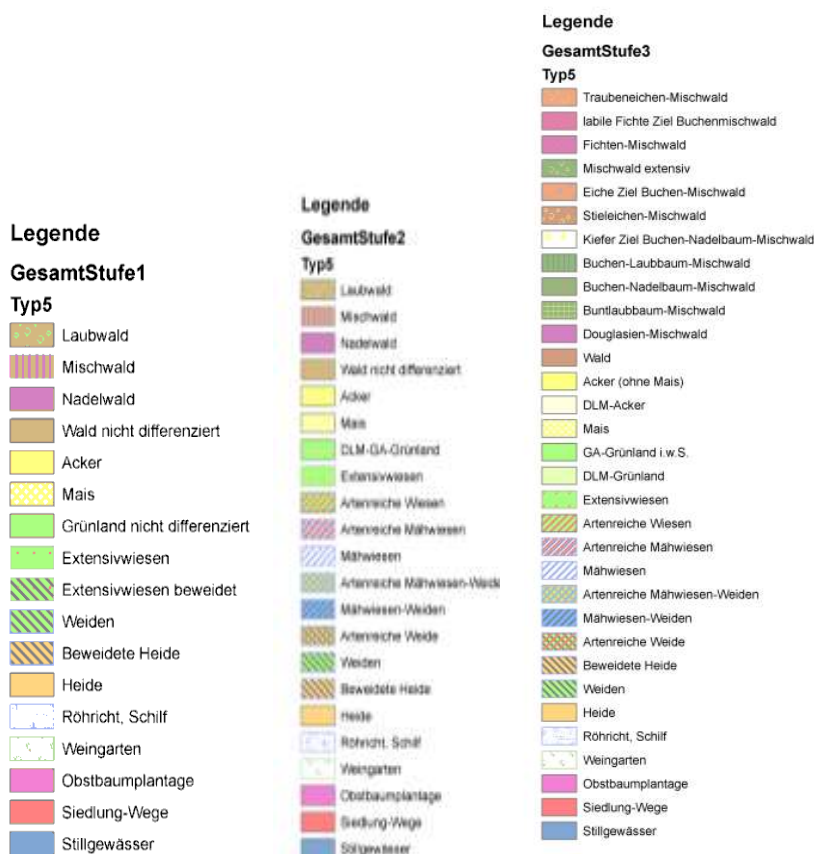


Abbildung 12b: Legenden zu den Detaillierungsstufen der GIS Maske (größere Darstellung im Anhang).

### 3.3. Spektrale Klassifikation

Spektrale Fernerkundungsdaten zeichnen Reflexionen und Emissionen von Oberflächenobjekten der Erde in unterschiedlichen Wellenlängen des sichtbaren und unsichtbaren Lichtspektrums auf. Die Unterscheidung von Oberflächenobjekten basiert dabei auf der Unterschiedlichkeit der Reflexionen aufgrund variierender Absorptionseigenschaften von Oberflächenobjekten. Spektrale Fernerkundungssysteme werden auch als passive Systeme bezeichnet, da sie das von Objekten der Erdoberfläche reflektierte Sonnenlicht oder deren Emissionen aufzeichnen. Die Abgrenzung wird gegenüber aktiven Systemen vorgenommen, die ihrerseits aktiv Pulse in Form von Lasern oder Mikrowellen zur Erde senden und deren Reflexionen messen.

Die Reflexionen von Objekten der Erdoberfläche werden durch spektrale Sensoren in sogenannten Bildkanälen (jeder Bildkanal nimmt einen festgelegten Wellenlängenbereich des Lichtspektrums auf) aufgezeichnet. Anhand der aufgezeichneten Reflexionen können Oberflächenobjekte mittels statistischer Verfahren im Bild getrennt bzw. klassifiziert werden. Die Klassifikation der Biotoptypen basiert auf dem Ansatz der objektbasierten Bildanalyse (s.u.) unter Einbezug der unter Kapitel 3.2 beschriebenen GIS-Maske.

Objektbasierte Bildanalyseverfahren haben sich in den vergangenen Jahren als eigenständiges Forschungsparadigma etabliert. HAY et al. (2008) prägten 2008 den Begriff *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA), womit betont wurde, dass es um die Analyse von Bildobjekten mit geographischem Bezug geht (beispielsweise werden objektbasierte Bildanalyseverfahren auch in der Medizin eingesetzt). Die Betonung von **Bildobjekten** stellt eine Abgrenzung gegenüber pixelbasierten Klassifikationsverfahren dar. Pixelbasierte Klassifikationsverfahren nutzen, grob gesagt, die spektralen Merkmale einzelner Pixel zur Klassifikation, während objektorientierte Verfahren die statistischen Merkmale von Pixelgruppen (Objekten) für die Klassifikation heranziehen. Die Entwicklung objektbasierter Bildanalyseverfahren steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung von hochauflösenden Sensoren, die Bilddaten bereitstellen, deren Pixelgröße deutlich unterhalb der Größe adressierter Objekte liegt. Beispielsweise hatte der Landsat-Satellit eine Auflösung von 30 m je Pixel, womit die Pixelgröße deutlich oberhalb von vielen Objekten wie Häusern, Hecken etc. lag. Neuere Sensoren wie z.B. Quickbird (0,61 m panchromatisch, 2,4 m multispektral) haben hingegen deutlich höhere Auflösungen, wodurch sich viele Bildobjekte aus hunderten bis tausenden Pixeln zusammensetzen.

### 3.3.1 Objektbasierte Bildanalyse

Bei der Ableitung von Biotoptypen aus Fernerkundungsdaten haben sich in den vergangenen Jahren objektorientierte Bildanalyseverfahren (oder hybride Ansätze) gegenüber pixelbasierten Verfahren durchgesetzt (BOCK et al. 2003, LESER 2003, BOCK et al. 2005, KERAMITSOGLU et al. 2005, NEUBERT 2005, FRICK 2006, KIM 2007, TIEDE et al. 2010).

### 3.3.2 Bildsegmentierung

Objektbasierte Bildanalyseverfahren stützen sich auf die zwei methodischen Säulen der (a) Segmentierung und (b) Klassifikation von Bildobjekten (LANG 2008). Bei der Segmentierung werden benachbarte Pixel zu Pixelgruppen bzw. Segmenten oder Objekten zusammengefasst, so dass das Bild in Segmente nicht-überlappender Bereiche unterteilt wird. Die Herausbildung der Segmente erfolgt nach Ähnlichkeitskriterien (Spektralsignatur, Form, Textur).

Die für das vorliegende Projekt verwendete Software eCognition 8.7 der Firma Trimble bietet für die Bildsegmentierung unterschiedliche Ansätze an, von denen hier lediglich die sogenannte *multiresolution segmentation* vorgestellt wird, da diese überwiegend für die Ableitung von Biotoptypen verwendet wurde. Die Ableitung von Bildobjekten kann entweder als *top-down* oder *bottom-up* Strategie erfolgen. Bei einem *bottom-up* Ansatz werden kleinere Objekte/Segmente zu größeren fusioniert, bei einem *top-down* Ansatz werden größere Objekte/Segmente in kleinere unterteilt. Die Grenzen stellen dabei entweder die Pixelebene

bzw. die gesamte Bildebene dar. Zwischen diesen beiden Grenzebenen können beliebig viele weitere Ebenen erstellt werden. Zwischen den Bildebenen und -objekten können Objektbeziehungen (Relationen) aufgebaut werden, durch die jedes Objekt zu einem *super object* und mehreren *sub objects* sowie zu Nachbarobjekten in Beziehung gesetzt werden kann (Abb. 13).

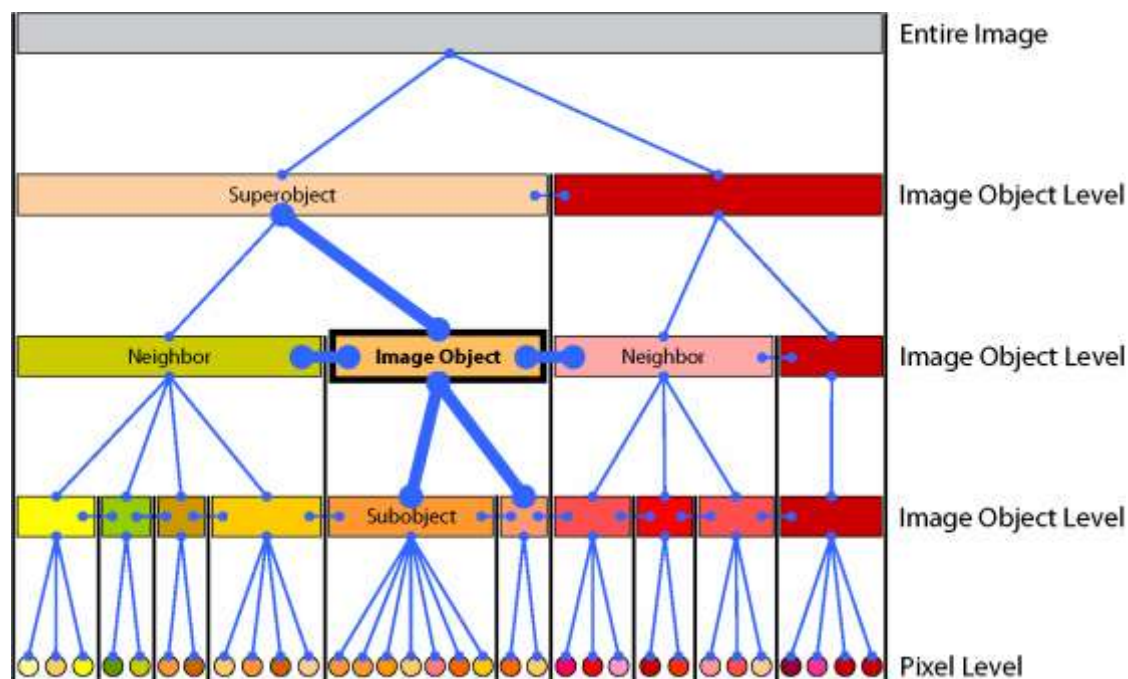


Abb. 13: Konzept der *multiresolution segmentation* und der Objektrelationen (DEFINIENS 2007).

Bei der *multiresolution segmentation* werden im Initialstadium über das gesamte Bild sogenannte Saatpixel verteilt, die dann mit ihren Nachbarpixeln zu Objekten verschmolzen werden, solange die für die Segmentierung festgelegten Grenzkriterien nicht erreicht werden. Die Grenzkriterien werden vom Nutzer festgelegt und setzen sich aus Farbhomogenität (*color*), Formhomogenität (*shape*) und einer Größenbegrenzung (*scale*) zusammen. Der *scale* Parameter steuert wie groß ein Segment werden kann und ist den anderen Parametern übergeordnet. Die Parametrisierung des *color* Parameter erfolgt in Abhängigkeit des *shape* Parameter und umgekehrt, und zwar so, dass bei der Einstellung jeweils der Wert 1 erreicht wird. Wird beispielsweise der *color* Parameter auf 0.2 gesetzt, nimmt der *shape* Parameter automatisch einen Wert von 0.8 an. Der *shape* Parameter untergliedert sich weiter in einen *compactness* und einen *smoothness* Parameter, die nach dem gleichen Prinzip wie *color* und *shape* parametrisiert werden. Durch die Gewichtung von *compactness* und *smoothness* werden eher kompakte oder geglättete Objekte erzeugt (vgl. Abb. 14)

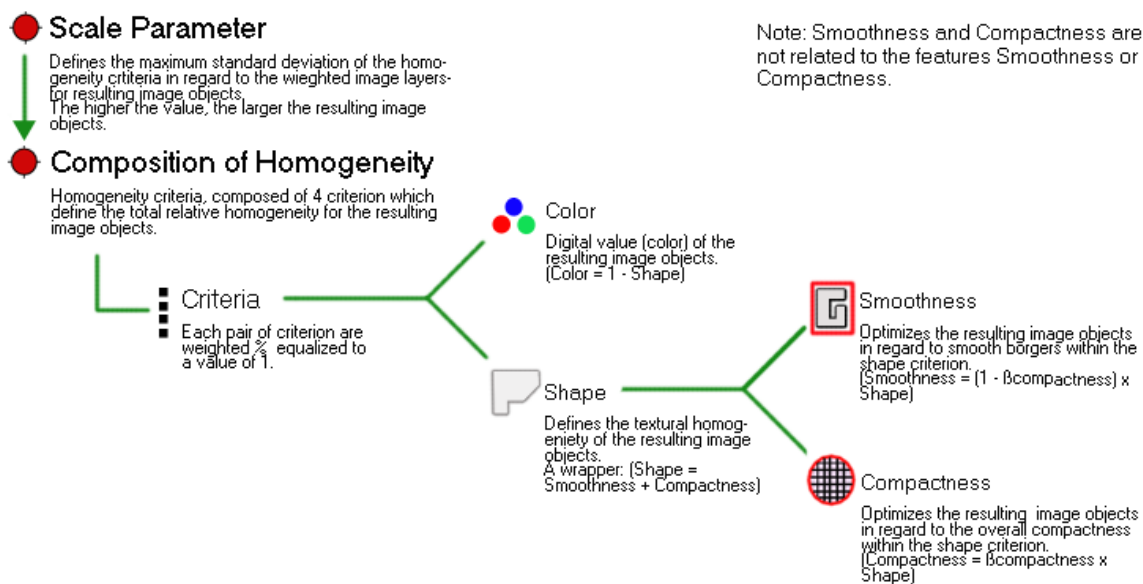


Abb. 14: Parameter, die die Ausbildung der Segmente einer *multiresolution segmentation* in eCognition 8.7 steuern (TRIMBLE 2011a).

Die Komplexität der Parametrisierung erschwert die Herausbildung von Segmenten nach nachvollziehbaren Kriterien, so dass Segmente, die semantisch sinnvolle Objekte (sogenannte *geons*) widerspiegeln, durch langwieriges probieren herausgebildet werden müssen.



Abb. 15: Beispiel einer erfolgreichen Segmentierung eines RGB-Luftbildes mit einem *scale parameter* von 400 sowie einem *shape parameter* von 0,3 und einer *compactness* von 0,5.

Die Klassifikation beruht in eCognition 8.7 auf der Berechnung von Merkmalen jedes Bildobjektes. Diese sogenannten *object features* lassen sich gliedern nach Objektmerkmalen, die auf der Objektgeometrie (*geometry*), den spektralen Eigenschaften (*layer values*), der Textur von Objekten (*texture*) sowie den Relationen zu anderen Objekten beruhen (*class related features*). Darüber hinaus lassen sich *object features* durch den Benutzer berechnen (*customized*) die durch das Programm nicht angelegt sind, zudem können Merkmale von Objekten zur Lage im Raum (*type*) und zu thematischen Zugehörigkeiten (*thematic attributes*) verwendet werden (TRIMBLE 2011b). Aufbauend darauf bietet eCognition 8.7 zur Klassifikation (i) ein *Nearest Neighbor* Verfahren, (ii) die Zuweisung von Zugehörigkeitsfunktionen (*Membership functions*) und (iii) die direkte Zuweisung von Klassen an (TRIMBLE 2011b).

### **i. Nearest Neighbor Klassifikation**

Das *Nearest Neighbor* Verfahren beruht auf der Zuweisung von Bildobjekten mittels eines *Minimum-Distance* Klassifikators. Dabei werden aus Trainingsdaten (*samples*) Mittelwerte in den einzelnen Spektralkanälen berechnet (ALBERTZ 2009) und mit den durch die Trainingsdaten angelegten Klassen gespeichert. Anschließend wird jedes zu klassifizierende Objekt der Klasse zugeordnet, zu dessen Mittelwert es den geringsten Abstand aufweist.

### **ii. Zugehörigkeitsfunktionen**

Die Zuweisung von Zugehörigkeitsfunktionen beruht ebenfalls auf Trainingsdaten, die als *samples* an eCognition 8.7 übergeben werden. Anders als das *Nearest Neighbor* Verfahren, kann bei der Berechnung von Zugehörigkeitsfunktionen ein größeres Spektrum der *object features* genutzt werden. Für charakteristische Merkmale (z.B. spektrale Werte, Objektgröße) lässt der Benutzer eine Zugehörigkeitsfunktion berechnen, die über dem Histogramm der Merkmale aufgespannt wird. Die automatisch berechneten Zugehörigkeitsfunktionen können durch den Benutzer in ihrer Form und in den Grenzwerten modifiziert werden. Zugehörigkeitsfunktionen werden in der sogenannten *class description* von Klassen gespeichert und beschreiben deren Eigenschaften. Die Verknüpfung unterschiedlicher Zugehörigkeitsfunktionen erfolgt mittels logischer Operatoren.

Wird die Klassifikation ausgeführt, greift eCognition 8.7 auf die benutzerdefinierten Klassenbeschreibungen zurück und ordnet die Bildobjekte nach dem Prinzip der *fuzzy logic* zu (TRIMBLE 2011b). Dabei wird für jedes Bildobjekt ein Zugehörigkeitswert zwischen 0 (nicht zugehörig) und 1 (zugehörig) berechnet (LEUKERT 2005). Hintergrund ist die Möglichkeit, dass sich Zugehörigkeitsfunktionen überlagern können und Bildobjekte damit mehreren Klassen zugeordnet werden können. Durch die Berechnung der Zugehörigkeitswerte, wird jedes Bildobjekt der Klasse zugeordnet, der es mit der größten Wahrscheinlichkeit angehört.



### iii. Direkte Zuweisung von Klassen

Die Möglichkeit Klassen direkt zuzuweisen beruht auf der Ableitung von Schwellenwerten. Dabei kann das Bild in der sogenannten *feature view* betrachtet werden. eCognition 8.7 stellt in der *feature view* ausgewählte *object features* für jedes Einzelobjekt als Graustufen- oder pseudo Farbbild dar. Die Anwendung von Schwellenwerten in der Klassifikation ist vor allem dann sinnvoll, wenn Objekte einer Zielklasse sehr charakteristische Merkmale (spektrale Information, Form etc.) aufweisen, die sie von anderen Klassen deutlich unterscheiden. Der Schwellenwert stellt dann die scharfe Grenze zu anderen thematischen Klassen dar und kann direkt zur Klassifikation genutzt werden, indem eine thematische Klasse zugewiesen wird.

### iv. Klassenmodellierung

Neben dem beschriebenen Ansatz zur Bildklassifikation bietet eCognition 8.7 die Möglichkeit weitere Informationsschichten (z.B. digitale Höhen- oder Oberflächenmodelle) in den Klassifikationsprozess einzubeziehen. LANG (2008) der sich auf TIEDE et al. (2006) bezieht, spricht in diesem Zusammenhang auch von Klassenmodellierung, da der Klassifikationsprozess nicht auf die Zuweisung semantischer Klassen auf der Grundlage spektraler Informationen beschränkt ist, sondern durch die Hinzunahme weiterer geographischer Informationsschichten Klassen modelliert werden.

## 3.3.3 Aufbau von eCognition 8.7

eCognition 8.7 basiert auf der *Cognition Network Technology* (CNT) von Definiens. In der Software *eCognition* wurde die modulare Programmiersprache CNL (*Cognition Network Language*) implementiert, mit der sich typische Programmieraufgaben wie *branching*, *looping* oder die Definition von Variablen umsetzen lassen. CNL ist aus vier Datenstrukturen aufgebaut.

1. *Prozess*: Jedes Sprachenelement von CNL, das einen dynamischen Charakter hat, wird der prozessualen Datenstruktur zugerechnet. Dazu gehören Bildobjekte, Variablen, Klassen, Segmente etc. Prozesse sind in einer Prozesshierarchie organisiert, deren zugehörige *engine* ausgehend von einem *root process* die nachfolgend organisierten *child processes* ausführt. Indem Prozesse ausgewählt und parametrisiert werden, wird der Algorithmus für einen bestimmten Programmausschnitt festgelegt.

2. *Domain*: Über die *domain* wird festgelegt, welche Datenstruktur prozessiert wird. Die grundlegendste *domain* ist die Pixelleveldomain, auf der Filter- und Segmentationsalgorithmen in einem ersten Schritt angewandt werden. Andere *domains* können die gebildeten Segmente umfassen (*image object level domain*).

3. *Bildobjekt*: Ein Bildobjekt ist eine Gruppe von Pixeln oder eine Gruppe von Bildobjekten, deren Eigenschaften (Form, Lage, Textur, Relation zu anderen Objekten) berechnet werden können. Ein Bildobjekt kann eine *domain* darstellen oder auf einer höheren Ebene als der Pixelebene zu einer *domain* mit anderen Objekten gruppiert werden. Darüber hinaus können Bildobjekte einer Klasse zugeordnet werden, wobei *eCognition* die Möglichkeit bietet, einmal segmentierte und klassifizierte Bildobjekte zu resegmentieren und zu reklassifizieren.

4. *Bildobjektklasse*: Klassen beschreiben die Bereiche, nach denen in einem Bild gesucht wird. Jede Klasse hat eine zugeordnete Farbe und einen Namen. Klassen können gruppiert werden, um Prozesse auf Klassengruppen anzuwenden.

### 3.3.4 Spektral klassifizierte Biotoptypen

Die im Rahmen des vorliegenden Projektes spektral klassifizierten Biotoptypen lassen sich methodisch dem im Kapitel 3.3.2 beschriebenen Prozess der Klassenmodellierung objektbasierter Bildanalyseverfahren zuordnen. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch die Hinzunahme bereits bestehender digitaler räumlicher Informationen, das Klassifikationsergebnis entscheidend verbessert werden kann.

Im vorliegenden Fall wurde die spektrale Klassifikation auf die im Kapitel 3.1 und 3.2 beschriebene GIS Maske in der Detaillierungsstufe 2 aufgebaut. Je nach zu klassifizierendem Biotoptyp, erfolgte eine Auswahl der Ausgangsklassen in den GIS Daten nach fachlichen Gesichtspunkten. Innerhalb der ausgewählten Klassen erfolgte dann eine weitere Differenzierung von einzelnen Biotoptypen.

#### 3.3.4.1 Magerrasen basenreicher Standorte (36.50)

Für die Klassifikation von Magerrasen basenreicher Standorte wurden aus den GIS Daten die Klassen DLM-GA-Grünland und Heide ausgewählt, die den Suchraum für Magerrasen darstellen. Anschließend wurden alle Flächen entfernt, die in der Biotopkartierung als Feuchtfelder abgelegt sind. Ausgehend von der so gewählten Ausgangsmaske erfolgte eine iterative Klassifikation der Magerrasen mittels der RapidEye Daten und Orthophotos sowie zwischengeschalteter GIS Analysen.

### RapidEye Klassifikation

Die durch die RapidEye Mission bereitgestellten Zeitreihen für das Jahr 2011 wurden genutzt, um Schnittmuster der Grünlandflächen im Biosphärengebiet aufzudecken. Es wurde davon ausgegangen, dass Flächen mit mehr als einem Schnittereignis aufgrund der extensiven Nutzung der Magerrasen, nicht als solche klassifiziert werden können. Daher wurden alle Flächen mit mehr als einem Schnittereignis aus den Daten entfernt, um so den Suchraum für die angestrebte Klassifikation der Magerrasen zu verbessern.

Methodisch wurde so vorgegangen, dass zunächst die ausgewählten GIS Daten als Segmentierungsgrundlage der RapidEye Daten genutzt wurden. Dabei wird der als Shapepolygonfile vorliegende Datensatz durch eCognition aufgerastert und die Polygongrenzen werden als Segmentgrenzen übernommen. Innerhalb der so erfassten Segmente erfolgte eine feinere Abgrenzung einzelner Bewirtschaftungseinheiten durch eine *multiresolution segmentation*. Abbildung 16 verdeutlicht das Prinzip der Segmentation und anschließenden Klassifikation gemähter und ungemähter Flächen.

Die Klassifikation der Flächen erfolgte mittels der Erstellung von Zugehörigkeitsfunktionen. Diese wurden für die Mittelwerte und Standardabweichungen der Helligkeit (*brightness*) und des NDVI (*Normalized Differenced Vegetation Index*) berechnet. Der NDVI ist ein Vegetationsindex, der Auskunft über die Vitalität von Vegetation gibt. Er kann Werte zwischen +1 und -1 annehmen, wobei +1 für grüne, gesunde Vegetation steht. Hintergrund ist die starke Absorption des roten Lichtspektrums und die starke Reflexion des nahen Infrarots durch vitale Vegetation. Diese vegetationsspezifische Eigenschaft drückt sich im NDVI aus, der anhand folgender Formel gebildet wird.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Rot}}{\text{NIR} + \text{Rot}}$$

Die verwendeten Indices spiegeln den Unterschied gemähter und ungemähter Grünlandflächen in Bezug auf Helligkeit und Vegetation wieder, da bei der Mahd die grüne Vegetation von der Fläche entfernt wird wodurch ein hoher Bodenanteil sichtbar wird.

Nach Abschluss der Klassifikation aller RapidEye Szenen wurde ein Shapefile der Segmentierung exportiert. Dieses Shapefile enthielt alle Grünlandflächen ohne Klassifikation gemähter oder ungemähter Flächen. Anschließend wurde von allen vier RapidEye Szenen das Klassifikationsergebnis der Schnittereignisse exportiert und mittels eines *spatial join* Befehls an das Shapefile mit den Grünlandsegmenten angehängt. So ließ sich die Schnitthäufigkeit für jede Einzelfläche extrahieren. Alle Flächen mit mehr als einem Schnittereignis wurden anschließend aus den Daten entfernt.

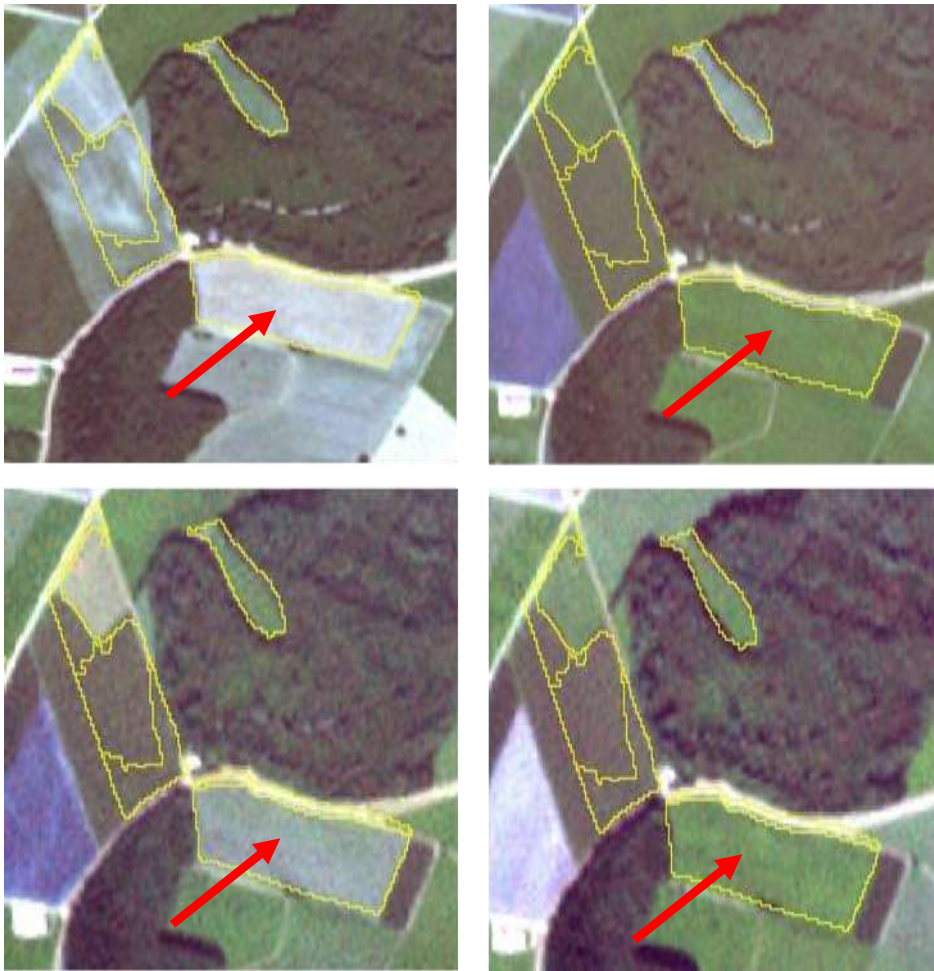


Abb. 16: Vier Aufnahmen von RapidEye am 28.6. (oben links), 2.8. (oben rechts), 22.8. (unten links) und 10.9. (unten rechts). Deutlich sind die Schnittereignisse der angezeigten Fläche um den 28.6. und 22.8. sichtbar.

### Orthophotoklassifikation

Die Entwicklung eines Klassifikationsalgorithmus für Magerrasen unter Verwendung der Orthophotos erfolgte teilweise im Rahmen einer Masterarbeit durch Kathrin Wiedmann (WIEDMANN 2012).

Im Rahmen der Arbeit wurden sechs Testgebiete ausgewählt, die sich durch größere und zusammenhängende Magerrasenflächen auszeichneten. In den Testgebieten erfolgte eine zusätzliche Geländekartierung, da die bereits vorliegenden Geländedaten nicht umfangreich genug waren.

Drei der Testgebiete wurden für die Algorithmenentwicklung ausgewählt. Nach der Erstellung eines *rulesets* wurde dieses auf die drei nicht bei der Algorithmenentwicklung beteiligten Testgebiete angewandt, um die Übertragbarkeit des *rulesets* zu testen. Anschließend erfolgte die Klassifikation der Magerrasensegmente für das gesamte Biosphärengebiet. Dazu war eine

Unterteilung des Gebiets in 36 km<sup>2</sup> große Kacheln notwendig, da eCognition nicht das gesamte Mosaik mit einer Größe von 292 GB berechnen kann.

Nach Abschluss der Klassifikation waren mehrere GIS Bereinigungsschritte sowie eine Aggregation der sehr kleinen Magerrasenpatches auf ein höheres Aggregationsniveau notwendig, um ein zufriedenstellendes Ergebnis zu erzielen.

### Entwicklung des *rulesets* in den drei Testgebieten

Die nachfolgende Darstellung der Entwicklung des *rulesets* ist der Masterarbeit von Kathrin Wiedmann entnommen.

#### a) Segmentation

Für die Klassifikation der Magerrasen wurde eine Segmentierungshierarchie mit zwei Leveln angelegt. Im oberen Level wurden die Flächengrenzen aus dem Magerrasenshape übernommen. Hierfür ging die Maske als thematischer Layer bei der zuerst durchgeführten *chessboard segmentation* mit ein. Als Objektgröße wurden wieder 1.000.000 Pixel angegeben. Anschließend wurden die Flächenabgrenzungen aus dem Shapefile über den Algorithmus *assign class* übernommen. Unterhalb dieses Levels wurde nun bei der folgenden *multiresolution segmentation* ein zweiter Level angelegt, auf dem die Samples der Magerrasen ausgewählt und der eigentliche Klassifikationsalgorithmus entwickelt wurde. Bei der Segmentierung wurden die Segmentgrenzen des oberen Levels übernommen und innerhalb dieser neuen kleineren Segmente generiert. Hierfür wurde ein *scale*-Faktor von 200 verwendet, mit dem Bäume und Schatten von den flächigen Magerrasensegmenten als eigene Objekte abgetrennt werden konnten. Dem Farbkriterium wurde mit 0,7 eine höhere Gewichtung zugewiesen als der Form, da die Klassifikation hauptsächlich auf den Spektralwerten basieren soll (siehe Tab. 2).

Für die Segmentierung wurden folgende Parameter angewandt:

Tab. 2: Segmentierungsparameter der *multiresolution segmentation*

Level	scale	shape/color	compactness/roundness	Gewichtung der Kanäle r/g/b/ir
Level 2	200	0,3/0,7	0,5/0,5	1/1/1/1

Über den Algorithmus *assign class* und die Definition *relations to super objects* wurde die Magerrasenmaske des oberen Level auf den unteren übernommen.

## b) Klassifikation

Die Klassifikation erfolgte auf dem unteren Segmentierungslevel. Zuvor wurde eine Klassenhierarchie erstellt, die alle Klassen enthält, die innerhalb der Magerrasenmaske visuell auf den Luftbildern differenziert werden können (Abbildung 17). Insgesamt wurde eine Hierarchie mit elf Klassen angelegt, welche jedoch nicht in allen Trainingsgebieten vorkommen. Diese Klassen teilen sich in die Oberklassen „Magerrasen“ und „nicht Magerrasen“ auf. Um die Klassifikationsmöglichkeit für Magerrasen einzugrenzen, wurden für die übrigen Klassen ebenfalls Klassenbeschreibungen und Zugehörigkeitsfunktionen aufgestellt.

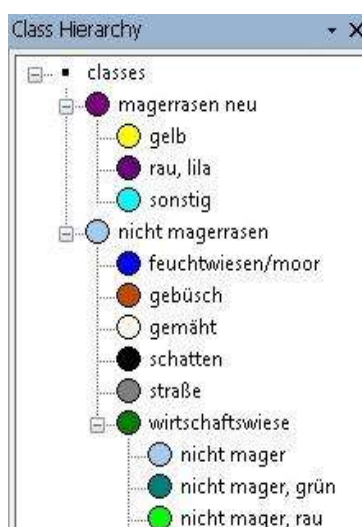


Abb. 17: Klassenhierarchie mit den unterschiedlichen Ausprägungen für Magerrasen und Wirtschaftswiesen

Da es nicht möglich war, alle Segmente der Magerrasen mit der Definition einer Klasse zu erfassen, wurden weitere Klassen erstellt, welche nach visuell im Bild erkennbaren Ausprägungen unterschieden wurden. Zu diesen gehören eine im Luftbild gelb erscheinende Ausprägung sowie eine leicht violette Ausprägung mit rauer Textur (Abbildung 18). Die übrigen Magerrasensegmente, welche nicht den beiden Unterklassen zugeordnet werden konnten, wurden in der Klasse „sonstig“ erfasst.

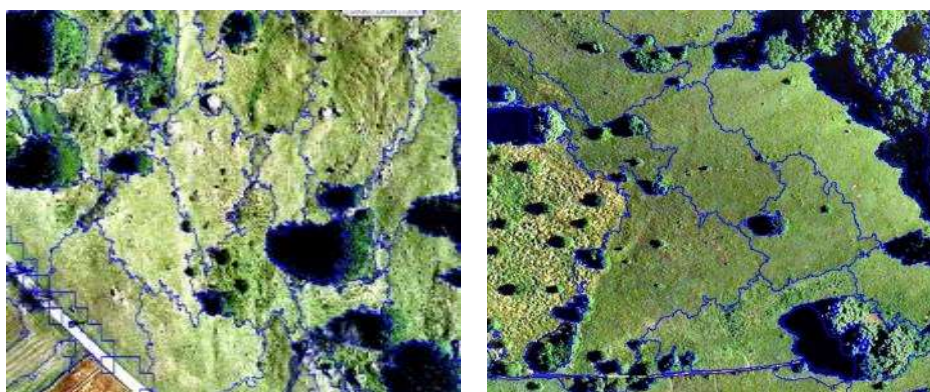


Abb. 18: Ausprägungen der Magerrasen: a) gelb, b) violett mit rauer Textur

Für die Klassifikation der Wirtschaftswiesen wurden ebenfalls drei Unterklassen angelegt, da sich die Flächen hinsichtlich ihrer Spektralwerte zu stark unterscheiden um sie einer Klasse zuzuordnen. Im Vergleich zu den Magerrasen sind Wirtschaftswiesen in der Regel durch eine einheitlichere Struktur und Farbe gekennzeichnet und weisen kein Gehölz auf (Abbildung 19).



Abb. 19: Ausprägungen der Wirtschaftswiesen: a) nicht mager und grün, b) nicht mager und rau

Bei der Klassifikation wurden Klassenbeschreibungen und die Definition von Zugehörigkeitsfunktionen verwendet. Aufgrund der bereits genannten Schwierigkeit, Klassen mit ähnlichen Spektralwerten zu trennen, wurde eine Reihe an weiteren Merkmalen zur Definition mit einbezogen. Neben den Mittelwerten und Standardabweichungen der einzelnen Spektralkanäle, den Mittelwerten der maximalen Differenz und der Helligkeit wurden zudem auch Geometrie- sowie Texturmerkmale berücksichtigt. Zu diesen gehören die Flächengröße, die Länge, das Längen-/Breitenverhältnis sowie Formparameter, wie die Kompaktheit und Rundheit der Segmente. Für die Beschreibung der Textur wurden die Haralick'schen Texturmaße *Homogeneity*, *Contrast*, *Dissimilarity* und *Entropy* verwendet, welche sich aus der Grauwertmatrix (*gray level co-occurrence matrix* (GLCM)) eines Bildes berechnen lassen. Die *Co-Occurrence Matrix* gibt die Häufigkeit an, mit der verschiedene Grauwertkombinationen im Bild vorkommen (OZDEMIR et al. 2008). Hierbei kann zwischen den Bildrichtungen  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $135^\circ$  gewählt werden, wobei  $0^\circ$  die vertikale Richtung repräsentiert und  $90^\circ$  dementsprechend die horizontale (TRIMBLE 2011a: 320). Es ist darüber hinaus auch möglich, sich die Texturmerkmale aller Richtungen in einem einzigen Wert ausgeben zu lassen. Diese Art der Berechnung wurde aufgrund der geringeren Rechenzeit innerhalb der Arbeit für alle vier verwendeten Texturmaße angewandt. eCognition 8.7 berechnet die Textur generell für alle Pixel eines Bildobjekts. Das Maß Homogenität (*Homogeneity*) misst die Ähnlichkeit der Textur, indem die Entfernung der Matrixelemente zur Diagonalen der GLCM berechnet wird. Ihm gegenüber steht der Kontrast (*Contrast*). Dieser ermittelt die Anzahl von lokalen

Änderungen innerhalb der Grauwertmatrix. Eine ähnliche Auskunft gibt die Unterschiedlichkeit (*Dissimilarity*) der Textur (OZDEMIR et al. 2008). Die Entropie (*Entropy*) bezieht sich auf die Regelmäßigkeit der Textur und bewertet die unregelmäßige Anordnung der Pixelwerte innerhalb der Matrix (TSAI et al. 2006). Des Weiteren wurden außer den vorgestellten Merkmalen auch der NDVI für die Erstellung der Klassenbeschreibungen mit einbezogen und eine HSI (*Hue, Saturation, Intensity*)-Transformation auf Grundlage des Farbtons (*hue*) durchgeführt, welche die RGB-Werte in den HSI-Farbraum konvertiert.

Für jede Klasse wurden nun Samples genommen und im Anschluss Zugehörigkeitsfunktionen für die Merkmale definiert, anhand derer sie sich jeweils von anderen Klassen trennen lässt. Die Zuweisung einer Klasse zu einem Segment erfolgte anschließend über den Algorithmus *classification*. Hierbei wurde ein Klassenfilter angewandt, so dass nur die Flächen innerhalb der Magerrasenmaske klassifiziert wurden. Der Klassifikationsalgorithmus wurde zuerst anhand des Testgebiets Schopfloch erstellt. Da es das Ziel war, einen übertragbaren Klassifikationsalgorithmus für das gesamte Biosphärengebiet aufzustellen, wurden für seine Erstellung bereits drei Trainingsbiote herangezogen. Das *Rule Set* wurde nach der ersten Klassifikation abgespeichert und auf einem neuen Testgebiet angewandt, wobei die aufgestellten Funktionen angepasst wurden. Dieser Vorgang wurde nacheinander für die Testgebiete Neuffen und Donnstetten wiederholt.

Anschließend wurde eine Klassifikation der drei Testgebiete, die nicht bei der Algorithmenentwicklung involviert waren vorgenommen, um zu prüfen, ob das *ruleset* Magerrasen auch außerhalb der für die Entwicklung verwendeten Testkacheln funktioniert. Dabei zeigte sich vor allem bei dem Referenzgebiet Eichhalde, dass der Algorithmus bei manchen Flächen Magerrasen unterschätzt, während gleichzeitig Grünlandpatches in Wirtschaftswiesen fehlklassifiziert werden.

Das im Rahmen der Masterarbeit von Kathrin Wiedmann entwickelte *ruleset* zur Klassifikation von Magerrasen wurde nach Abschluss der Arbeit auf das gesamte Biosphärengebiet angewandt. Dazu wurde das Orthophotomosaik des Biosphärengebiets in 36 km<sup>2</sup> große Kacheln zerlegt und anschließend kachelweise prozessiert. Nach Abschluss der Klassifikation zeigte sich, dass die Problematik, wie sie im Testgebiet Eichhalde aufgetreten war (Unterschätzung von Magerrasen, Fehlklassifikation *patches* in Wirtschaftswiesen) auch bei der Klassifikation des gesamten Gebiets in zu großem Maße auftrat.

Um dieses Problem zu lösen, wurden weitere Iterationsschritte vorgenommen, um die Klassifikation zu verbessern.

Zunächst erfolgte eine Zusammenlegung der *patches*, die aufgrund der kachelweisen Prozessierung lediglich zertrennt vorlagen, mit ArcGIS 10.1 und vLate 2 Beta. Anschließend



wurden alle *patches*, die eine räumliche Deckung zu den bestehenden Biotop-typenkartierungen (LUBW, eigene Kartierungen) aufwiesen, als richtig klassifiziert gesichert. Daraufhin wurde das Orthophotomosaik auf 2 m Auflösung reskaliert und es erfolgte eine erneute Segmentation, die eher großräumige Grünlandflächen erfasste. Diese großen Segmente wurden im Rahmen einer *multiresolution segmentation* zu den sehr kleinräumigen Magerrasenpatches in Beziehung gesetzt und anschließend auf der Grundlage der bestehenden Magerrasenflächen klassifiziert. Dabei wurde von einem Schwellenwert von 10.000 Pixeln ausgegangen. Wurde der Schwellenwert überschritten, erfolgte eine Klassifikation des größeren Segments als Magerrasen, wurde der Schwellenwert nicht erreicht, wurde das übergeordnete Segment nicht als solches klassifiziert. Dadurch konnte einerseits die Problematik der Unterschätzung von Magerrasen und andererseits die Fehlklassifikation im Wirtschaftsgrünland gelöst werden (vgl. Abb. 20).

Nach der Zusammenführung der Klassifikation mit den im ersten Schritt bereits gesicherten Magerrasenflächen erfolgte eine manuelle Kontrolle, bei der offensichtliche Fehlklassifikationen entfernt wurden.

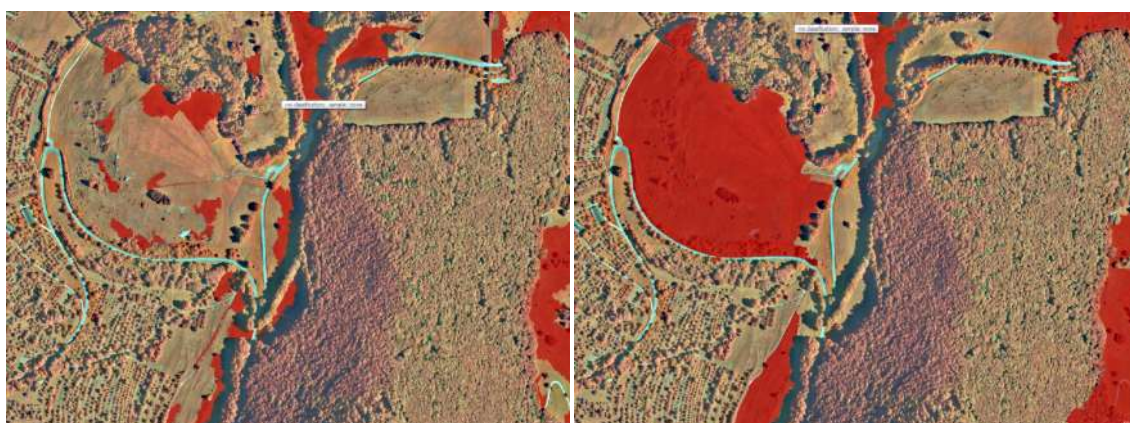


Abb. 20: Testgebiet Eichhalde. Links die Klassifikation durch den von Kathrin Wiedmann entwickelten Algorithmus, rechts die Klassifikation nach der Übertragung auf größere Segmente.

#### 3.3.4.2 Nasswiese (33.20), Großseggenried (34.60), Dominanzbestand (35.30), Hochstaudenflur (35.40)

Feuchte Biotoptypen gehören im Biosphärengebiet aufgrund der Geologie des Gebiets zu den eher seltenen Biotoptypen. Daher wurden die in der Überschrift aufgeführten feuchten Biotoptypen in einer Klasse aggregiert. Die Klassifikation der Biotoptypen erfolgte im Rahmen einer Masterarbeit von Heiko Hiltcher (HILTSCHER 2013).

Ähnlich wie bei der Klassifikation der Magerrasen erfolgte auch bei den Feuchtfleichen ein iterativer Klassifikationsprozess und eine zusätzliche Erhebung/Verifikation von Geländedaten. Als Ausgangsmaske für die Klassifikation wurde aus den GIS Daten die Klasse DLM-GA-Grünland sowie Röhricht/Schilf ausgewählt. Diese Ausgangsmaske wurde als Segmentierungsgrundlage auf das RapidEye Mosaik vom 18.4.2011 übertragen. Auf diesem sehr früh im Jahr aufgenommenen Bild war ein deutlicher Unterschied zwischen den Wirtschaftswiesen, die bereits deutlich grün waren, und den Feuchtfleichen, die noch kaum frischen Aufwuchs aufwiesen, zu erkennen.

Um die unterschiedlichen Flächen klassifizieren zu können, wurde ein feineres Segmentierungslevel unterhalb der GIS Daten mit den Parametern: *scale* 80, *shape/color* 0,3/0,7 und *compactness/roundness* 0,5/0,5 angelegt. Anhand der im Gelände kartierten Flächen wurden anschließend *samples* angelegt, anhand derer Zugehörigkeitsfunktionen erstellt wurden, die als Grundlage für die Trennung feuchter und nicht feuchter Flächen dienen. Im Prozess der Bearbeitung wurden diese Flächen als Arbeitsklassen „Intensivgrünland“ (nicht feucht) und „Extensivgrünland“ (feucht) bezeichnet (vgl. Abb. 21). Die Klasse „Extensivgrünland“ konnte in einem zweiten Schritt nochmals anhand der Erstellung neuer Zugehörigkeitsfunktionen verbessert werden („fehlerhafte Flächen“) (Abb. 21).

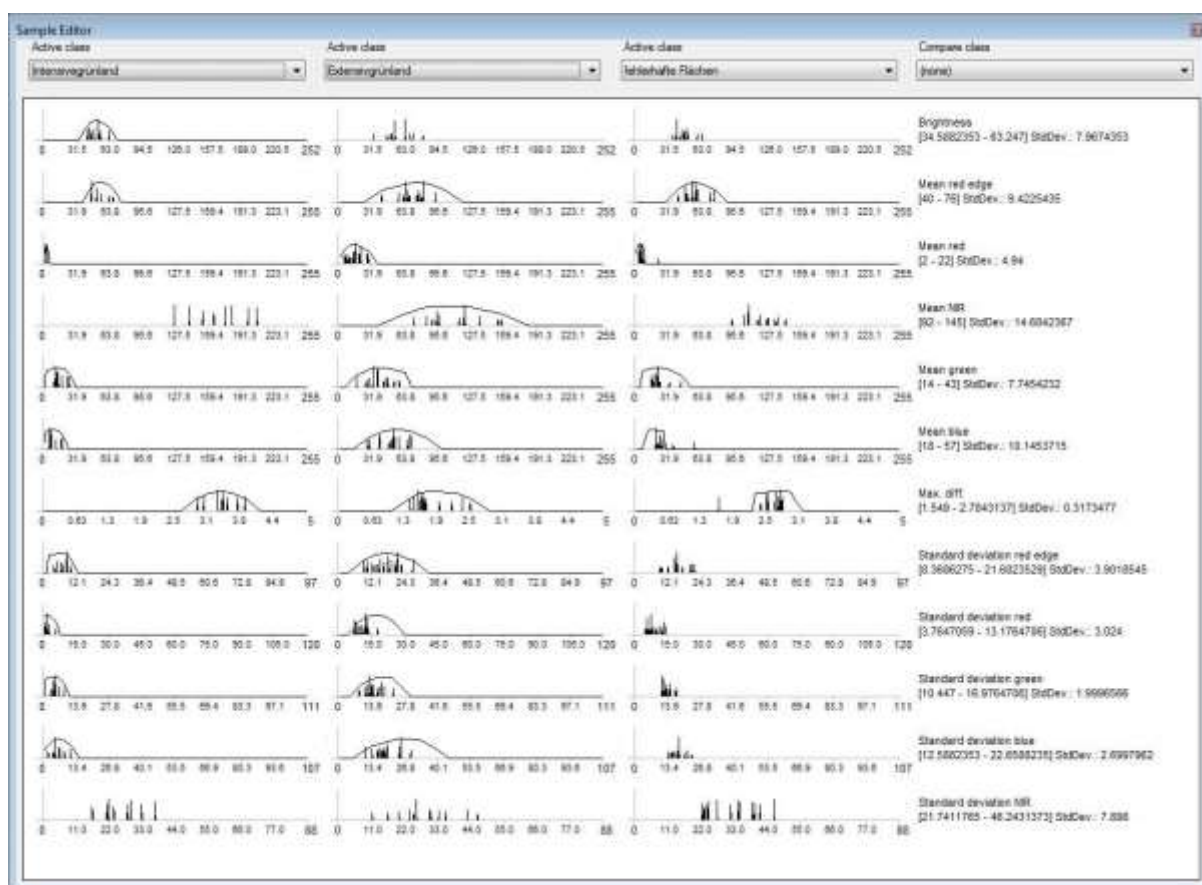


Abb. 21: Zugehörigkeitsfunktionen der Klassen mit den Arbeitstiteln „Intensivgrünland“, „Extensivgrünland“ und „fehlerhafte Flächen“.

Die durch die Klassifikation der RapidEye Daten verbesserte Grünlandmaske wurde exportiert und in ArcGIS übernommen. Dort wurden Polygone <2000 m<sup>2</sup> entfernt und es wurde eine Glättung der Ränder der Polygone vorgenommen, da die Polygongrenzen aufgrund der Pixelgröße der RapidEye Daten sehr eckig wirkten (Abb. 22). Damit wurde eine Klassifikation von Quellfluren (34.30) hinfällig.



Abb. 22: Grünlandmaske vor (gelb) und nach dem Glätten (rot) der Ränder.

Im nächsten Schritt wurde die verbesserte Grünlandmaske verwendet, um die Feuchtflächen differenzierter auf den Orthophotos zu klassifizieren. Dazu wurden acht Testgebiete von je 6 km<sup>2</sup> Größe ausgewählt. Anhand von drei der acht gewählten Gebiete wurde das *rule set* entwickelt, um es anschließend anhand der fünf verbliebenen Gebiete zu testen.

Zunächst wurde die verbesserte Grünlandmaske auf die Testgebiete aufgespielt und anschließend ein feineres Segmentierungslevel mit den Parametern: *scale* 200, *shape/color* 0,3/0,7 und *compactness/roundness* 0,7/0,3 angelegt.

Für die Klassifikation wurden die typischen Texturmerkmale von Feuchtflächen genutzt, die anders als Wirtschaftswiesen, ein „unruhigeres“ und „vielfältigeres“ bzw. „rauere“ Erscheinungsbild haben (vgl. Abb. 23). Aus den von eCognition 8.64 bereitgestellten Texturmaßen wurden folgende für die Erstellung von Zugehörigkeitsfunktionen ausgewählt: *GLCM Dissimilarity (all directions)* und *GLCM Contrast (all directions)*.

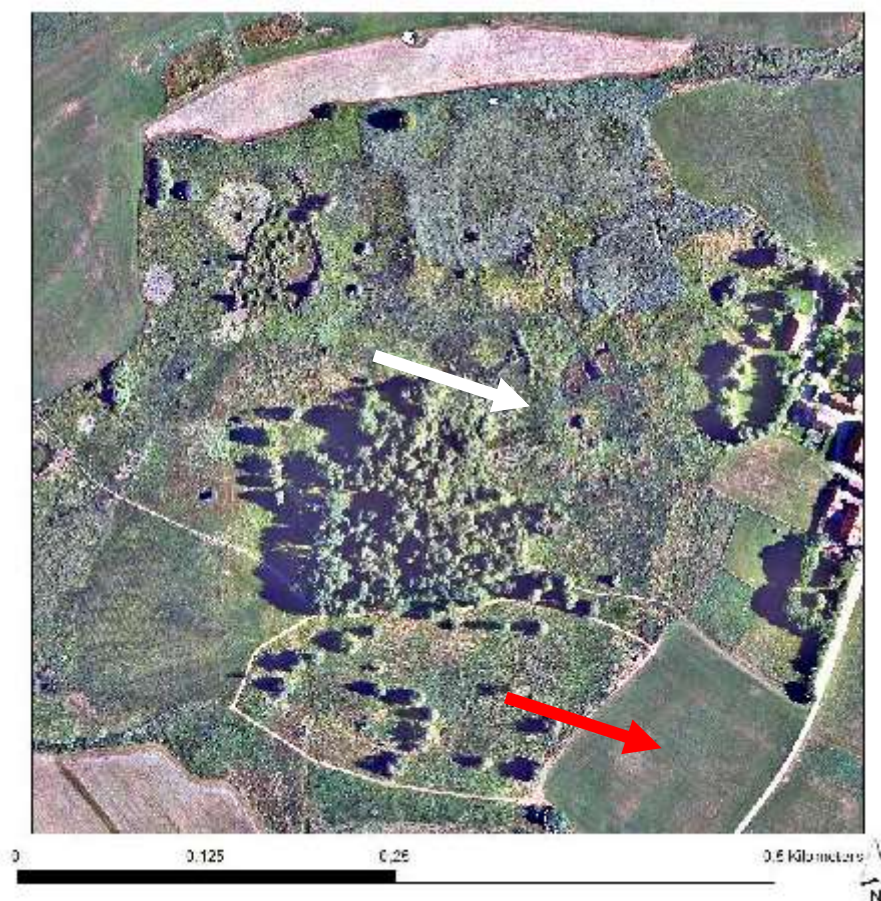


Abb. 23: Feuchtflächen im Schopflocher Moor (deutlich erkennbar ist die „raue“ und „unruhige“ Oberflächenstruktur der Feuchtflächen (weißer Pfeil) im Vergleich zu den eher „glatt“ wirkenden Wirtschaftswiesen (roter Pfeil).

Über die Textur wurden lediglich Teile der Feuchtflächen erfasst, so dass weitere Klassenbeschreibungen auf der Grundlage von Zugehörigkeitsfunktionen notwendig waren. Eine Klassenbeschreibung noch unklassifizierter Feuchtflächen wurde daher durch die Erstellung von Zugehörigkeitsfunktionen folgender Merkmale erstellt: *Brightness*, Mittelwerte der Kanäle Rot und Infrarot, Standardabweichung von Blau und Rot sowie den geometrischen Merkmalen Längen-Breiten Verhältnis, Dichte und Symmetrie.

Ähnlich wie bei den Magerrasen zeigte sich auch bei den Feuchtflächen, dass mittels der eher kleinräumigen Segmentierung nicht alle Flächen erfasst werden können. Daher wurden die bereits klassifizierten Flächen zusammengefasst und erneut einer Klassifikation auf der Grundlage von Zugehörigkeitsfunktionen unterzogen (Mittelwerte von Rot, Grün und Infrarot sowie Standardabweichung von Rot, Grün, Infrarot und Blau). Dadurch konnten Flächen, die aus überproportional falschklassifizierten Segmenten gebildet wurden, entfernt werden. Die Trennung von Röhrlicht erfolgte anhand einer weiteren Klassifikation auf der Grundlage von LIDAR Daten (s.u.).

### 3.3.4.3 Intensivgrünland oder Grünlandansaat (33.60)

Die Klassifikation von Intensivgrünlandflächen beruhte auf der Annahme, dass sich der Schnittrhythmus der Flächen aus den unterschiedlichen RapidEye Szenen extrahieren lässt. Wie bei der Klassifikation der bereits vorgestellten Grünlandbiotoptypen wurde zunächst die Grünlandklasse DLM-GA-Grünland aus der GIS Maske ausgewählt. Diese Maske wurde als Segmentierungsgrundlage auf ein auf 2 m reskaliertes Orthophotomosaik aufgespielt. Anschließend wurde ein Segmentierungslevel erstellt, das die im Bild erkennbaren Einzelflächen abbildet. Dieses Segmentierungslevel wurde exportiert und auf die fünf zur Verfügung stehenden RapidEye Szenen aufgespielt. Anschließend wurde für jede Szene ein Algorithmus entwickelt, der gemähte von ungemähten Flächen unterscheidet (hauptsächlich auf der Grundlage von NDVI Werten). Die gemähten Flächen wurden exportiert und mittels eines *spatial join* Befehls an das File angefügt, indem alle Flächen enthalten waren. Dadurch ließ sich für jede Fläche abbilden, wann und wie häufig sie gemäht wurde. Als Intensivgrünlandflächen wurden schließlich alle Flächen klassifiziert, die um folgende Termine gemäht wurden: 28.6., 2.8., 22.8. und/oder 10.9.

Nach Abschluss der Klassifikation zeigte sich, dass durch dieses Vorgehen auch zahlreiche Flächen klassifiziert wurden, auf denen Mais angebaut wurde (vermutlich handelt es sich dabei um umgebrochene Grünlandstandorte), daher wurde das Endergebnis erneut klassifiziert, um die Maisflächen von den Intensivgrünlandflächen zu trennen.

#### 3.3.4.4 Offene Felsbildung (21.10)

Offene Felsbildungen wurden ebenfalls spektral klassifiziert. Als Ausgangsmaske dienten die Klassen der GIS Maske: Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Wald nicht differenziert. Diese Flächen wurden einem *dissolve* unterzogen, so dass alle Grenzen innerhalb der Flächen aufgelöst wurden. Anschließend wurde auf 36 km<sup>2</sup> großen Orthophotokacheln ein sehr feines Segmentierungslevel unterhalb der Waldmaske erstellt und über die NDVI Werte wurden die im Bild hell aufleuchtenden Felsen klassifiziert (Abb. 24). Nach Abschluss der automatisierten Klassifikation wurde eine manuelle Kontrolle der Ergebnisse vorgenommen in der beschattete, aber im Bild sichtbare Felsen ergänzt wurden.

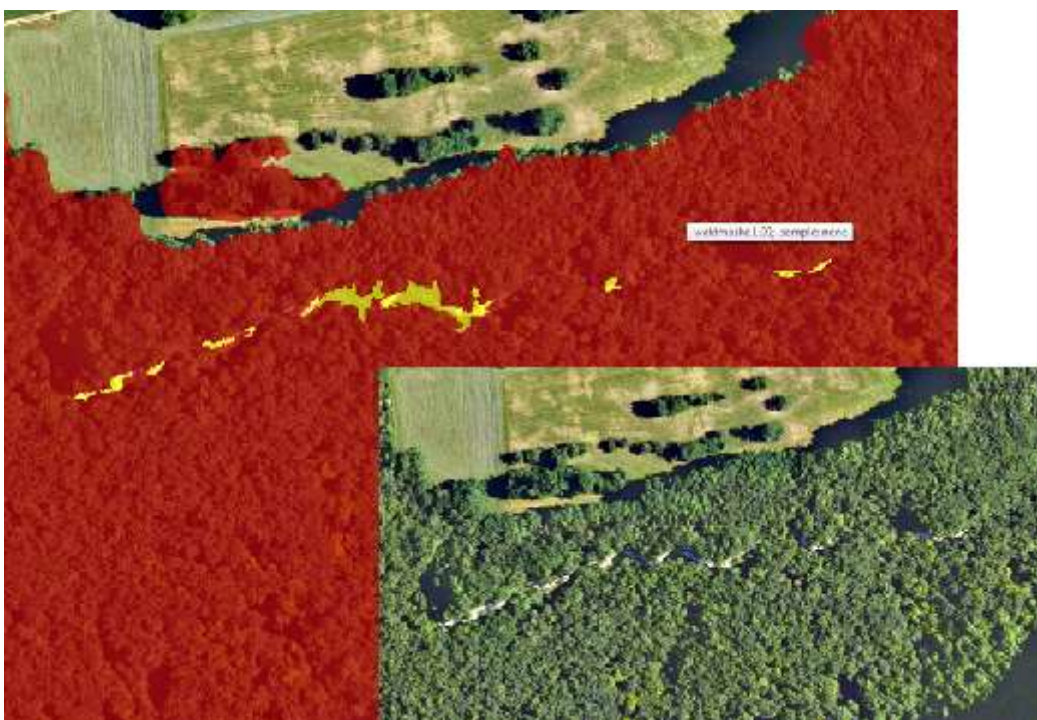


Abb. 24: Klassifizierte offene Felsbildungen (gelb) und das dazugehörige Orthophoto im Vordergrund.

### 3.3.5 Laserscanning

Laserscanning ist eine sogenannte aktive Fernerkundungstechnologie, da der Sensor aktiv einen Laserpuls aussendet und dessen Rücklaufzeit misst. Laserscanning beruht auf dem LiDAR Prinzip. Die Abkürzung LiDAR steht für *light detection and ranging*, wobei es sich um eine Technologie handelt, die Licht in Form eines Lasers nutzt, um Distanzen zu messen. LiDAR Systeme werden überwiegend auf flugzeuggestützten Trägerplattformen eingesetzt. Sie setzen sich aus dem Laser, einem Empfänger, einem differentiellen GPS und einer IMU (*inertial measurement unit*) Einheit zusammen. Das GPS misst die exakte Position während einer Aufnahme und die IMU die Lage des Flugzeugs im Raum zum Zeitpunkt der Aufnahme. Bei der Aufnahme wird ein Laserstrahl zur Erde ausgesandt, dessen Reflexionen vom Empfänger aufgezeichnet werden (siehe Abb. 10). Bei einer Flughöhe von 1000 m hat der Laserstrahl am Boden einen Durchmesser von ca. 25 cm, so dass bei jeder Messung mehrere Reflexionen aufgezeichnet werden können (WEVER 1999). Jedes Oberflächenobjekt der Erde (Bäume, Häuser, Boden etc.), das der Laser erfasst, hat aufgrund seiner Höhe eine andere Rücklaufzeit, aus der sich die exakte Höhe einer Reflexion berechnen lässt. Dadurch entstehen, bei den derzeit großflächig eingesetzten Systemen, Punktwolken mit einer Punktdichte von ca. 1 Punkt/m<sup>2</sup>, die in sogenannte *first* und *last pulse* Daten unterschieden werden. Mit *first pulse* Daten werden alle Reflexionen bezeichnet, die sich oberhalb der Erdoberfläche befinden (Bäume, Häuser etc.). Mit *last pulse* Daten werden alle Reflexionen bezeichnet, die von der Erdoberflächen stammen. Aus ihnen lässt sich ein sehr exaktes Höhenmodell berechnen. Spezielle Algorithmen erlauben die Rekonstruktion von Oberflächenobjekten aus den *first pulse* Daten, so dass Informationen über dreidimensionale Objekte generiert werden können.

Die Prozessierung erfolgte in der auf Python 2.6, PostgreSQL 9, PostGIS 1.5, QuantumGIS 1.7 und diversen OpenSource-GIS-Bibliotheken basierenden Software „Biomass“, die im Rahmen des Projektes „Biomasse per Laserscan“ der Universität Hohenheim (BMU) entwickelt wurde (KRISMANN et al. 2013 und RENTSCH et al. 2012).

Die Daten liegen mit einer Punktdichte von 1 Punkt/m<sup>2</sup> vor und wurden in einer Kachelbreite von 250 x 250 m in die Software eingespielt. Die Kachelgrenzen überlappen, so dass beim Endprodukt keine zusammenhängenden Gehölze durchtrennt wurden. Nach dem Einlesen wurde ein normalisiertes digitales Oberflächenmodell (nDOM) berechnet. D.h. es wurden alle Reflexionen unterhalb von 1 m Höhe entfernt, so dass lediglich Punkte verblieben, die potentielle Gehölze und andere drei dimensionale Objekte repräsentierten. Anschließend erfolgte mittels eines neuartigen iterativen "vertikalen" Watershed-Algorithmus die Extraktion von Einzelbäumen und die Bildung von Gehölzgruppen auf jeder Prozesskachel. In einem Zwischenschritt wurden Löcher in den Gehölzgruppen geschlossen. Mittels eines neuartigen Skeletierungsalgorithmus erfolgte eine Längen- und Breitenberechnung sowie eine

Abtrennung von Seitenästen, die das Ergebnis der Längen- und Breitenberechnung verzerren und eigenständige Gehölzgruppen abspalten (z.B. Baumhecken im Kontakt mit Waldflächen). Für jedes Polygon wurden im nächsten Schritt Attribute (insgesamt 26) wie z.B. die mittlere Höhe berechnet. Aufbauend darauf erfolgt eine regelbasierte Gehölztypisierung (siehe Abbildung 25). Dieses Verfahren wird im Folgenden als „Laserscanmethode“ bezeichnet.

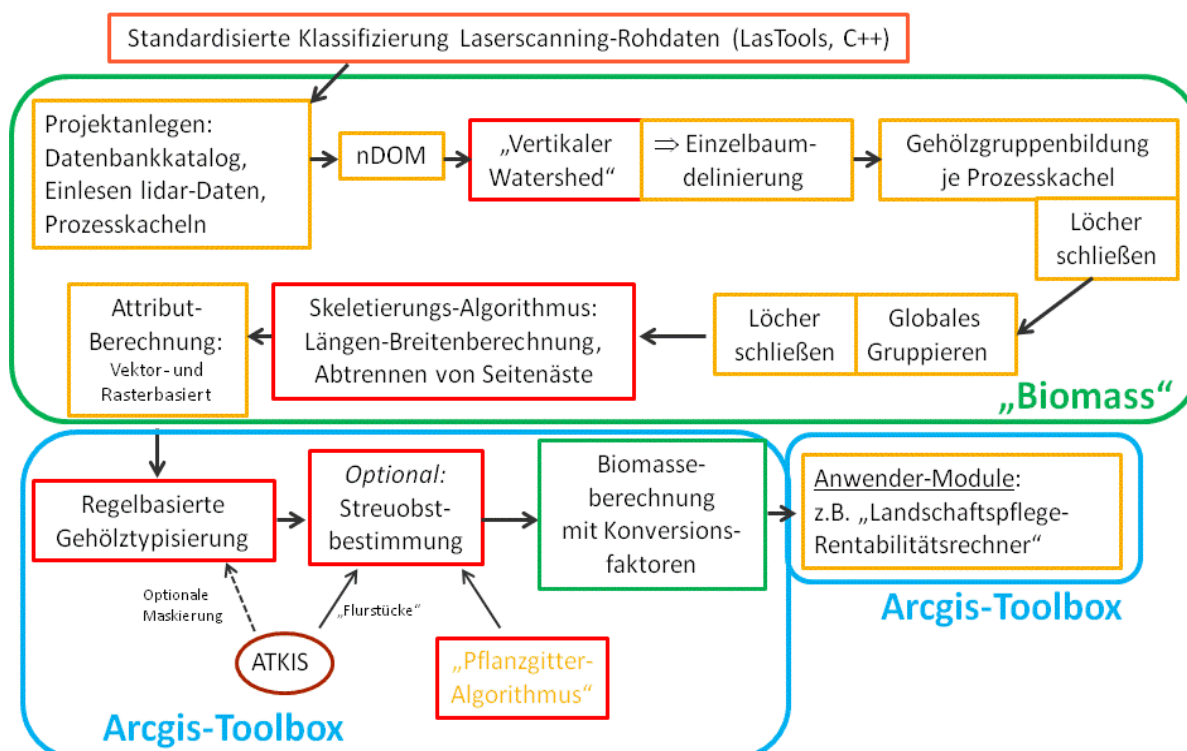


Abb. 25: Prozessschritte der Gehölzextraktion aus den LiDAR Daten („Laserscanning-Methode“)

Aus den LiDAR-Daten wurden die Offenlandgehölze, Röhrichte und Wacholderheiden klassifiziert, die im Biotoptenschlüssel der LUBW unter 3. Gehölzarme terrestrische und semiterrestrische Biotoptypen und 4. Gehölzbestände und Gebüsche zusammengefasst sind.

Der Schritt der regelbasierten Gehölztypisierung lieferte die gesuchten Biotoptypen. Das Klassifikationsschema ist an den Schlüssel der LUBW zur Kartierung von Biotopen angelehnt (LUBW 2009). Allerdings ermöglicht die Verfügbarkeit der berechneten Attribute eine stärkere Differenzierung der Gehölze nach strukturellen Merkmalen, so dass die Gehölztypisierung gegenüber dem Biotoptenschlüssel deutlich verfeinert ist. Verwendet wurden dazu die



Parameter Länge, Breite, maximale Höhe, mittlere Höhe, Fläche und Roughness<sup>1</sup> der Kronenumrisse. Die Streuobstklassifikation bedient sich eines eigenen neuartigen Pflanzgitteralgorithmus (mit ArcGIS 10-ArcPy geschrieben), der sich die charakteristische Regelmäßigkeit von Streuobstpflanzungen je Flurstück zu Nutze macht. Zusätzlich flossen die Ergebnisse des Projektes "Streuobsterhebung Baden-Württemberg" mittels Laserscandaten der Universität Hohenheim mit ein (MLR Baden-Württemberg).

### 3.3.6 Per „Laserscanning-Methode“ klassifizierte Biotoptypen

#### 3.3.6.1 Röhricht (34.50)

Die Klassifikation von Röhrichtflächen beruhte auf der Klassifikation von Feuchtbiotopen. Diese dienten als Grundlage, um die Röhrichtbestände abzugrenzen. Dazu wurde zunächst eine Segmentierung der Flächen vorgenommen, so dass potentielle Röhrichtbestände als Einzelsegmente vorlagen. Die Ableitung der Schilf- und Röhrichtflächen erfolgte mittels der Kombination unterschiedlicher Attribute, die aus den LIDAR Daten berechnet wurden. Z. B. mittlere Höhe <2,5 m und Fläche <500 m<sup>2</sup>, 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 Feuchtfläche 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.

Die einzelnen Klassifikationsschritte sind im Detail im Anhang dokumentiert.

---

<sup>1</sup> Umfang / (2\*Hüllpolygonweite + 2\*Hüllpolygonlänge)



Abb. 26: Darstellung eines Zwischenschrittes bei der Klassifikation von Röhricht

**Legende:**

Hellblaue Schraffur: Landschilf (Feldvalidation)

Grüner Rand: Grenze der restlichen Feuchtfläche (Feldvalidation)

Blau: Einzelbäume im Offenland bzw. an der Offenlandgrenze (per „Laserscanmethode“)

Rosa: Schilf-/Hochstauden-Klassifikation (erster Klassifikationsschritt, Laserscanningauswertung, Details siehe Anhang)

Ufer-Schilf:

Ufer-Schilf findet sich an größeren Flüssen und v.a. an Seen. Naturgemäß spielen solche Bestände keine Rolle im BSG Schwäbische Alb. Diese Kategorie wurde daher nicht speziell differenziert. Als Eichung wurden Testdaten vom westlichen Bodensee (Radolfzell) verwendet. Die Klassifikation kann rein mit Laserscandaten erfolgen, wobei die Grundlage eine Selektion der „Einzel-Objektpolygone“ aus der Software „Biomass“ wie folgt ist:

```
(( "ET_Circ" > 0.7 and "Shape_Area" < 20 ) or ( "vefNgrdN" > 0.9 and "Shape_Area" < 500 ) or ( "fmean" < 2.5 and "Shape_Area" < 500 )) and ( "height" < 3.8 and "vegmax" < 3.8 )
```

mit

ET\_Circ = Circularity / fmean = Mittlere Höhe der first pulse-Reflexionen / vegmax = höchster Reflexionspunkt der Vegetation-first pulse-Datenpunkte / vefNgrdN = Quotient auf der Anzahl der Vegetation first pulse-Datenpunkte und der Anzahl der Bodenpunkte der last pulse-Datenpunkte jeweils pro Einzel-Objektpolygon.

### 3.3.6.2 Wacholderheiden (36.30)

Wacholderheiden wurden als Untergruppe der „Magerwiesen i.w.S.“ selektiert (siehe Kap. 3.3.4.1). Als wesentliches Zusatzmerkmal wurden „mittelgroße“ einzeln stehende Nadelbäume (über Laserscanning-Auswertung, siehe Nadelbaumklassifikation, Bäume < 15 m) mit einer bestimmten Minstdichte herangezogen (mindestens 15 Bäume pro Polygon und mindestens 13 Bäume pro Hektar). So konnten z.B. Magerwiesen mit Tannen- oder Fichtenpflanzungen von Wacholderheiden unterschieden werden (siehe Abb. 27). Knapp 15 % der so selektierten „Wacholderheiden“ waren tatsächlich Streuobstwiesen auf Magerwiesen. Diese wurden über den generierten Streuobstlayer ausgeschlossen.

Mehrere Wacholderheiden sind nicht flächendeckend mit Wacholder bestanden. Diese Teilbereiche wurden z.T. zunächst nicht erkannt. Durch eine Verschneidung mit alten Wacholderheiden-Biotopkartierungen, konnten diese direkt angrenzenden Magerrasen zu den Wacholderheiden hinzugefügt werden.



Abb. 27: Waldholderheiden-Klassifikation:

Grüne Punkte: Mittelgroße Wacholder: Auswahl aus Lidar-Nadelbäumen

-> 15 Wacholder/Fläche und 13 Bäume/ha wurden als Klassifikationskriterium herangezogen (innerhalb der Magerrasenmaske i.w.S.)

### 3.3.6.3 Gehölzbestände (41.00 bis 45.00)

Die Gehölze im Offenland wurden auf Grundlage der Ergebnisse des Projektes „Biomasse per Laserscan“ der Universität Hohenheim per Laserscanning-Auswertung („Laserscanmethode“) klassifiziert (siehe Kap. 3.5.5). Hierbei werden insgesamt acht Offenland-Gehölztypen unterschieden (siehe Abb. 25), die den in Tabelle 1 genannten Biototypen zugeordnet wurden:

Bevor diese einfache Übersetzung durchgeführt werden konnte, wurden alle Gehölztypen die sich mit 1,5 m Puffer überschneiden vereinigt. Einzelgehölze und Einzelgebüsche wurden dabei, sofern flächenmäßig von geringerem Umfang, den Typen Feldgehölz und Hecken zugeschlagen (siehe Abb. 28).

Tab. 3: Einordnung der Gehölztypenklasse („Laserscanmethode“) in die Biototypen  
(Näheres siehe Text)

Gehölztyp nach Laserscanmethode	Biototyp
Einzelgebüsch	Gebüsch
Einzelbaum	Einzelbaum
Streuobstbaum	Einzelbaum oder flächig als „Streuobst“
Hecke	Feldhecke
Baumhecke	Feldhecke/Feldgehölz/Wald
Niedriges Feldgehölz	Feldgehölz/Gebüsch
Hohes Feldgehölz	Feldgehölz
Waldinsel	Feldgehölz/Wald
Wald	Wald/Feldgehölz

Danach war aufgrund der Neubildung von Gehölzpolygonen eine erneute komplette Attributierung bezüglich der Strukturparameter notwendig. Anschließend wurden die gehölzartigen Biototypen in der dargestellten Reihenfolge wie folgt selektiert

Feldgehölz: ("Biototyp" = 'Feldhecke' and "Max\_height"\* > 6) or "Biototyp" is Null\*

Feldhecke: "LaenBrei"\* >= 2.5 or ( "LaenBrei" >= 2 and "Shape\_Area" > 400)

Gebüsch: "Max\_height" <= 6 and "LaenBrei" < 2.5

Einzelbaum: "Shape\_Area" < 400 and "Max\_height" > 6 and "LaenBrei" < 2.5

Zusätzlich galten als Unter- bzw. Obergrenze des Flächenumfanges: 100 bis 2.000 m<sup>2</sup>

\*mit

Max\_height = maximale Höhe der Gehölzgruppe / „Biototyp“ is Null = Gehölztyp wurde noch nicht klassifiziert oder als gesetzliches Biotop kartiert / LaenBrei = Längenbreitenverhältnis

Einige wenige, v.a. größere Feldgehölze (laut Biotopkartierung 2012), die nach der Laserscanmethode entweder als Waldinseln oder Wald klassifiziert worden waren, wurden unverändert in das Endergebnis übernommen. Dazu mussten zunächst alle kartierten Biotope mit den Laserscanmethoden-Gehölztypen verschnitten werden. Alle Polygone die sich überwiegend nicht in der Gehölzdatenbank befanden wurden übernommen. Überschneidungen wurden durch ein Joinen dieser fehlenden Biotope an die vorhandenen Gehölztypen und anschließendes Löschen dieser verhindert. Dieser Vorgang war GIS-technisch aufwendig.

Alternativ hätten die zunächst als Wald definierten Offenland-Biotope an Stelle der Polygone der Biotopkartierung herangezogen werden können. Aufgrund des gesetzlichen Status der gesetzlichen Biotopgrenzen und der relativ hohen Genauigkeit der Digitalisierung dieser (2012 deutlich besser wie die alte Kartierung in den 90er-Jahren) wurde dies verworfen.

Ein achter (seltener) Gehölztyp „Waldinseln“ wurde per Luftbild manuell zugeordnet, um eine möglichst sichere Trennung von Wald und Offenland zu erreichen. Es gibt hier keine fixen strukturellen Abgrenzungsmöglichkeiten innerhalb der Biotopkartierungsanleitung (LUBW 2009).

Ein Versuch mittels Solareinstrahlung und Exposition die Hecken und Feldgehölze in wärmeliebende Typen zu unterscheiden erwies sich als nicht plausibel.

Die Streuobstbäume, die in Streuobstbeständen flächig stehen, wurden als Überschraffur als „Streuobstflächen“ definiert und anschließend die Streuobsteinzelbäume aus dem Klassifikationsergebnis entfernt. Hierzu wurden alle Flurstücke mit mindestens 25 Streuobstbäumen sowie der BasisDLM-Streuobstlayer vereinigt und anschließend per Luftbild korrigiert (aufgrund der großen Zeitdifferenz der beiden Datenquellen und unterschiedlichen geometrischen Genauigkeit).

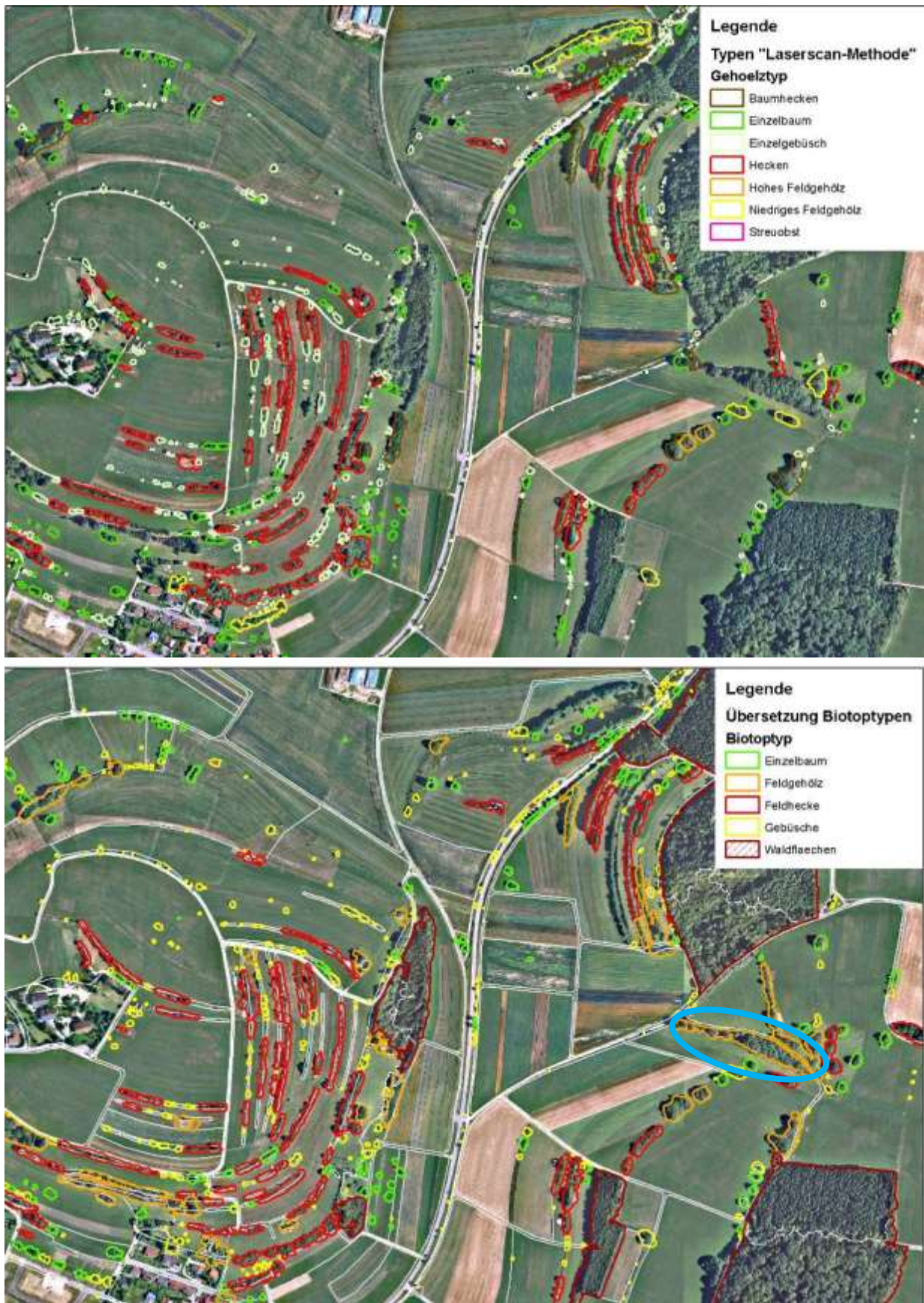


Abb. 28: Klassifizierung von Offenland-Gehölzen nach „Laserscan-Methode“ (oben) und deren Übersetzung in Biotypen (unten, inkl. Integration der Biotopkartierung 2012, Bsp. siehe blaues Oval / und mit Darstellung der Biotopgrenzen des Endresultates = weiß)

### 3.3.6.4 Wälder (52.00 bis 59.50)

#### **Waldabgrenzung**

Die Waldabgrenzung erfolgte als Fusion von „Laserscanning-Wald“ und BasisDLM-Wald. Im per Laserscanning abgegrenzten Wald sind junge Aufforstungen nur teilweise enthalten, daher war diese Fusion notwendig.

Zusätzlich wurden die gewässerbegleitenden Auwälder/Auwaldstreifen aus der Biotopkartierung hinzugenommen. Hierbei wurden massive Unterschiede zwischen der ersten und zweiten Biotopkartierung festgestellt, die nicht auf die Kartieranleitung zurückgeführt werden konnten. Daher wurden alle per Laserscanningauswertung fließgewässerbegleitenden Baumhecken und Hohen Feldgehölze händisch per Luftbild kontrolliert und ggf. als Auwald klassifiziert.

Als Parkwald wurden alle innerhalb der BasisDLM (ATKIS)-Siedlungen liegenden Gehölze (Baumhecken, Hohe Feldgehölze, Waldinsel laut Laserscan-Methode) ab 10000 m<sup>2</sup> Größe definiert (bezogen auf den geometrischen Mittelpunkt der Gehölze). Da Parkwald i.d.R. aus mehreren einzelnen, locker stehenden Gehölzgruppen besteht, wurde die 1 ha-Grenze auf die umfasste Fläche innerhalb der Flurstücke bezogen, d.h. offensichtlich zum „Parkwald“ gehörende Grünlandinsel wurden dem Parkwald zugeschlagen.

#### **Waldsegmentierung und geometrische Abgrenzung**

Da die Waldsegmentierung der Forstinventur aufgrund der häufig unnatürlichen Segmente nicht verwendet wurde, wurden die Waldflächen mittels des JSEG-Algorithmus (DENG Et al., 1999) unterteilt (spektral auf Basis der RapidEye-Satellitendaten). Parallel wurden die per Laserscanning-Methode klassifizierten Nadelbäume nach leichter Pufferung fusioniert. Alle Nadelbaumsegmente ab 2.000 m<sup>2</sup> wurden in die JSEG-Segmente eingefügt (siehe Abb. 29; Splitterflächen wurden bereinigt durch Fusion mit Nachbarsegmenten mit der längsten gemeinsamen Grenze).



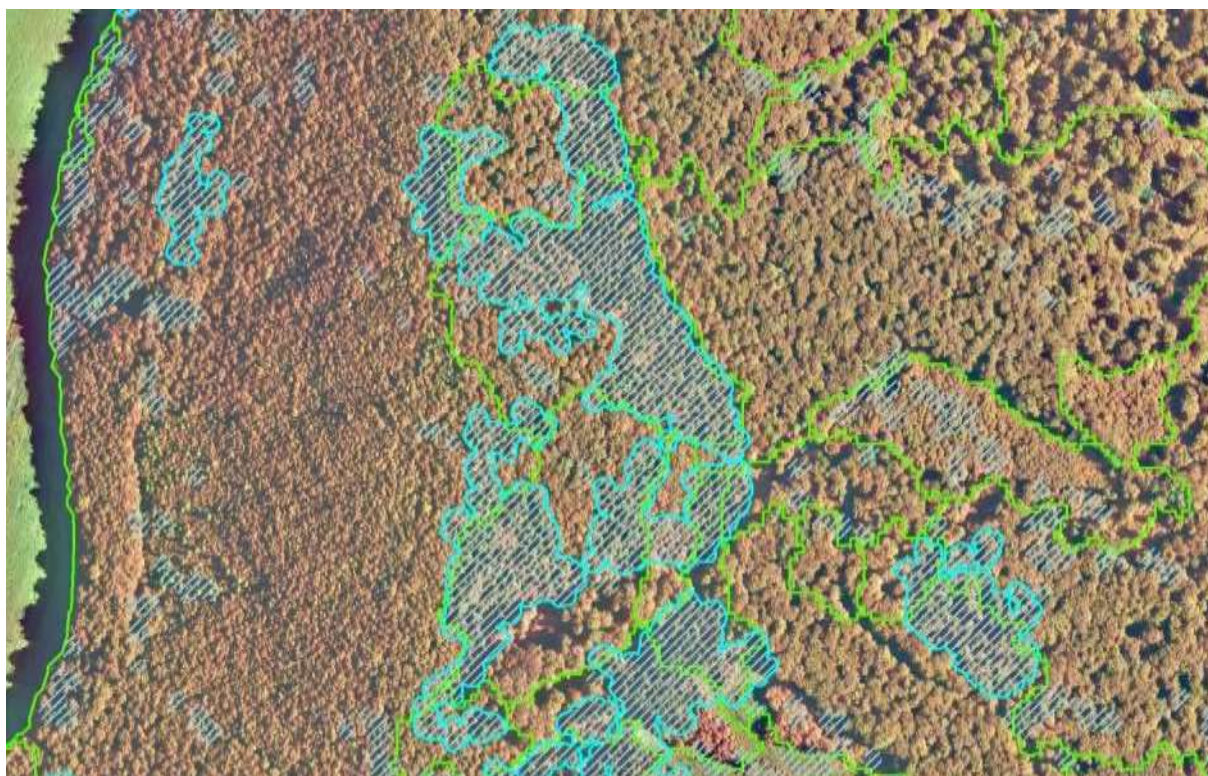


Abb. 29: Fusion von JSEG-Segmenten (grün) mit den Nadelbaumflächen (schraffiert, + blau umrandet: > 2.000 m<sup>2</sup>)

Bei der Integration von geometrischen Abgrenzungen, laut Waldbiotopkartierung oder MAPs, wurde zunächst versucht die zuvor generierten Waldsegmente zu übernehmen. Ergaben sich hier Abweichungen von über 20 %; wurde die Abgrenzung händisch korrigiert. Fielen die Waldbiotop- oder LRT-Polygone komplett in ein Waldsegment, wurden diese unverändert übernommen („reingeschnitten“).

### **Waldklassifikation**

Für jedes Waldsegment wurde der Anteil der Nadelbäume bestimmt (< 10 %, 10-90 % und > 90%). Diese Klassifikation wurde in die Sammelbiotoptypen „Laubwald“, „Mischwald“ und „Nadelwald“ als minimale Klassifikationstiefe definiert.

Trockenwarme Waldbiotoptypen wurden über einen eigenen Klassifikationsalgorithmus bestimmt, der die Exposition und Jahressonneneinstrahlung berücksichtigt (kontrolliert mit der Waldbiotopkartierung).

Bei den Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwald frischer bis feuchter Standorte wurden die LRT-Kartierungen zweier MAPs integriert.

Sämtliche weiteren Waldbiotoptypen entstammen der Waldbiotopkartierung bzw. bei den gewässerbegleitenden Auwäldern, der neuen Offenland-Biotopkartierung.

Die Waldbaumzusammensetzungen laut Forsteinrichtung im Staatswald wurden für die Klassifikation nicht verwendet, da die Waldsegmente dort uneinheitlich und oft nicht natürlich

gestaltet sind. Eine Übernahme hätte das Klassifikationsergebnis verbessert. Der Aufwand dafür wäre aber sehr hoch gewesen, da jedes Polygon getrennt beurteilt hätte werden müssen.

### 3.4 Datenfusion

Datenfusion im fernerkundlichen Sinne wurde für einige Biotoptypen genutzt (siehe Kap. 3.5.5). Dabei wurden Ecognition-Segmentierungen und Klassifikationsergebnisse basierend auf IRGB-Szenen (RapidEye) mit Klassifikationsergebnissen von Laserscanningauswertungen (auf Polygonebene) regelbasiert verschnitten. Dies erfolgte im Programm ESRI ArcGIS 10.1./10.2. Eine simultane Datenfusion wie es im Programm Trimble Ecognition möglich ist, war nicht sinnvoll, weil den Laserscanning-Daten eine eigenständige Softwarelösung seitens der Universität Hohenheim zur Verfügung stand („Biomass“).

Im größeren Umfang wurden, wie bereits beschrieben, verschiedene GIS-Daten fusioniert. Eine besondere Herausforderung war zusätzlich die Fusion der Einzelklassifikationsergebnisse der Projekt-intern erstellten Polygone. Diese erfolgte mit üblichen GIS-technischen Fehlerbereinigungstechniken und zusätzlichen aufwendigen manuellen Luftbildkontrollen. In den meisten Fällen wurde als zulässige Einzelpolygon-Flächengröße ein Umfang von 200 m<sup>2</sup> erlaubt.

Nach Abschluss des fernerkundlichen Teils standen 2013 die Ergebnisse der Biotopkartierung 2012 zur Verfügung. Die im Einzelnen direkt oder nach Kontrolle bzw. Fusion übernommenen Biotoptypengeometrien sind im Anhang aufgeführt. Punktförmige Biotoptypen oder „unterständige“ Biotoptypen, wie z.B. Höhlen sowie einige Biotoptypen der Krautschicht, die im Wald liegen, wurden nicht übernommen.

### 3.5 Validation

Die nachfolgende Darstellung der Fehlerbewertung ist der Arbeit von Kathrin Wiedmann entnommen (WIEDMANN 2012):

Nach LILLESAND et al. (2008) ist eine Klassifikation ohne eine anschließende Bewertung ihrer Genauigkeit, dem *Accuracy Assessment*, nicht vollständig. Die Evaluierung des Klassifikationsergebnisses gibt Aufschluss über die erreichte Güte der Klassifikation. Somit bietet sie dem Bearbeiter bei einer niedrigen Genauigkeit die Möglichkeit, das Ergebnis für eine Klasse durch Änderung der Zugehörigkeitsfunktionen und Merkmale zu verbessern.

Das Ergebnis der Klassifikationsgüte kann als Klassifikationsstabilität (*Classification Stability*), bestes Klassifikationsresultat (*Best Classification Result*) und als Fehlermatrix (*Error Matrix*) ausgegeben werden.

Bei der Bewertung der Klassifikationsstabilität wird die Differenz zwischen bestem und zweitbestem Zugehörigkeitswert in Prozent berechnet (TRIMBLE 2011b). Sie gibt an, wie zuverlässig die Klassifikation im Vergleich zu einer anderen Klassenzuweisung ist (HAARMANN 2001). Als Output wird eine Tabelle erstellt, welche die statistischen Werte des Vergleichs enthält. Hierunter fallen die Anzahl der Objekte, der Mittelwert, die Standardabweichung sowie der Minimum- und Maximumwert für jede Klasse. Darüber hinaus kann das Ergebnis auch graphisch dargestellt werden.

Im Rahmen des besten Klassifikationsresultats wird der größte Zugehörigkeitswert, demnach das beste Klassifikationsergebnis, für jede Klasse statistisch bewertet (TRIMBLE 2011b). Als Output erhält man ebenfalls eine graphische Darstellung oder eine Tabelle, welche die oben genannten Werte enthält.

Die Bewertung der Klassifikationsgüte erfolgt allgemein am häufigsten anhand einer Fehlermatrix. Eine Konfusions- oder Fehlermatrix vergleicht die Beziehung zwischen Klassifikationsergebnis und bekannten Referenzdaten, sogenannten *Ground Truth*-Daten (LILLESAND et al 2008). Für zufällig ausgewählte Pixel wird die Klassenzugehörigkeit mit ihrer Klasse aus den Referenzdaten verglichen (LEUKERT 2005). In der Konfusionsmatrix werden in den Spalten die Landnutzungsklassen aus den Trainingsdaten und in den Reihen die jeweilige Anzahl zugehörig klassierter Pixel aufgelistet (siehe Abb. 30).

		<i>Ground Truth-Daten</i>				
		Landnutzungs-klasse	1	2	3	
Klassifikation	1					richtig klassifizierte
	2					commission error
	3					omission error

Abb. 301: Beispiel für eine Fehlermatrix (Eigene Darstellung nach EGGER 2008)

Pixel, die der richtigen Landnutzungs-klasse zugewiesen wurden stehen in der Hauptdiagonalen, welche vom linken oberen Ende bis zum rechten unteren Ende der Matrix verläuft (LILLESAND et al. 2008). Die übrigen Pixel stellen Klassifikationsfehler dar. Hierbei kann es sich entweder um Pixel handeln, die einer anderen Klasse zugewiesen wurden (Zurechnungsfehler, *commission error*) oder welche bei der Klassifikation nicht von ihrer Klasse erkannt wurden (Weglassungsfehler, *omission error*) (EGGER 2008).

Mit eCognition kann die Konfusionsmatrix basierend auf den Samples oder einer TTA (*Test and Training Area*)-Maske erstellt werden. Bei beiden dient ein Teil der Testflächen als Referenz für die Bestimmung der Klassifikationsgüte. Um eine objektive Beurteilung der Klassifikationsgenauigkeit vornehmen zu können, sollen die Referenzflächen nicht mit den ausgewählten Trainingsgebieten (*Samples*) übereinstimmen (WERNER 2002, DIETSCHKE 2007). Bei den Referenzflächen (*test areas*) handelt es sich um, für die jeweilige Landnutzungs-klasse, repräsentative und einheitliche Gebiete, die meist großflächiger sind als die Trainingsgebiete (LILLESAND et al. 2008).

Aus der Konfusionsmatrix lassen sich weitere Maße zur Bewertung der Klassifikationsgüte ableiten:

#### **Overall accuracy (Gesamtgenauigkeit):**

Die Gesamtgenauigkeit gibt die Zahl richtig klassifizierter Pixel in Prozent an (LEUKERT 2005).

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\text{Summe richtig klassifizierter Pixel}}{\text{Gesamtanzahl der Referenzpixel}}$$

Die Zurechnungs- und Weglassungsfehler werden jedoch nicht berücksichtigt (EGGER 2008).

Für die Bewertung der Qualität einzelner Objektklassen können die *User`s* und *Producer`s Accuracy* sowie der Kappa-Index herangezogen werden (LEUKERT 2005).

***Producer`s accuracy (Herstellergenauigkeit):***

Die Herstellergenauigkeit trifft eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Referenzpixel der richtigen Klasse zugewiesen wurde (DIETSCHKE 2007). Sie bewertet somit die Übereinstimmung von klassifizierten Pixeln und den Referenzdaten (LILLESAND et al. 2008).

$$\text{Producer`s accuracy} = \frac{\text{richtig klassifizierte Pixel einer Klasse}}{\text{Gesamtanzahl der Referenzpixel für diese Klasse}}$$

Pixel, die fälschlicherweise einer anderen Klasse zugewiesen wurden, werden nicht berücksichtigt (EGGER 2008).

***User`s accuracy (Nutzergenauigkeit):***

Die Nutzergenauigkeit gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein Pixel seiner richtigen Klasse zugewiesen wurde (LILLESAND et al. 2008). Sie bewertet somit den Zurechnungsfehler.

$$\text{User`s accuracy} = \frac{\text{richtig klassifizierte Pixel einer Klasse}}{\text{Gesamtanzahl der klassifizierten Pixel in dieser Klasse}}$$

***Kappa-Koeffizient (Kappa Index of Agreement, KIA):***

Der Kappa-Index bewertet den Unterschied zwischen Klassifikationsergebnis und Referenzdaten (LILLESAND et al. 2008). Der Koeffizient eliminiert eine zufällige Übereinstimmung zwischen Pixel und Referenzdaten und gibt an, wie gut sich das Klassifikationsergebnis von einer rein zufälligen Klassifikation unterscheidet (KÜHN 2002, EGGER 2008). Bei einer hundertprozentigen Übereinstimmung zwischen Klassifikation und Referenzdaten nimmt der Kappa-Index einen Wert von Eins an (LEUKERT 2005).

$$\text{Kappa Index} = \frac{\text{Genauigkeit} - \text{zufällige Zuweisung}}{1 - \text{zufällige Zuweisung}}$$

### Validation der Grünlandklassifikation

Für die Grünlandklassen wurden nach Abschluss der Klassifikation jeweils die *user's* und die *producer's* accuracy berechnet. Dafür wurden folgende Referenzflächen verwendet: Validierungsflächen (siehe Kap. 2.1) und zusätzliche Validierungsflächen im Rahmen einer Masterarbeit (Wiedmann 2012).

Tab. 4: Referenzflächen zur Fehlerbewertung der Grünlandklassifikation

<b>Biotoptyp</b>	<b>Verwendete Einzelpolygone*</b>
Nasswiesen, Großseggen, feuchte Hochstauden und Dominanzbestände	235
Landschilf/Röhricht	40
Magerrasen	291
Wirtschaftswiesen mittlerer Standorte	584
Intensivgrünland	112

\*: Mehrere Einzelpolygone bilden eine Biotopfläche

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Grünlandklassifikation

Die Anleitung zur Erfassung, Bewertung und Beschreibung von Biotoptypen in Baden-Württemberg der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW 2009) listet in den vier Biotopgruppen 33.00 (Wiesen und Weiden), 34.00 (Tauch- und Schwimmblattvegetation, Quellfluren, Röhrichte und Großseggenriede), 35.00 (Saumvegetation, Dominanzbestände, Hochstauden- und Schlagfluren, Ruderalvegetation) und 36.00 (Heiden-, Mager-, Sand- und Trockenrasen) 25 Grünlandbiotoptypen auf. Angestrebt war die Erfassung der vier genannten Biotopgruppen und sofern möglich die Klassifikation der 25 Biotoptypen mit Fernerkundungsmethoden.

Die Klassifikation der Grünlandbiotoptypen lässt sich in vier Kategorien aufgliedern, die durch die Anwendung eines einheitlichen methodischen Vorgehens bei der Klassifikation charakterisiert sind (siehe auch Methodenteil).

#### Kategorie A

Bei Biotoptypen der Kategorie A handelt es sich um Typen, die durch die Zusammenstellung der im Kap. 3.1 und 3.2 beschriebenen GIS Maske sowie durch das Einbeziehen der offiziellen Biotopkartierung des Biosphärengebiets im Jahre 2012 (bzw. der Waldbiotopkartierung aus den 90er Jahren) klassifiziert wurden. Diese Biotoptypen wurden fernerkundlich nicht weiter untersucht, sondern sie wurden aus den GIS Daten in die Endklassifikation übernommen. Teilweise war auf der Grundlage der GIS Daten eine Differenzierung von Biotopuntertypen möglich.

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Biotoptypen und -untertypen, die aus der GIS Maske übernommen wurden. Tabelle 6 listet die Biotoptypen und -untertypen auf, die aus der offiziellen Biotopkartierung des Biosphärengebiets im Jahre 2012 stammen.

Tab. 5: Gegenüberstellung der Grünlandklassen in der GIS Maske und ihre Zuordnung zu den Biotoptypen und -untertypen der Klassifikation

<b>Grünlandklasse in der GIS Maske</b>	<b>Biotoptyp/-untertyp der Klassifikation</b>
Weiden	Weiden mittlerer Standorte (33.50)
Artenreiche Mähwiesen, Mähwiesen, Extensivwiesen, Artenreiche Wiesen	Magerwiese mittlerer Standorte (33.43)
Artenreiche Mähwiesen Weide, Artenreiche Weide & Mähwiesen Weide, Beweidete Heide	Magerweide mittlerer Standorte (33.51)

Tab. 6: Gegenüberstellung der Biotoptypen und -untertypen der Biotopkartierung der LUBW (2012) und ihre Zuordnung zu den Biotoptypen und -untertypen der Klassifikation

<b>Biotoptyp/-untertyp der Biotopkartierung von 2012 (LUBW)</b>	<b>Biotoptyp/-untertyp der Klassifikation</b>
Naturnahe Quellen (11.10)	Naturnahe Quellen (11.10)
Sturz- oder Fließquelle (11.12)	Sturz- oder Fließquelle (11.12)
Karstquelltopf (11.14)	Karstquelltopf (11.14)
Anthropogen freigelegte Felsbildung (21.12)	Anthropogen freigelegte Felsbildung (21.12)
Anthropogene Gesteins- oder Erdhalde (21.40)	Anthropogene Gesteins- oder Erdhalde (21.40)
Doline (22.20)	Doline (22.20)
Hohlweg (23.10)	Hohlweg (23.10)
Steinriegel (23.20)	Steinriegel (23.20)
Trockenmauer (23.40)	Trockenmauer (23.40)
Waldfreier Sumpf (32.30)	Waldfreier Sumpf (32.30)
Schachtelhalm-Sumpf (32.32)	Schachtelhalm-Sumpf (32.32)
Pfeifengrasstreuwiese (33.10)	Pfeifengrasstreuwiese (33.10)
Kleinröhricht (34.40)	Kleinröhricht (34.40)
Teichsimen-Röhricht (34.54)	Teichsimen-Röhricht (34.54)
Steifseggen-Ried (34.61)	Steifseggen-Ried (34.61)
Schlankseggen-Ried (34.63)	Schlankseggen-Ried (34.63)
Blasenseggen-Ried (34.66)	Blasenseggen-Ried (34.66)
Flügelginsterweide (36.42)	Flügelginsterweide (36.42)
Steinsamen-Traubeneichen-Wald (53.11)	Steinsamen-Traubeneichen-Wald (53.11)
Hainsimsen-Buchen-Wald (55.12)	Hainsimsen-Buchen-Wald (55.12)

**Anmerkung:**

Die Biotoptypenkartierung wurden 1 : 1 übernommen (auch Kleinstflächen), damit keine Differenzen auftreten, die einen Nutzer beider Datenquellen irritieren würde.



### Kategorie B

Kategorie B umfasst alle Grünlandbiotoptypen, die mittels spektraler Fernerkundung auf der Grundlage der unter 3.1/3.2 beschriebenen GIS Maske erfasst wurden. Das methodische Vorgehen zur Ableitung der einzelnen Klassen ist unter 3.3.4 beschrieben. Die in Tabelle 7 dargestellten Biotoptypen konnten auf der Grundlage spektraler Klassifikation abgeleitet werden. Feuchte und nasse Grünlandbiotoptypen wurden in einer Klasse aggregiert, da sie im Biosphärengebiet zu den eher seltenen Typen gehören und spektral sehr ähnlich sind. Wirtschaftswiesen mittlerer Standorte (33.40) stellen eine Hybridform von Kategorie A und B dar, da sie einerseits aus den GIS Daten direkt übernommen wurden, andererseits dadurch gebildet wurden, dass alle anderen Grünlandklassen sowie fehlklassifizierte Ackerflächen (und bestimmte Gehölztypen wie Streuobst und das Agglomeration Baumhecken/ Gewässerbegleitende Auwälder) in der Grünlandmaske nach der Klassifikation räumlich abgezogen wurden.

Tab. 7: Spektral erfasste Grünlandbiotoptypen

<b>Grünlandbiotoptypen, die mit spektraler Fernerkundung erfasst wurden</b>
Nasswiese (33.20)*, Quellflur (34.30)**, Großseggenried (34.60)*, Dominanzbestand (35.30)**, Hochstaudenflur (35.40)*
Intensivgrünland oder Grünlandansaat (33.60)
Magerrasen basenreicher Standorte (36.50)
Wirtschaftswiesen mittlerer Standorte (33.40/33.00)***

\*: kombinierte Klasse

\*\* : im Endergebnis entfernt, da die meisten Flächen < 2000 m<sup>2</sup> und damit unter der mit RapidEye-Daten sinnvoll abgrenzbaren Flächengröße

\*\*\*: Sonderfall: siehe Erläuterung Kategorie B und 3.3.4

### Kategorie C

Die Grünlandbiotoptypen in Kategorie C wurden auf der Grundlage der GIS Daten mit einer Mischung aus spektraler Fernerkundung und Laserscanning klassifiziert. Sie umfassen einerseits die Röhrichte (34.50) und andererseits die Wacholderheiden (36.30).

### Kategorie D

In Kategorie D sind alle Grünlandbiotoptypen aufgelistet, die fernerkundlich nicht differenziert werden konnten oder die im Biosphärengebiet nicht vorkommen. Biotoptypen die nicht klassifiziert werden konnten, zeichnen sich durch extreme Seltenheit im Biosphärengebiet aus (z.B. Kleinröhricht) oder durch schmale, langgestreckte Geometrien und Abschattung durch Bäume (z.B. Saumvegetation oder Ruderalvegetation). Tabelle 8 gibt eine Übersicht der Grünlandbiotoptypen in Kategorie D.

Tab. 8: Grünlandbiotoptypen, die a) fernerkundlich nicht erfasst werden konnten oder b) im Biosphärengebiet nicht vorkommen.

<b>a) Grünlandbiotoptypen, die fernerkundlich nicht erfasst werden konnten</b>	
34.10	Tauch- und Schwimmblattvegetation
34.40	Kleinröhricht
35.10	Saumvegetation mittlerer Standorte
35.20	Saumvegetation trockenwarmer Standorte
35.50	Schlagflur
35.60	Ruderalvegetation
<b>b) Grünlandbiotoptypen, die im Biosphärengebiet nicht vorkommen</b>	
33.30	Flutrasen
34.20	Vegetation einer Kies-, Sand- oder Schlammbank
36.10	Feuchtheide
36.20	Zwergstrauch- und Ginsterheide

### Validation der Grünlandklassifikation

Die Validation der Grünlandklassifikation erfolgte Klassenweise mittels der Berechnung der *producer`s* und *user`s accuracy* und führte zu nachfolgend dargestellten Ergebnissen:

Tab. 9: Klassenweise Berechnung der *producer`s* und *user`s accuracy* der Grünlandklassifikation

<b>Biotoptyp</b>	<b>Biotoptyp Nr.</b>	<b>Producer`s Accuracy</b>	<b>User`s Accuracy</b>
Nasswiesen, Groß-seggen, feuchte Hochstauden und Dominanzbestände	33.20, 34.60, 35.41, 35.42	75%	74%
Landschilf/Röhricht	34.50	80%	94%
Magerrasen	36.50	79%	83%
Wirtschaftswiesen mittlerer Standorte	33.40	89%	77%
Intensivgrünland	33.60	41%	63%

Das bedeutet beispielsweise beim Magerrasen liegt der Anteil fehlklassifizierter Flächen innerhalb der Klasse bei 17%. Anders formuliert sind 17% als Magerrasen klassifiziert worden ohne dass es sich dabei tatsächlich um Magerrasen handelt.

Die *producer`s accuracy* gibt hingegen über den Anteil an Referenzflächen Auskunft, die mit einer anderen Klasse übereinstimmen. Oder anders formuliert, die nicht von der Klasse Magerrasen erkannt wurden. D.h. 21% der Magerrasenreferenzflächen stimmen in der Klassifikation mit einer anderen Klasse als der Magerrasenklasse überein.

## 4.2. Gehölzklassifikation

Das Klassifikationsergebnis der Offenland-Gehölze zeigt Abbildung 31. Die dort zunächst strukturell gewählten Gehölztypen wurden übersetzt in die Biotoptypen: (Naturraum- oder standortsfremde) Feldhecke, Gebüsche, Alleen, Baumreihen, Baumgruppen, Einzelbäume und Streuobstbestände. Als naturfern werden Nadelbaumeinmischungen über 30 % definiert sowie Alleen als beidseitige Einzelbäume entlang von Straßen (max. 3 m entfernt), sofern mindestens fünf weitere Einzelbäumen im Umfeld von 30 m stehen.

Insgesamt wurden im Biosphärengebiet 1,8 Millionen Einzelbäume inklusive Waldflächen differenziert (Bsp. siehe Abb. 32). Diese verteilen sich in aggregierte Form auf 126260 Gehölzbiotope (siehe Abb. 31b; zum Vergleich: zweiter Durchgang der Kartierung geschützter Offenlandbiotope: 3401 gehölzdominierte Biotope).

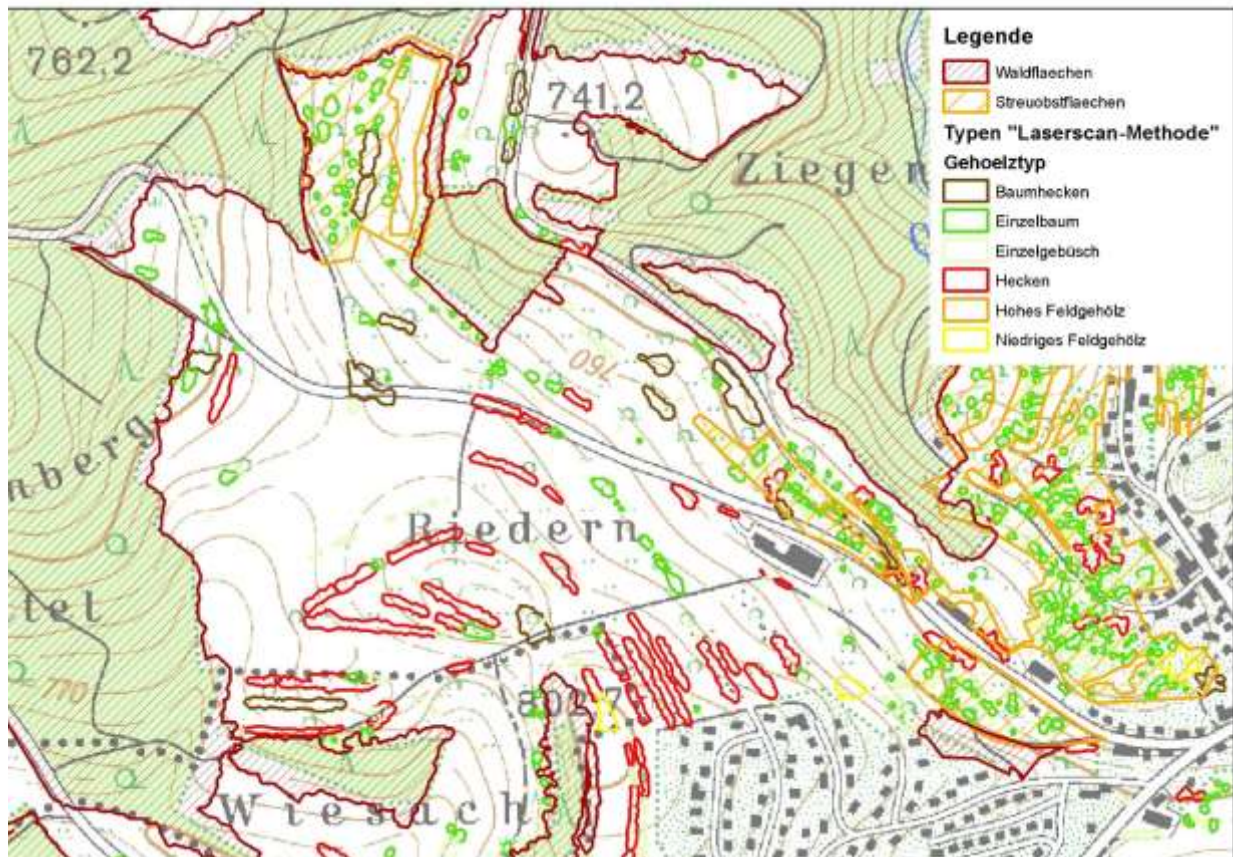


Abbildung 31a: Beispiel für die Gehölzklassifikation – Zwischenschritt ohne kleine Gehölze.



Abb. 31b: Beispiel für die fertiggestellte Gehölzklassifikation in Detaildarstellung (wie 31a: aber eingebettet in das Gesamtergebnis, aggregiert und in Biotoptypen übersetzt)

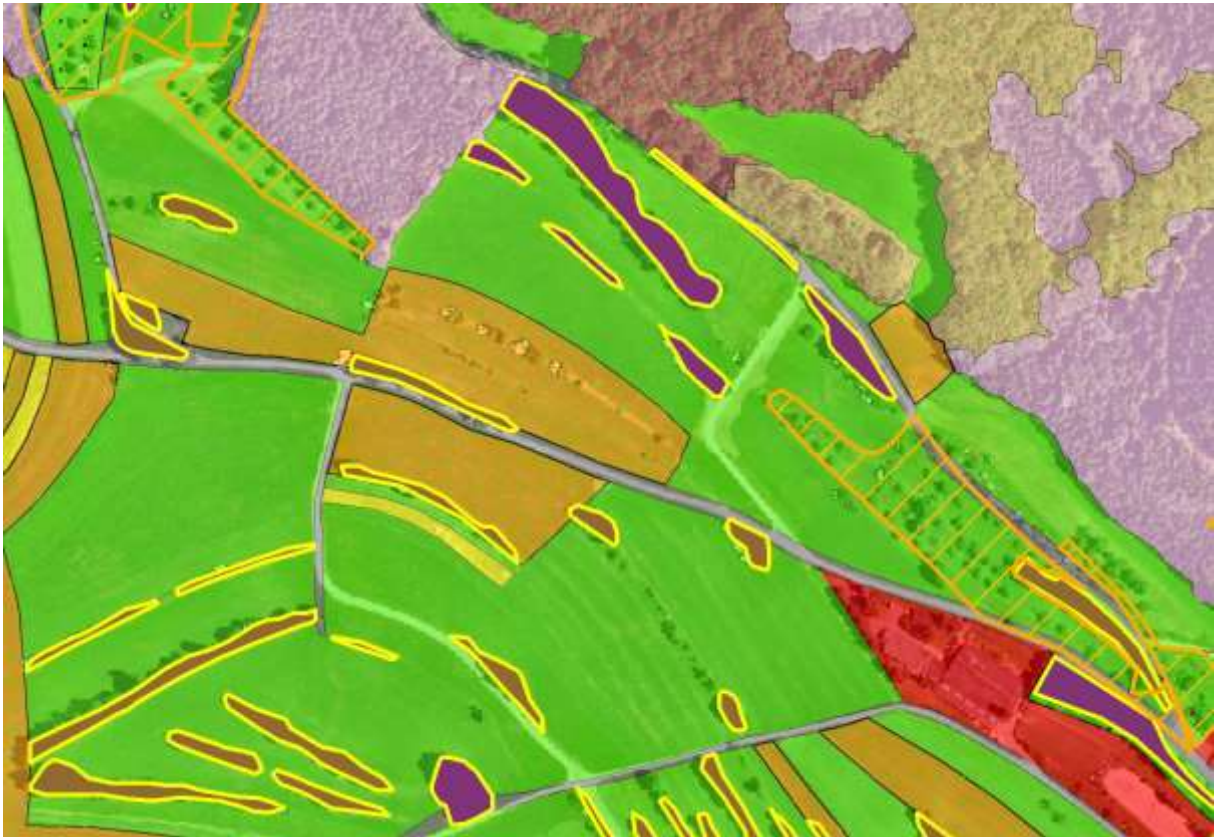


Abb. 31c: Beispiel für die fertiggestellte Gehölzklassifikation (gelb umrandet) in aggregierter Form: Die Gehölze werden als Übersignatur dargestellt; Streuobstbereiche sind herausgenommen worden, die diese bereits als Flächensignatur generiert wurden (orangene Schraffur). Einzelbäume und kleine Einzelbüsche erscheinen nicht mehr, da diese zu keinem Biotoptyp zugeordnet werden können (es gibt keinen entsprechenden Biotoptyp).



Abb. 32: Beispiel für die Abgrenzung von Gehölztypen mit Einblendung der kompletten Einzelbaumdelineierung (weiße Umrisse). Artefakte, wie die hier sichtbare Stromleitung, wurden mit einem Selektionsalgorithmus nahezu vollständig entfernt.

### Exkurs: Analyse der Landschaftsstruktur

Im Folgenden werden am Beispiel der Gehölzausstattung im Offenland die Unterschiede zwischen den drei Naturräumen im BSG illustriert. In Abbildung 33 wird zunächst auf Grundlage der Hauptnutzungen (ATKIS, InVeKoS) deutlich, dass das "Vorland mittlere Schwäbische Alb" im Vergleich zur Mittleren Kuppenalb und Flächenalb sehr dicht besiedelt ist: Gut 19 % der Gesamtfläche sind Siedlung im Vergleich zu 6 bzw. 4 % (vergl. Tab. 10). Der Grünlandanteil nimmt von Nord nach Süd deutlich ab (von 50 % auf 23 %).

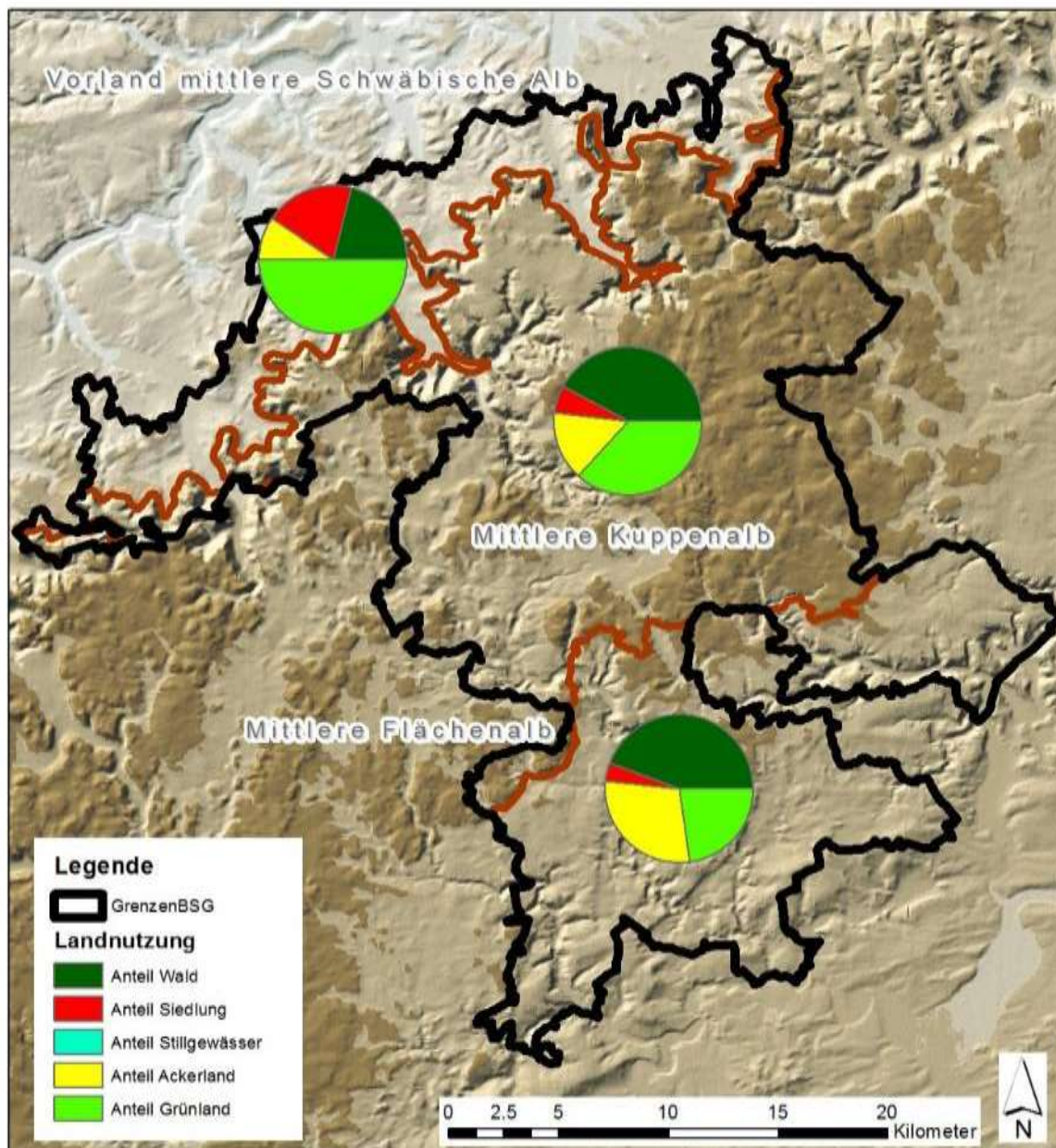


Abbildung 33: Verteilung der Landnutzung in den drei Naturräumen (4. Ordnung) -  
Datenquellen: ATKIS/InVeKoS

Tab. 10: Prozentuale Verteilung der Landnutzung in den drei Naturräumen (4. Ordnung) -  
Datenquellen: ATKIS/InVeKoS

	Anteil [%]		
	Vorland mittlere Schwäbische Alb	Mittlere Kuppenalb	Mittlere Flächenalb
Ackerland	9.6	15.1	28.8
Grünland	50.0	36.8	22.8
Wald	21.0	42.1	44.4
Siedlung	19.3	6.0	4.0
Stillgewässer	0.12	0.02	0.01

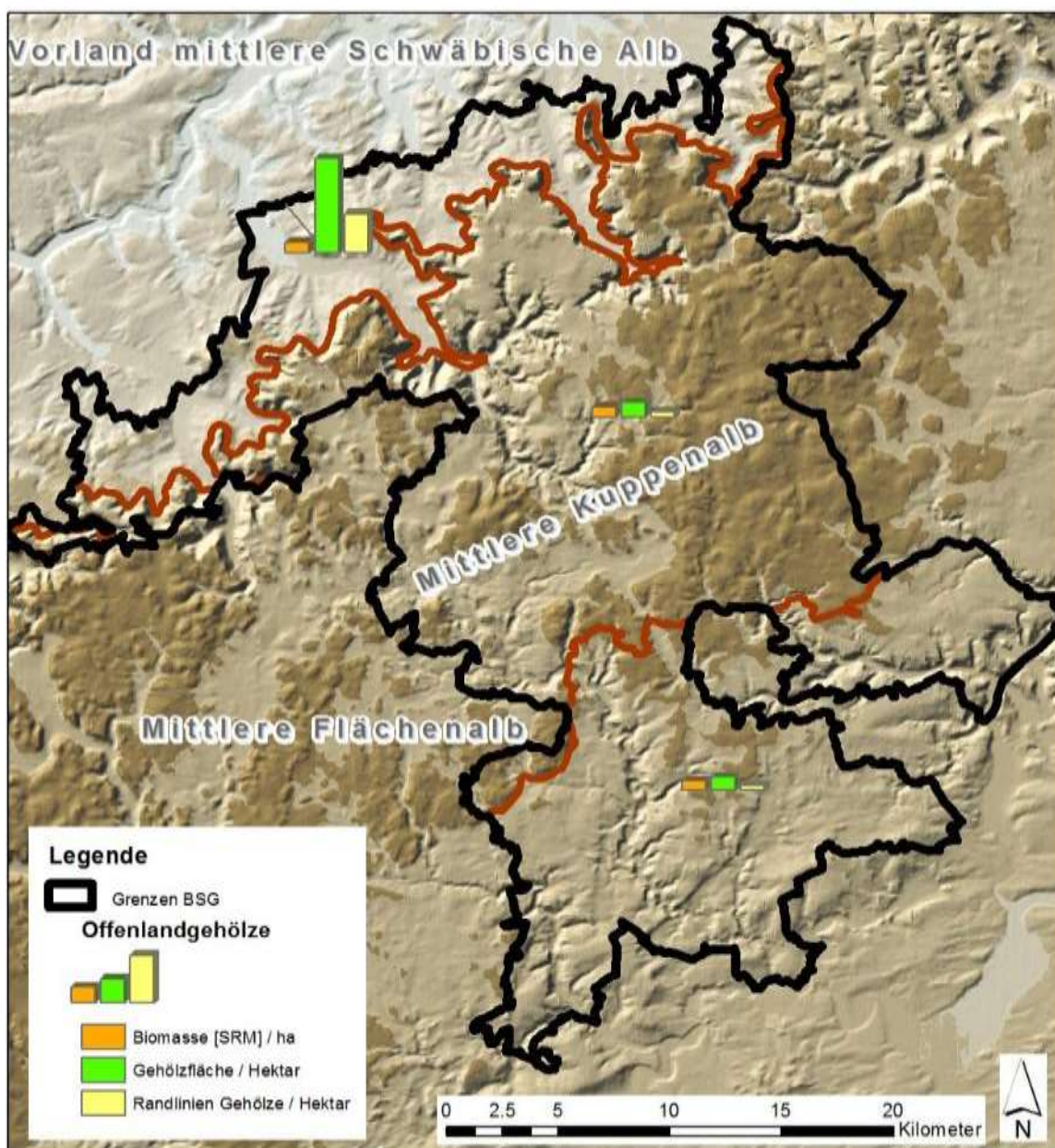


Abb. 34: Biomassedichte, Gehölzflächenanteil am Offenland und Randlängendichte der Offenlandgehölze in den drei Naturräumen des BSG

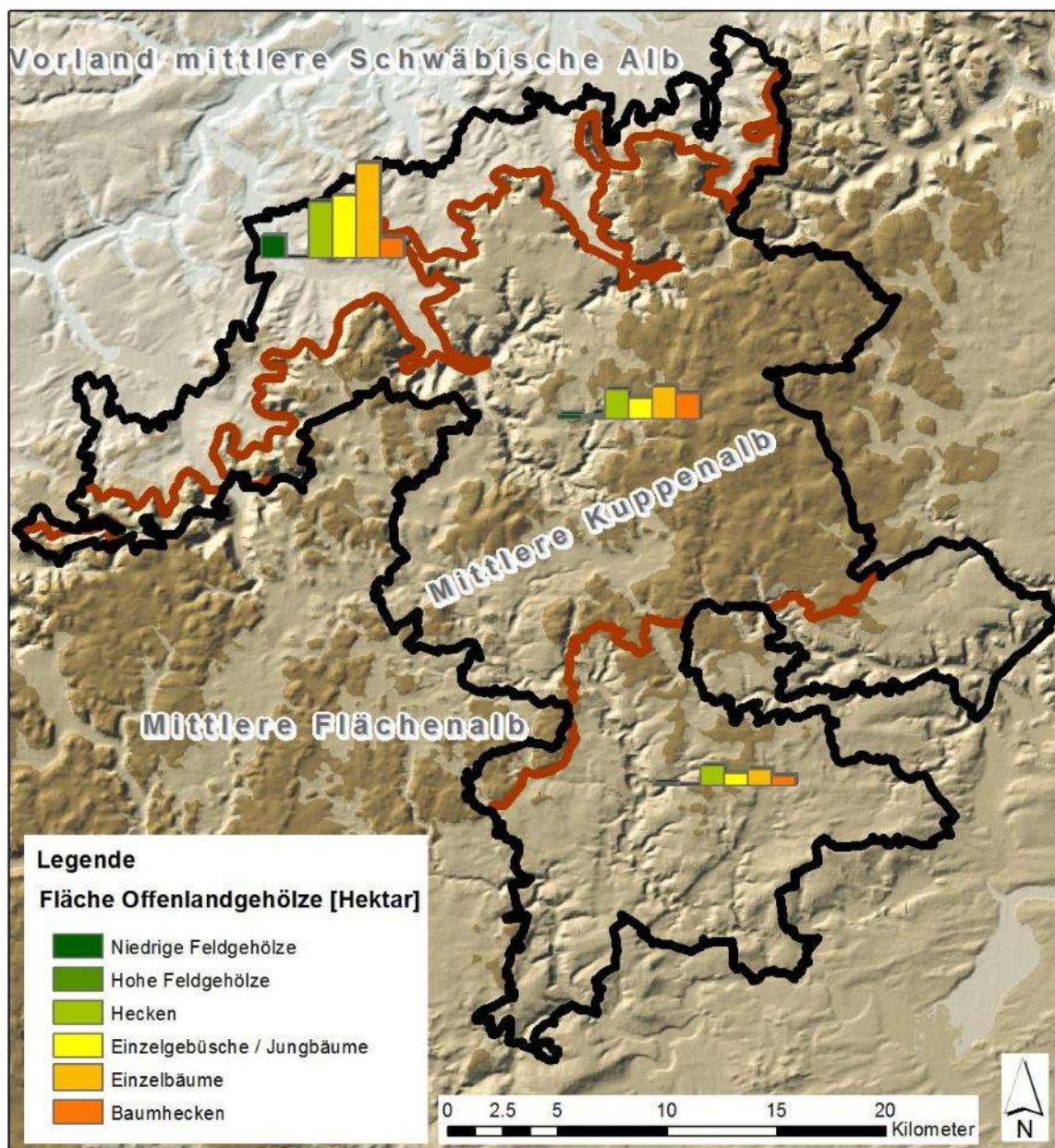


Abb. 35: Anteile der verschiedenen Offenlandgehölztypen in den drei Gehölztypen im BSG

Die Biomassedichte der Vorlandgehölze ist deutlich geringer wie die auf der Albhochfläche (siehe Abb. 34). Hauptursache ist der hohe Anteil von kleinen bis mittelgroßen Einzelbäumen, v.a. Streuobstbäumen, die ein geringeres Gehölzvolumen aufweisen, wie Feldgehölze oder Baumhecken. Dadurch liegt im Vorland die Randlängendichte (Kronenumfangdichte) bei extrem hohen 625 m/ha (siehe Tab. 11). Zusammen mit den später dargestellten Landnutzungsgrenzen wird dort die Randlängendichte auf über 1000 lfm/ha steigen - ein Wert, der nur in sehr stark mosaikierten Kulturlandschaften erreicht wird.



Tab. 11: Dichte- und Strukturparameter der Offenlandgehölze in den drei Naturräumen

	Naturraum (4. Stufe)			
	Vorland mittlere Schwäb. Alb	Mittlere Kuppenalb	Mittlere Flächenalb	Summe
Mittlere Höhe Offenlandbäume [m]	5,53	5,15	4,94	
Fläche Nadelbäume [ha]	124	62	33	<b>219</b>
Biomasse [SRM]	439607	279326	117033	<b>835966</b>
SRM / ha	175	163	153	
Offenlandgehölze [ha]*	2267	1015	543	<b>3826</b>
Randlängendichte - Gehölzkronen [lfm/ha]	625	80	79	
Anzahl Gehölze/ Hektar	25	3	3,1	
Gehölze pro Hektar [%]	15	2,3	2,1	

Tab. 12: Anzahl und Flächenumfang der verschiedenen Offenlandgehölztypen in den drei Naturräumen des BSG

	Naturraum (4. Stufe)			
	Vorland mittlere Schwäb. Alb	Mittlere Kuppenalb	Mittlere Flächenalb	Summe
Anzahl Niedrige Feldgehölze	1709	385	214	<b>2308</b>
Fläche Niedrige Feldgehölze [ha]	199	39	23	<b>261</b>
Anzahl Hohe Feldgehölze	68	391	73	<b>532</b>
Fläche Hohe Feldgehölze [ha]	3	21	4	<b>28</b>
Anzahl Hecken	17046	6383	4919	<b>28348</b>
Fläche Hecken [ha]	498	258	178	<b>934</b>
Anzahl Einzelgebüsche/ Jungbäume	245365	96994	55195	<b>397554</b>
Fläche Einzelgebüsche/ Jungbäume [ha]	550	186	110	<b>845</b>
Anzahl Einzelbäume*	110254	1855828	18103	<b>1984185</b>
Fläche Einzelbäume [ha]	836	288	146	<b>1270</b>
Anzahl Baumhecken	3276	2801	1083	<b>7160</b>
Fläche Baumhecken [ha]	182	224	81	<b>487</b>
<b>Fläche Naturraum [ha]</b>	<b>15097</b>	<b>44540</b>	<b>25682</b>	<b>85320</b>

\*: Anzahl der Gehölze nach „Laserscanning-Methode“

Tab. 13: Flächenanteil der Offenlandgehölze am Offenland in den drei Naturräumen im BSG

	Vorland mittlere Schwäb. Alb	Mittlere Kuppenalb	Mittlere Flächenalb	<b>BSG gesamt</b>
Anteil Offenlandgehölze am Offenland [%]	24,0	4,6	4,0	<b>8,5</b>

Die Gesamtzahl aller Gehölze im Offenland beträgt im BSG 2,4 Millionen. Die Gesamtzahl aller bestandsbildenden Bäume/Sträucher inklusive Wald und Siedlungen liegt bei rund 9,3 Millionen. Die tatsächliche Anzahl liegt darüber und kann nicht exakt bestimmt werden, da bereits der Begriff „bestandsbildendes Gehölz“ nicht exakt zu fassen ist. Die Angaben sind aber sehr gut für regionale Vergleiche oder Zeitreihen geeignet. Der Anteil der Offenlandgehölze an der Offenlandfläche nimmt von Nord nach Süd von 24 % auf 4 % ab (im Mittel 9 %, siehe Tab. 13).

Eine Validierung der Gehölzklassifikation ist aus verschiedenen Gründen nicht durchgeführt worden. Zunächst wurden keine Validierungsgehölze aufgenommen, weil die Ergebnisse mit der Biotopkartierung verglichen werden sollte. Die Biotopkartierung (auch die aktuelle) hat aber im Bereich der Differenzierung zwischen Feldgehölze und Feldhecken große Defizite bzw. große Erfassungengenauigkeiten. Viele linienhaften Feldhecken wurden als Feldgehölze definiert, was nicht der Erfassungsanleitung entspricht. Parallel wurden Feldgehölze erfasst, die direkt an Waldflächen angrenzen. Hier entwickelt sich das Feldgehölz eindeutig in Richtung Wald, hat aber noch kein Waldinnenraumklima. Mit der Laserscanning-Methode sind diese Flächen bereits als Wald klassifiziert worden. Weiterhin wird nur ein Bruchteil der Einzelbäume im Rahmen der Erfassung der geschützten Biotope erfasst, wodurch eine Vergleichsbasis fehlt. Im Endergebnis dieser Arbeit wurden zudem den Ergebnissen der aktuellen Biotopkartierung im Bereich der Gehölze Vorrang gegeben während die Ergebnisse der Gehölzklassifikation mit der Laserscanning-Methode als Overlay-Thema vorliegen. Eine Integration hätte zu extrem vielen Spltterflächen geführt.

Ein weiteres Problem ist der zeitliche Unterschied. Die Laserscanningbefliegung fand 2002 statt, die Biotopkartierung 10 Jahre später. Im Falle von gepflegten/geschnittenen Gehölze ist ein Vergleich nicht möglich. So wurden z.B. 2012 Gehölzbestände als Gebüsch kartiert, die 2012 noch über 20 m Baumhöhe aufwiesen.

Als Grundlage für eine denkbare spätere Vor-Ort-Validierung wurden jeweils 35 Gehölzflächen zufällig aus der Biotopkartierung ausgewählt (Feldgehölze, Feldhecken, Gebüsche) und zusätzlich 35 Einzelbäume aus der Laserscanning-Klassifikation (gesamt 140 Gehölze/Gehölzgruppen). Wenn nach dem Biotoptypenschlüssel validiert wird, ergeben sich aber auch hier große Unsicherheiten in Bezug zur Abgrenzung von Feldgehölzen und Feldhecken. Es müssten also zusätzliche, nachvollziehbare Kriterien festgelegt werden, die diese Klassen abgrenzen, wie z.B. das Längen-Breiten-Verhältnis einer Hecke (Minimum 2,5:1 oder 3:1) oder die maximale Höhe von Gebüsch (z.B. 6-9 m). Nimmt man hier die geometrischen Grenzwerte, die bei der Laserscanning-Methode benutzt wurden, ergibt sich ein sehr geringer Fehler. Die größten Fehler liegen in den Bereichen, wo lockere Gehölzstrukturen mit der Laserscanning-Methode in mehrere kleinere Gehölze aufgesplittet

wurden, also z.B. eine lückenhafte Hecke in eine Hecke und mehrere kleinere Gebüsche. In diesen Fällen ist die Klassifikation zwar in sich stimmig, versagt aber, wenn eine Komplexstruktur gebildet werden müsste. Begrenzt kann dieser Fehler minimiert werden, indem alle Gehölze gepuffert werden und im Falle einer Überschneidung mit einem benachbarten Gehölz, das flächenkleinere Gehölze die Klassifikation der größeren Einheit erhält. Dabei müssen wiederum sinnvolle Regeln aufgestellt werden, damit nicht ziellos Gehölzklassen verschmelzen. Ein solches Beispiel wurde in einem anderen Gebiet (Rhein-Erft-Kreis, siehe Zwischenbericht) entsprechend aufgearbeitet.

### **4.3. Waldklassifikation**

In Tabelle 15 werden die im Endergebnis dargestellten Waldbiotoptypen aufgelistet. Einige dieser Typen konnten nur aggregiert dargestellt werden. Bei ungefähr der Hälfte der Waldbiotoptypen wurde auf die Kartierung geschützter Biotope oder den Kartierungen im Rahmen von FFH-Managementplänen zurückgegriffen.

Rein per Fernerkundung wurden neben den großflächigen Waldsegmenten folgende Waldtypen differenziert: Trockenwarme Wälder, Laubbaumbestand, Nadelbaumbestand, Mischwaldbestand und in Kombination mit dem BasisDLM Parkwälder. Gewässerbegleitender Auwald wurde ebenfalls fernerkundlich klassifiziert – hier lagen aber parallel fast komplette Angaben aus der Biotopkartierung vor.

In Aggregation aller zur Verfügung stehenden Datenquellen zeigt sich ein relativ kleinräumiges Klassifikationsergebnis mit hoher Güte (siehe Abbildung 35b).

Tab. 14: Überblick und Quellenangabe zu den Waldbiotypen

Biotop-Nr.	Bezeichnung	Geometrische Abgrenzung*				Bezugsquelle Klassifikation	Erscheint bei der Abgabe als:
		SPEK	LS	§ 30	MAPs		
52.10	Bruchwald		X			- (Vorkommen unsicher, nicht in § 30)	in auwald_der_bäche_und_kleinen_flüsse_52_30
52.20	Sumpfwald (Feuchtwald)	X	X			- (nur 2 unklare Vorkommen in § 30)	in laubbaum_bestand_59_10
52.21	Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Wald	X	X	X		§ 30	traubenkirschen_erlen_eschen_wald_52_21
52.30	Auwald der Bäche und kleinen Flüsse	X	X			§ 30	auwald_der_bäche_und_kleinen_flüsse_52_30
52.32	Schwarzerlen-Eschen-Wald	X	X	X		§ 30	schwarzerlen_eschen_wald_52_32
52.33	Gewässerbegleitender Auwaldstreifen		X			§ 30, manuell kontrolliert	gewaesserbegleitender_auwald_52_33
52.40	Silberweiden-Auwald (Weichholz-Auwald)		X			§ 30	in auwald_der_bäche_und_kleinen_flüsse_52_30
52.50	Stieleichen-Ulmen-Auwald (Hartholz-Auwald)		X			§ 30	in auwald_der_bäche_und_kleinen_flüsse_52_30
53.10	Eichen- oder Hainbuchen-Eichen-Wald trockenwarmer Standorte	X	X	X		§ 30	in waelder_trockenwarm_53
53.11	Steinsamen-Traubeneichen-Wald	X	X	X		§ 30	steinsamen_traubeneichen_wald_53_11
53.13	Waldlabkraut-Hainbuchen-Traubeneichen-Wald	X	X	X		§ 30	waldlabkraut_hainbuchen_traubeneichen_wald_53_13
53.20	Buchen-Wald trockenwarmer Standorte	X	X			Spektral + Exposition/Sonneneinstrahlung, § 30	waelder_trockenwarm_53
53.21	Seggen-Buchen-Wald	X	X	X		§ 30	seggen_buchenwald_53_21
54.10	Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwald frischer bis feuchter Standorte	X	X	X	X	§ 30 + MAPs	schluchtwald_54
54.13	Ahorn-Eschen-Blockwald	X	X	X		§ 30	ahorn_eschen_blockwald_54_13
54.20	Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwald trockenwarmer Standorte	X	X	X		§ 30	schluchtwaelder_54, z.T. auch in blockwald_54_20
54.21	Ahorn-Linden-Blockwald	X	X	X		§ 30	ahorn_linden_blockwald_54_21
54.30	Birken-Blockwald	X	X			- (vermutl. unsicher, aber nicht in § 30)	in laubbaum_bestand_59_10
54.40	Fichten-Blockwald	X	X			- (vermutl. vorkommend, aber nicht in § 30)	in nadelbaum_bestand_59_40

Biotop-Nr.	Bezeichnung	Geometrische Abgrenzung*				Bezugsquelle Klassifikation	Erscheint bei der Abgabe als:
		SPEK	LS	§ 30	MAPs		
55.10	Buchen-Wald basenarmer Standorte	X	X	X		§ 30	in laubbaum_bestand_59_10
55.12	Hainsimsen-Buchenwald	X	X	X		§ 30	hainsimsen_buchenwald_59_12
55.20	Buchen-Wald basenreicher Standorte	X	X			-	in laubbaum_bestand_59_10
55.40	Hochstaudenreicher Ahorn-Buchen-Wald	X	X			-	in laubbaum_bestand_59_10
55.50	Traubeneichen-Buchen-Wald	X	X			-	in laubbaum_bestand_59_10
56.10	Hainbuchen-Eichen-Wald mittlerer Standorte	X	X	X		§ 30	hainbuchen_eichen_wald_56_20, z.T. auch in laubbaum_bestand_59_10
56.30	Hainsimsen-Traubeneichen-Wald	X	X			- (Vorkommen unsicher, nicht in § 30)	in laubbaum_bestand_59_10
56.40	Eichen-Sekundärwald (Ersatzbestand anderer Laubwälder)	X	X			-	in laubbaum_bestand_59_10
57.30	Tannen- oder Fichten-Tannen-Wald	X	X			LS	in nadelbaum_bestand_59_40
58.10	Sukzessionswald aus Laubbäumen (Laubbaumanteil über 90 %)	X	X	X		§ 30	in laubbaum_bestand_59_10
58.20	Sukzessionswald aus Laub- und Nadelbäumen	X	X	X		LS, § 30	in mischbestand_59_20
58.40	Sukzessionswald aus Nadelbäumen (Nadelbaumanteil über 90 %)	X	X	X		LS, § 30	in nadelbaum_bestand_59_40
59.10	Laubbaum-Bestand (Laubbaumanteil über 90 %)	X	X			LS	laubbaum_bestand_59_10
59.20	Mischbestand aus Laub- und Nadelbäumen (Laubbaumanteil 10 bis 90 %)	X	X			LS	mischbestand_59_20
59.40	Nadelbaum-Bestand (Nadelbaumanteil über 90 %)	X	X			LS	nadelbaum_bestand_59_40
59.50	Parkwald		X			Basis DLM	parkwald_59_50

SPEK: spektrale Auswertung; LS: per Laserscanning; § 30: § 30-Biotopkartierung 2012; MAPs: Übernahme der Geometrien aus vorhandenen Natura2000-Managementplan-Kartierungen.  
 \*: Die Außengrenzen vom Wald stammen zum kleineren Anteil direkt vom BasisDLM (ATKIS)

Zu beachten ist hier immer die Zeitdifferenz zwischen Laserscanningauswertung (Nadelbaumklassifikation) und Luftbild (5 Jahre). Südlich der Wacholderheide (1) ist eine Nadelbaumaufforstung zu erkennen, die noch als Mischwald klassifiziert ist (siehe Abb. 36).

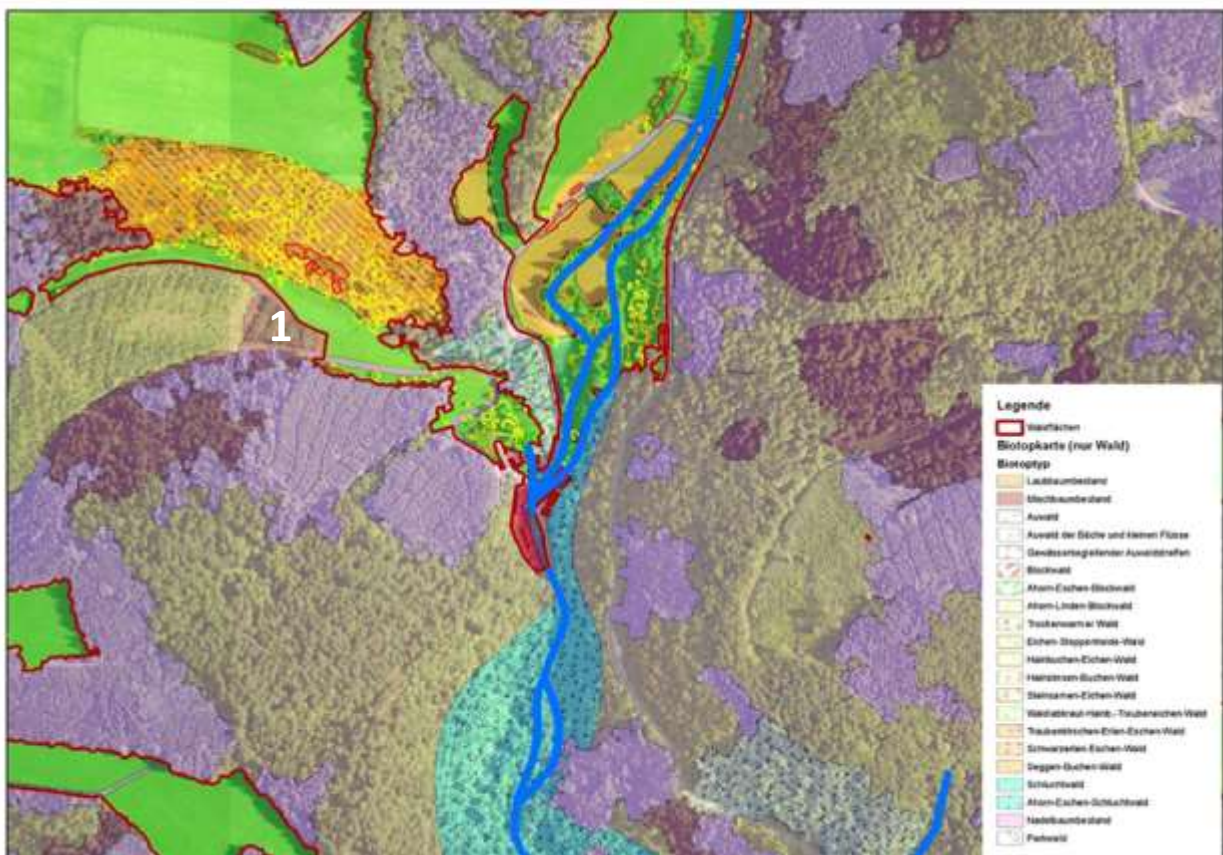


Abb.36 a und b: Beispiel für die Waldklassifikation:  
a: (oben) nur Waldtypengrenzen, b: (unten) Waldklassifikation

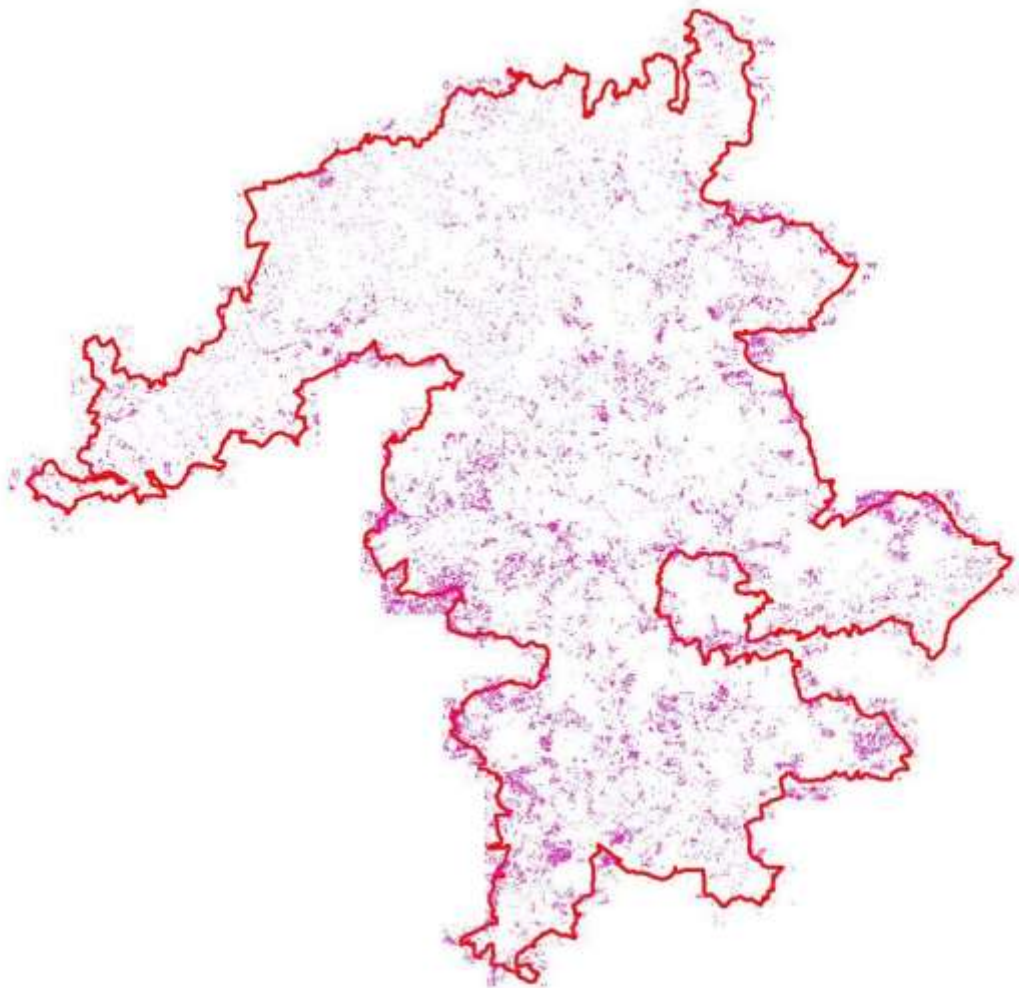


Abb. 37: Nadelbaumverteilung im BSG auf Einzelbaumebene (inkl. Waldflächen)

In Abbildung 37 wird deutlich, dass von Nord nach Süd der Nadelbaumanteil deutlich zunimmt.

#### 4.4. Gesamtergebnisse

Im Folgenden wird ein zusammenfassender Überblick der Ergebnisse wieder gegeben. Dabei sind die Offenlandgehölze bewusst ausgenommen und es wird auf das Kapitel 4.2 verwiesen.

Bei einer Grobgliederung in Offenland, Wald und Siedlung verteilt sich mit rund 49 % der größte Teil auf das Offenlandes (siehe Tabelle 15). Waldflächen besitzen jedoch mit ca. 42 % einen annähernd ähnlichen Anteil. Unter 10 % entfallen auf Siedlungs- und Verkehrsflächen.

Tab. 15: Aufteilung des BSG in Offenland, Siedlung und Wald.

	Fläche [ha]	Anteil [%]
<b>Offenland</b> (inkl. Gewässer und Auwälder)	<b>41411,0</b>	<b>48,6</b>
<b>Siedlung</b> (inkl. Parkwald)	<b>8198,4</b>	<b>9,6</b>
<b>Wald</b>	<b>35693,3</b>	<b>41,9</b>

Ein detaillierter Blick auf die einzelnen erfassten Biotoptypen zeigt, das Grünland im weiteren Sinne ein Drittel der Gesamtfläche und somit rund 60 % des gesamten Offenlands einnimmt. Dabei dominieren Wiesen und Weiden (33.xx) mit einem Gesamtanteil von 28,1 %. Rund 20 % bildet dabei die aggregierte Klasse von Wirtschaftsgrünland mittlerer Standorte (33.40) sowie nicht weiter spezifiziertem Grünland. Die Streuobstbestände wurden flächig als "Aufsignatur" erfasst und sind weitgehend identisch mit dieser Klasse bzw. mit Magerwiesen mittlerer Standorte (33.43).

Das restliche Offenland ist beinahe ausschließlich Ackerland (inkl. Sonderkulturflächen).

Für das Offenland gilt, dass sich die Flächen immer auf eine Betrachtung ohne Gehölzbestände beziehen und deren Flächenbedarf gesondert in Kapitel 4.2 ausgewiesen wird.

Bei den Waldflächen sind nur rund 2 % der Gesamtfläche als naturnahe Biotoptypen klassifiziert, wobei die Hälfte durch Typen trockenwarmer Wälder gebildet wird. Die restlichen 40 % nehmen nicht näher spezifizierbare Biotoptypen des naturfernen Wirtschaftswaldes ein (reine Nadelbaum- und Laubbaumbestände sowie Mischwald).

In Abbildung 38 wird das BSG in grobe Nutzungs-/Biotopklassen unterteilt. Magere Wiesen und Weiden (inkl. Waldholderheiden), die als prägend für die Schwäbische Alb gehalten werden, nehmen nur 6 % des Gebietes ein. Die Anteile für Siedlung und Wald sind aufgrund des hohen Anteils am Albtrauf und direktem Vorland mit 10 bzw. 42 % relativ hoch. Zu beachten ist, dass die Gesamtfläche der gehölzartigen Offenlandgehölze mit 8,5 % relativ hoch ist und in Abbildung 38 aber nicht dargestellt ist (indirekt z.T. über „Streuobstflächen“). Da diese Gehölze sich oft auf Grenzflächen zwischen Nutzungstypen erstrecken ist ein „Herausrechnen“ aus dieser groben Klassifikationsebene nicht sinnvoll machbar.



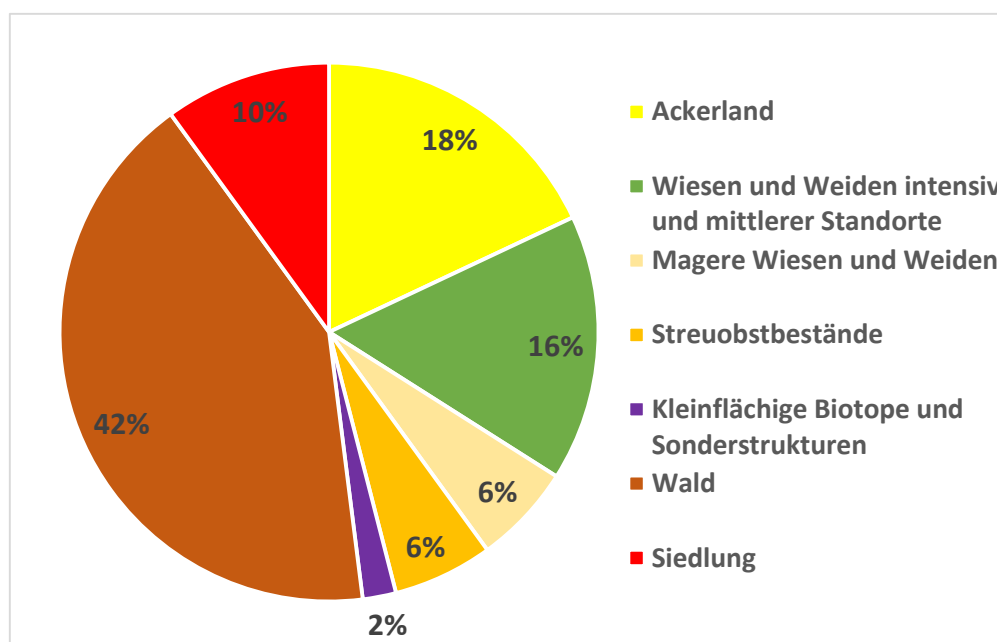


Abb. 38: Prozentuale Aufteilung des BSG in grobe Biotop- und Nutzungsklassen (ohne gehölzartige Offenland-Biotoptypen)

Tab. 16: Gesamtergebnis der differenzierten Biotoptypen- und Nutzungsklassen

Biotop-Nr.	Biototyp	Anzahl Objekte	Fläche [ha] bzw. Länge [km]*	Anteil an BSG [%]
<b>11</b>	<b>Quellen</b>			
11.10	Naturnahe Quelle	5	0,10	< 0,01
11.11	Sickerquelle	142	13,95	0,02
11.12	Sturz- oder Fließquelle	5	0,02	< 0,01
11.14	Karstquelltopf	1	0,08	< 0,01
11.XX	Quellen (punktförmig; aus ATKIS)	244	-	-
<b>12</b>	<b>Fließgewässer</b>			
12.XX	Fließgewässer (aus ATKIS)	297	*1278,37	-
<b>13</b>	<b>Stillgewässer</b>			
13.00	Stillgewässer (aus ATKIS)	61	26,74	0,03
<b>21</b>	<b>Offene Felsbildungen, Steilwände, Block- und Geröllhalden, Abbauflächen und Aufschüttungen</b>			
21.10	Offene Felsbildung	443	6,07	< 0,01
21.12	Anthropogen freigelegte Felsbildung	8	68,85	0,08
21.40	Anthropogene Gesteins- oder Erdhalde	19	42,59	0,05
<b>22</b>	<b>Geomorphologische Sonderformen</b>			
22.20	Doline	107	5,49	< 0,01
<b>23</b>	<b>Morphologische Sonderformen anthropogenen Ursprungs</b>			
23.10	Hohlweg	8	0,33	< 0,01
23.20	Steinriegel	330	11,76	0,01
23.40	Trockenmauer	55	0,25	< 0,01

<b>32</b>	<b>Waldfreie Niedermoore und Sümpfe</b>			
32.11	Braunseggen-Ried	1	0,11	< 0,01
32.30	Waldfreier Sumpf	7	0,07	< 0,01
32.31	Waldsimsen-Sumpf	15	1,08	< 0,01
32.32	Schachtelhalm-Sumpf	8	0,35	< 0,01
32.33	Sonstiger waldfreier Sumpf	56	9,50	0,01
<b>33</b>	<b>Wiesen und Weiden</b>			
33.00/ 33.40	Wiesen und Weiden / Wiesen mittlerer Standorte	10994	17345,51	20,33
33.10	Pfeifengrasstreuweise	3	1,45	< 0,01
33.20	Nasswiese	27	4,28	< 0,01
33.21	Nasswiese basenreicher Standorte der Tieflagen	30	7,73	< 0,01
33.22	Nasswiese basenreicher Standorte der montanen Lagen	23	5,34	< 0,01
33.43	Magerwiese mittlerer Standorte	2230	1567,92	1,84
33.50	Weide mittlerer Standorte	2248	1721,53	2,02
33.51	Magerweide mittlerer Standorte	1418	3297,98	3,87
33.60	Intensivgrünland oder Grünlandansaat	29	29,70	0,03
<b>34</b>	<b>Tauch- und Schwimmblattvegetation, Quellfluren, Röhrichte und Großseggen-Riede</b>			
34.40	Kleinröhricht	2	0,15	< 0,01
34.50	Röhricht	19	5,25	< 0,01
34.51	Ufer-Schilfröhricht	8	0,53	< 0,01
34.52	Land-Schilfröhricht	16	3,74	< 0,01
34.54	Teichsimsen-Röhricht	7	0,10	< 0,01
34.56	Rohrglanzgras-Röhricht	18	3,21	< 0,01
34.60	Großseggenried	39	23,81	0,03
34.61	Steifseggen-Ried	1	0,03	< 0,01
34.62	Sumpfschilf-Ried	49	6,91	< 0,01
34.63	Schlankseggen-Ried	1	0,03	< 0,01
34.66	Blasenseggen-Ried	1	0,06	< 0,01
34.69	Sonstiges Großseggen-Ried	1	0,80	< 0,01
<b>35</b>	<b>Saumvegetation, Dominanzbestände, Hochstauden- und Schlagfluren, Ruderalvegetation</b>			
35.40	Hochstaudenflur	12	1,02	< 0,01
35.41	Hochstaudenflur quelliger, sumpfiger oder mooriger Standorte	67	27,22	0,03
35.42	Gewässerbegleitende Hochstaudenflur	22	2,42	< 0,01
<b>36</b>	<b>Heiden, Mager-, Sand- und Trockenrasen</b>			
36.30	Wacholderheide	263	340,85	0,4
36.40	Magerrasen bodensaurer Standorte	42	54,71	0,06
36.42	Flügelginsterweide	1	0,19	< 0,01
36.50	Magerrasen basenreicher Standorte	2220	1459,26	1,71
<b>37</b>	<b>Äcker, Sonderkulturen und Feldgärten</b>			
37.10	Acker	6333	14978,10	17,56
37.21	Obstplantage	51	76,64	0,09
37.23	Weinberg	59	73,70	0,09
37.27	Baumschule oder Weihnachtsbaumkultur	23	39,46	0,05
37.29	Sonstige Sonderkultur	4	3,51	< 0,01
37.30	Feldgarten (Grabeland)	27	7,04	< 0,01

<b>45</b>	<b>Alleen, Baumreihen, Baumgruppen, Einzelbäume und Streuobstbestände*</b>			
45.40	Streuobstbestand (hierbei handelt es sich um eine <u>Aufsignatur</u> und umfasst Grünlandflächen als auch Einzel-Laserscan-Daten)	<b>725</b>	<b>5084,25</b>	<b>5,96</b>
	<b>*restliche Gehölzbestände sind in Kapitel 4.3 abgehandelt</b>			
<b>52</b>	<b>Bruch-, Sumpf- und Auwälder</b>			
52.00	Bruch-, Sumpf- und Auwälder	59	15,01	0,02
52.21	Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Wald	1	0,13	< 0,01
52.30	Auwald der Bäche und kleinen Flüsse	160	44,34	0,05
52.32	Schwarzerlen-Eschen-Wald	6	1,43	< 0,01
52.33	Gewässerbegleitender Auwaldstreifen	224	72,59	0,09
<b>53</b>	<b>Wälder trockenwarmer Standorte</b>			
53.00	Wälder trockenwarmer Standorte	220	891,52	1,05
53.10	Eichen- oder Hainbuchen-Eichen-Wald trockenwarmer Standorte	32	42,28	0,05
53.11	Steinsamen-Traubeneichen-Wald	12	11,20	0,01
53.13	Waldlabkraut-Hainbuchen-Traubeneichen-Wald	1	0,11	< 0,01
53.21	Seggen-Buchen-Wald	162	249,92	0,29
<b>54</b>	<b>Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder</b>			
54.00	Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder	82	98,32	0,12
54.11	Ahorn-Eschen-Schluchtwald	60	89,71	0,11
54.13	Ahorn-Eschen-Blockwald	119	171,84	0,2
54.21	Ahorn-Linden-Blockwald	53	69,97	0,08
<b>55</b>	<b>Buchenreiche Wälder mittlerer Standorte</b>			
55.12	Hainsimsen-Buchen-Wald	4	4,94	< 0,01
<b>59</b>	<b>Naturferne Waldbestände</b>			
59.10	Laubbaum-Bestand	1713	24851,92	29,13
59.20	Mischbestand aus Laub- und Nadelbäumen	1912	1527,97	1,79
59.40	Nadelbaum-Bestand	4373	7683,65	9,01
59.50	Parkwald	40	17,54	0,02
<b>60</b>	<b>Biotoptypen der Siedlungs- und Infrastrukturflächen</b>			
60.10	Von Bauwerken bestandene Fläche	7466	5342,74	6,26
60.20	Straße, Weg oder Platz	1496	2709,02	3,18
60.30	Gleisbereich	14	39,44	0,05
60.41	Lagerplatz	6	0,53	< 0,01
60.50	kleine Grünfläche	71	13,60	0,02
60.60	Garten	69	32,09	0,04
60.XX	Friedhöfe	115	43,46	0,05

## 5. Diskussion

Die Diskussion der Projektergebnisse hat zum Ziel, die eingesetzten Methoden und Datensätze, im Bezug zur Zielsetzung des Projektes sowie zur Reproduktion der Biotoptypenklassifikation, zu einem späteren Zeitpunkt zu Monitoringzwecken zu beurteilen.

### Vorerkundung des Untersuchungsgebiets, Referenzdaten

Die thematische Tiefe und pflanzensoziologische Herleitung des Biotoptypenschlüssels der LUBW mit ihren 281 unterschiedlichen Klassen, erfordert seitens des Bearbeiters profunde ökologische/pflanzensoziologische Kenntnisse sowie wie ein umfassendes Verständnis des Untersuchungsgebiets (Was sind charakteristische Biotoptypen im Untersuchungsgebiet? Welche Variationen treten innerhalb von Biotoptypen auf? Wo konzentrieren sich Biotoptypen? etc.), da eine Ableitung von Biotoptypen ab einer gewissen thematischen Tiefe lediglich aus Fernerkundungsdaten unmöglich ist. Bereits bei der Auswahl zu kartierender Referenzflächen kam diesem Wissen entscheidende Bedeutung zu, da nicht alle Biotoptypen gleichmäßig über das Biosphärengebiet verteilt sind und insbesondere seltene Typen (z.B. Trockenrasengesellschaften) gezielt aufgesucht und kartiert werden mussten. Die Auswahl geeigneter Referenzflächen muss sich daher an der räumlichen Verteilung der unterschiedlichen Biotoptypen sowie der naturräumlichen Charakteristika des Untersuchungsgebietes orientieren. Im Verlauf des Projektes hat sich gezeigt, dass für einzelne Biotoptypen (z.B. Magerrasen, Feuchflächen) zusätzliche, aufwendige Geländekartierungen notwendig waren, weil mit den im Vorfeld erhobenen Referenzdaten, keine verlässliche Algorithmenentwicklung möglich war – auch dies erfordert gute Gebiets- und ökologische Kenntnisse.

### GIS Daten als Vorklassifikationsmaske

Der Einsatz von Sekundärdaten bei der Klassifikation von Fernerkundungsdaten wird in der wissenschaftlichen Literatur als *class modeling* bezeichnet (LANG 2008 vgl. auch 3.3.2). Dabei wird davon ausgegangen, dass durch das Einbeziehen bereits vorliegender digitaler Informationen, das Endergebnis der fernerkundlichen Analyse entscheidend verbessert wird. Baden-Württemberg verfügt über zahlreiche GIS Daten, die für die Klassifikation von Biotoptypen relevant sind und im vorliegenden Projekt zur Unterstützung der Klassifikation verwendet wurden (siehe 2.1.5). Einerseits konnten vorhandene Daten direkt übernommen werden (z.B. Kartierung gesetzlich geschützter Biotope) und andererseits konnte das Klassifikationsergebnis dadurch verbessert werden, dass der Flächenumfang der zu klassifizierenden Objekte deutlich verringert werden konnte. Beispielsweise war keine

aufwendige Klassifikation von Ackerflächen notwendig, da diese weitgehend vollständig im Rahmen der Daten des Gemeinsamen Antrags von 2010 vorlagen. Das Einbeziehen von Sekundärdaten bei ähnlichen Fragestellungen wurde auch von BOCK et al. 2003, LESER 2003, NEUBERT 2005, BOCK et al. 2005, KERAMITSOGLU et al. 2005 und TIEDE et al. 2010 als methodischer Ansatz gewählt.

Der Einsatz von Sekundärdaten, wie er im vorliegenden Projekt erfolgte, erfordert ein umfassendes Wissen in Bezug auf die vorhandenen Datensätze, da diese nicht einheitlich verwaltet werden und in ihrer thematischen Bandbreite sowie geometrischen Auflösung erheblich variieren. Beispielsweise konnten nicht alle Polygone aus den Daten des Gemeinsamen Antrags zur Kalibrierung der Klassifikation verwendet werden, da bei der Nutzungsangabe auf einem Schlag unter Umständen mehrere Nutzungen erlaubt sind (in Zukunft werden diese Daten von der Landwirtschaftsverwaltung auch geometrisch schlagweise erfasst). Ein anderes Beispiel stellen die Daten der Forstinventur dar, deren geometrische Abgrenzung keine Verknüpfung zur Logik der Biotoptypennomenklatur erlaubte bzw. nur zu Eichungszwecken innerhalb größerer Bestände genutzt werden konnte.

Weiterhin stellt der Schritt der Zusammenführung der Daten in einen einheitlichen Datensatz einen erheblichen Arbeitsaufwand dar und erfordert eine umfassende fachliche Beurteilung hinsichtlich der Logik, wie die Daten miteinander kombiniert bzw. verschnitten werden. Zukünftig kann mit einem etwas geringeren Arbeitsaufwand gerechnet werden, da die ATKIS Daten (BasisDLM) seitens des LGL aufbereitet wurden und nun als einheitlicher Datensatz vorliegen.

Insgesamt kann das Einbeziehen von Sekundärdaten als Gewinn für die Güte des Endergebnisses beurteilt werden. Einschränkend lässt sich formulieren, dass die geometrische Genauigkeit ohne die Verwendung von Sekundärdaten möglicherweise höher wäre, da sich mit eCognition eine einheitliche Abgrenzung von Bildobjekten erzeugen lässt, die eher die räumliche Ausdehnung und Verteilung der Biotoptypen widerspiegelt. Durch die Verwendung von Sekundärinformationen wurden teilweise künstliche Grenzen erzeugt, die die Biotoptypen nicht immer optimal widerspiegeln. Gegenüber der Vielzahl klassifizierter Biotoptypen, die durch die genutzten GIS Daten möglich wurden, kann dieser Nachteil jedoch vernachlässigt werden.

## **Spektrale Fernerkundung**

Die Klassifikation von Biotoptypen aus spektralen Fernerkundungsdaten beruhte a.) auf der phänologischen Entwicklung, b.) typischen Bewirtschaftungsmustern und c.) dem charakteristischen Erscheinungsbild (z.B. Textur) einzelner Biotoptypen zu einem bestimmten Aufnahmezeitpunkt.

Um die phänologische Entwicklung sowie die Bewirtschaftungszyklen optimal abzubilden, wären hochauflösende Fernerkundungsdaten (z.B. Orthophotos, GeoEye) von April bis Oktober im Rhythmus von 3-4 Wochen optimal. Dies ist beim Stand der derzeitigen technologischen Entwicklung sowie der Finanzierung dieser Daten jedoch nicht realisierbar.

Die im Projekt zur Verfügung stehenden multitemporalen RapidEye Daten mit einer Auflösung von 6,5 m und die Orthophotos mit einer Auflösung von 0,2 m stellen in diesem Sinne eine Annäherung dar, bei der Kompromisse in Kauf genommen werden müssen.

Die multitemporalen RapidEye Daten boten die Möglichkeit, Einblicke in die phänologische Entwicklung von Biotoptypen zu gewinnen. Dies war insbesondere bei der Klassifikation feuchter und magerer Typen hilfreich, da sich dadurch zunächst eine Potentialmaske entwickeln ließ, die den Suchraum für die genannten Typen deutlich reduzierte. Die Klassifikation der Orthophotos wäre deutlich mühseliger und wahrscheinlich auch mit geringerer Güte verlaufen, wenn keine zusätzlichen Informationen aus den RapidEye Daten zur Verfügung gestanden hätten. Andererseits konnten aus den Orthophotos Informationen extrahiert werden, die aufgrund der geringeren Auflösung der RapidEye Daten dort nicht mehr zu erfassen sind. Daher wird die Kombination der beiden Informationstypen bei den derzeit zur Verfügung stehenden Systemen als äußerst positiv bewertet. Die Verwendung multitemporaler RapidEye Daten bei der Klassifikation von Grünland, kann in der jüngeren Forschungsliteratur auch bei anderen Autoren nachvollzogen werden (z.B. FRANKE et al. 2012). Aktuell wäre eine reine Klassifikation auf Basis der Auflösung der Orthofotos (20 cm, aktuell 10 cm) nicht mehr mit einem Workstation-Arbeitssystem zeitlich zu bewerkstelligen gewesen. Das Softwareprodukt Ecognition bietet auch in der aktuellen Version 9.0 keine zeitextensiven Algorithmen. Wäre die Klassifikation statt mit den RapidEye-Daten mit den Orthofotos durchgeführt worden, hätte allein dieser Arbeitsschritt über ein Jahr Rechenarbeitszeit benötigt (wäre eine direkte Datenfusion mit den Laserscanning-Daten vorgenommen worden, hätte sich die Rechenzeit nochmals erhöht). In Zukunft wird dieser Weg vermutlich praktikabel. Auch wäre bei einer Wiederholungsarbeit die Verwendung von mehreren Befliegungsjahren möglich: die Verschiebung der Luftbildbefliegung in Baden-Württemberg vom Frühjahr auf den Sommer kann begrenzt jahrgangsübergreifend für temporale Analysen in Zukunft genutzt werden.

Der Einsatz objektorientierter Bildanalyseverfahren kann insofern als sinnvoll bezeichnet werden, da das Bedürfnis der Endnutzer nach Polygondaten erfüllt wird. Die Abgrenzung einzelner Objekte durch die Segmentierungsalgorithmen kann allgemein als profund eingestuft werden und ist räumlich präziser im Vergleich zur Generalisierung, die Geländekartierer bei der Digitalisierung vornehmen (DIETSCH 2007). Problematisch bei dem Verfahren ist, dass keine Ökotope erfasst werden. Vor dem Hintergrund, dass die verantwortlichen Behörden die

Daten aus den Biotoptypenkartierungen jedoch ebenfalls als Polygondaten vorhalten, kann dieser Umstand vernachlässigt werden und stellt eher ein Thema der Forschung dar.

Die Reproduktion der Ergebnisse der spektral klassifizierten Biotoptypen muss teilweise als problematisch eingestuft werden. Anders als bei der Fernerkundung mit Radar oder LIDAR Techniken, ist die spektrale Fernerkundung nicht unabhängig von den meteorologischen Verhältnissen zum Zeitpunkt der Aufnahme. Dies zeigte sich auch im vorliegenden Projekt. So standen beispielsweise für das Jahr 2010 (indem auch die Aufnahmen mit den Orthophotos gemacht wurden) keine ausreichenden RapidEye Daten für das Gebiet zur Verfügung. Problematisch dabei ist auch, dass mit steigender räumlicher Auflösung des Sensors mehr Einzelszenen benötigt werden, um ein Gebiet zu erfassen. Bei einem Gebiet der Größenordnung des Biosphärengebiets wird es daher zunehmend unwahrscheinlicher mehrere vollständige Mosaike eines Jahres zu erhalten. Hinzu kommt, dass die Verteilung der Aufnahmezeitpunkte ebenfalls wetterabhängig ist und unter Umständen nicht optimal vorliegt. Beispielsweise standen im vorliegenden Projekt keine Daten im Mai zu Verfügung, der bezüglich der Bewirtschaftung der Wiesen einen wichtigen Zeitpunkt darstellt. Dadurch konnten beispielsweise die Intensivwiesen im Untersuchungsgebiet nicht zuverlässig kartiert werden.

Da die im vorliegenden Projekt vorgestellte Methode zur Ableitung der Biotoptypen aus spektralen Daten für die einzelnen Szenen mit ihren spezifischen Charakteristika (Aufnahmezeitpunkt, Beleuchtung, Entwicklung der Vegetation im Jahr der Aufnahme etc.) entwickelt wurden und außerdem aus der Kombination unterschiedlicher Sensoren aufgebaut sind, ist eine Übertragung der Methode auf andere Szenen zu einem späteren Zeitpunkt, wohl nicht ohne gewisse Adaptionen möglich. Als Beispiel hierfür kann die Klassifikation der Magerrasen herangezogen werden, die darauf aufbaute, dass sich die potentiell möglichen Magerrasenflächen aus der Aprilaufnahme der RapidEye Daten ableiten ließen – ohne diese Informationen wäre die Klassifikation der Orthophotos deutlich schwieriger verlaufen.

### **LIDAR Daten, Waldklassifikation, Gehölzklassifikation**

Die auf Laserscanning-Daten basierende Klassifikation von Biotop-Gehölztypen konnte erfolgreich durchgeführt werden. Subtypen, wie z.B. „wärmeliebende“ Gehölzbiotoptypen konnten auch nach Fusion mit Solarradiation, Neigung und Exposition, nicht genügender Güte klassifiziert werden. Die Klassifikation von Koniferen innerhalb von Hecken und Gehölzen war schlecht, gelang aber innerhalb geschlossener Waldbestände sehr gut. Auch die komplexe Trennung von Offenland-Gehölzen und Wald funktionierte sehr gut und bedurfte nur im Falle der Gewässerbegleitenden Auwaldstreifen minimaler händischer Nacharbeit, da diese

strukturell mehr Baumhecken wie Wald ähneln, laut Biotopkartierungsanleitung aber zum Wald gehören.

Insgesamt bietet die „Laserscanning-Methode“ eine geometrisch sehr exakte, einfache Gehölztypenabgrenzung inkl. einer sehr scharfen Laub- und Nadelwalddifferenzierung. Tiefergehende Klassifikationen wären nur mit Verschmelzung mit den Spektraldaten möglich gewesen, was aber allein wegen der Datendichte (20 cm) und dem komplett unbearbeiteten Forschungsgebieten zeitlich nicht machbar war. Eine inhaltsähnliche Aktualisierung des Datenbestandes wird im Jahr 2015 landesweit im Zuge der Erstellung des Biomasseatlases (LUBW/MLR) vorliegen (Datenstand 2011-2013).

Erfolgreich wurde die Kombination von Lidar- und Spektraldaten im Falle der Wacholderheiden, Schilf- und Großseggenbestände-Klassifikation eingesetzt. Entscheidend war hier die Entwicklung geeigneter regelbasierter Prozesse.

### **Abschließende Beurteilung**

Die Kombination von spektraler Fernerkundung, GIS-Daten und Lidar-Daten erlaubt die Klassifikation einer großen Bandbreite von Biotoptypen in einem sehr großen Gebiet. Die Übertragbarkeit schrumpft mit der Größe des Gebietes (im Falle der Verwendung von spektralen Daten). Die Größe des Biosphärengebietes mit knapp 1.000 km<sup>2</sup> ist hier als aktuell absolute Obergrenze anzusehen.

Ein Projekt dieser Dimension verlangt eine hohe Kompetenz der Mitarbeiter. GIS-Datenverarbeitung und Kenntnisse zu den unterschiedlichen GIS Daten, Kenntnisse von Laser- und spektraler Fernerkundung, Datenmanagement und -prozessierung sehr großer Datensätze, ökologisches/pflanzensoziologisches Wissen und Transferwissen zur Übersetzung in Regelsätze bei der Klassifikation von Fernerkundungsdaten.

Insgesamt konnte der Arbeitsauftrag erfolgreich durchgeführt werden, wenngleich mit unterschiedlicher Differenzierungstiefe bei den einzelnen Biotopgruppen. Im Falle einer Wiederholungsarbeit wird eine prozessähnliche aber keine 1:1-Wiederholung als sinnvoll angesehen.



## 6. Literatur

- ALBERTZ, J. (2009): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. 4. Auflage. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- BFN - BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ, GESCHÄFTSSTELLE DES DEUTSCHEN NATIONALKOMITEE FÜR DAS UNESCO-PROGRAMM „DER MENSCH UND DIE BIOSPHÄRE“ (MAB) (2007): „Kriterien für die Anerkennung und Überprüfung von Biosphärenreservaten der UNESCO in Deutschland“.
- 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.
- DEFINIENS (2007): Definiens Developer 7. User Guide. München.
- DENG, Y., MANJUNATH, B.S., & SHIN, H. (1999): Color image segmentation. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, 446-451, v. 2.
- DIETSCHKE, M. (2007): Der Einsatz hochauflösender Fernerkundungsdaten zur Klassifizierung und Bewertung von FFH-Gebieten am Beispiel ausgewählter Moorhabitats Schleswig-Holsteins. Magisterarbeit, Universität Freiburg, Freiburg.
- EGGER, S. (2008): Waldbestandeskartierung und Baumtypenerkennung im Sihlwald. RSL Remote Sensing Laboratories Geographisches Institut der Universität Zürich, p. 67
- FRANKE, J., KEUCK, V., SIEGERT, F. (2012): Assessment of grassland intensity by remote sensing to support conservation schemes. *Journal for Nature Conservation* 20 (3), 125-134. DOI: 10.1016/j.jnc.2012.02.001
- FRICK, A. (2006): Beiträge höchstauflösender Satellitenfernerkundung zum FFH-Monitoring – Entwicklung eines wissenschaftlichen Klassifikationsverfahrens und Anwendung in Brandenburg. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, Berlin.
- LESER, C. (2003): Entwicklung operationell einsatzfähiger Methoden zur Biototypen-Kartierung anhand hochauflösender HRSC-Daten. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- LEUKERT, K. (2005): Übertragbarkeit der objektbasierten Analyse bei der Gewinnung von GIS-Daten aus Satellitenbildern mittlerer Auflösung. Dissertation an der Universität der Bundeswehr München, München.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., & CHIPMAN, J.W. (2008): *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken: NJ, ISBN-13 978-0470052457

- LUBW [Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg] (2009): Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. Karlsruhe.
- HAARMANN, B. (2001): Untersuchung zur Verwendbarkeit der Software eCognition für Zwecke der CORINE Landnutzungsklassifikation. Diplomarbeit, Universität Hannover, Hannover.
- HAY, G.J. & CASTILLA, G. (2008): Geographic object-based image analysis (GEOBIA): a new name for a new discipline. In BLASCHKE, T., LANG, S. & HAY, G.J. (Hrsg.). Object-based image analysis. Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Berlin: Springer-Verlag. 75-89.
- HILTSCHER, H. (2013): Objektbasierte und GIS-gestützte Klassifikation von Feuchtbiotopen im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mit multisensoralen Fernerkundungsdaten. Masterarbeit an der Universität Hohenheim (320a).
- KERAMITSOGLU, I., KONTOES, C., SIFAKIS, N., MITCHLEY, J. & XOFIS, P. (2005): Kernel based re-classification of Earth observation data for fine scale habitat mapping. Journal for Nature Conservation 13. 91-99.
- KIM, H. O. (2007): Beitrag sehr hochauflösender Satellitenfernerkundungsdaten zur Aktualisierung der Biotop- und Nutzungstypenkartierung in Stadtgebieten – Dargestellt am Beispiel von Seoul. Dissertation an der Technischen Universität Berlin, Berlin.
- KRISMANN, A., BISCHOPING, H. & RENTSCH, M. (2013): Landesweite Biomasseberechnung von Gehölzen auf OpenSource-Basis. Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“ (Hrsg. Heinrich-Böll-Stiftung, Berlin), Bd. 9, 287-295
- KÜHN, S. (2002): Objektorientierte Analyse von RADARSAT-1-Daten in Überflutungsgebieten am Beispiel eines Testgebietes in Bangladesch. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, Dresden.
- LANG, S. (2008): Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality – dealing with complexity. In BLASCHKE, T., LANG, S. & HAY, G.J. (Hrsg.). Object-based image analysis. Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Berlin: Springer-Verlag. 3-28.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. (2008): Remote sensing and image interpretation. 6. Auflage, John Wiley & Sons, New York.
- LEUKERT, K. (2005): Übertragbarkeit der objektbasierten Analyse bei der Gewinnung von GIS-Daten aus Satellitenbildern mittlerer Auflösung. Dissertation, Universität der Bundeswehr München, München.
- NEUBERT, M. (2005): Bewertung, Verarbeitung und segmentbasierte Auswertung sehr hoch auflösender Satellitendaten vor dem Hintergrund landschaftsplanerischer und landschafts-ökologischer Anwendungen. Dissertation an der Technischen Universität Dresden, Dresden.

- OZDEMIR, I., NORTON, D. A., OZKAN, U. Y., MERT, A., SENTURK, O. (2008): Estimation of tree size diversity using object oriented texture analysis and aster imagery. *Sensors* 8: 4709-4724.
- RENTSCH, M., KRZYTEK, P. & KRISMANN, A. (2012): LiDAR and image based above-ground biomass estimation of non-forest trees: A comparative study. Kongress SilviLaser 2012 Vancouver, Canada, 16-19 September 2012, Paper Number: SL2012-034
- SCHLAGER, P., A. KRISMANN, K. WIEDMANN, H. HILTSCHER, V. HOCHSCHILD & K. SCHMIEDER (2013): Multisensorale, objektbasierte und GIS gestützte Klassifizierung von Grünlandbiotoptypen im Biosphärengebiet Schwäbische Alb. *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation. Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, Volume 2013, Number 3, June 2013, pp. 163-172(10)
- TIEDE, D., LANG, S. & HOFFMAN, C. (2006): Supervised and forest type-specific multiscale segmentation for a one-level-representation of single trees. In LANG, S., BLASCHKE, T. & SCHÖPFER, E. (Hrsg.). *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* vol. XXXVI-4/C42.
- TIEDE, D. & S. LANG (2010): Analytical 3D views and virtual globes - scientific results in a familiar spatial context. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65 (3), pp 300-307.
- TSAI, F., CHOU, M.-J. (2006): Texture augmented analysis of high resolution satellite imagery in detecting invasive plant species. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. Vol. 29, No. 4: 581-592.
- TRIMBLE (2011a): *eCognition Developer 8.7- Reference Book*. München.
- TRIMBLE (2011b): *eCognition Developer 8.7- User Guide*. München.
- WERNER, C. (2002): *Einsatzmöglichkeiten räumlich hochauflösender Satellitenbilder für Landschaftsplanung und Naturschutz*. Dissertation, Technische Universität Berlin, Berlin.
- WEVER, C. (1999): Laserscannermessungen – ein Verfahren setzt sich durch. In: *GIS - Geoinformationssysteme*, 12 (2), 12-17.
- WIEDMANN, K. (2012): *Entwicklung eines objektbasierten Fernerkundungsverfahrens zur Klassifikation von Grünland-Biotoptypen im Biosphärengebiet Schwäbisch Alb*. Masterarbeit an der Universität Hohenheim (320a).

## Anhang

- Übersicht zu den Biotoptypen im BSG mit Quellenangabe
- Kartierliste Biotope mit Erläuterungen (Auszug)
- Nutzungsschlüssel Ackerland (Auszug)
- Dateneingabe (ausgefüllt, Auszug)
- Beispiel eines Feld-Arbeitsblattes
- Erstellung einer flächendeckenden Vorklassifizierungs-Maske (GIS-Daten)
- Detaillierte Beschreibung der Klassifikation von Röhricht
- Proposal - TerraSAR-X und RapidEye-Daten

## Übersicht zu den Biotoptypen im BSG mit Quellenangabe




Biotop-Nr.	Biotoptyp	Fernerkundung		Biotopkartierung			ATKIS
		komplette Erfassung	teilweise Erfassung	Zuweisung Subtyp	Ergänzung	komplette Übernahme	Übernahme bzw. Zuweisung des Biotoptyps
11.10	Naturnahe Quelle					x	x
11.11	Sickerquelle		x	x	x		
11.12	Sturz- oder Fließquelle					x	
11.14	Karstquelltopf					x	
13.00	Stillgewässer		x		x		
21.10	Offene Felsbildung		x		x		
21.12	Anthropogen freigelegte Felsbildung					x	
21.40	Anthropogene Gesteins- oder Erdhalde					x	
22.20	Doline					x	
23.10	Hohlweg					x	
23.20	Steinriegel					x	
23.40	Trockenmauer					x	
32.11	Braunseggen-Ried	x		x			
32.30	Waldfreier Sumpf					x	
32.31	Waldsimsen-Sumpf		x	x	x		
32.32	Schachtelhalm-Sumpf					x	
32.33	Sonstiger waldfreier Sumpf		x	x	x		
33.00 / 33.40	Wiesen und Weiden / Wiesen mittlerer Standorte	x <sup>1</sup>					x <sup>2</sup>
33.10	Pfeifengrasstreuwiese					x	
33.20	Nasswiese		x	x	x		
33.21	Nasswiese basenreicher Standorte der Tieflagen		x	x	x		
33.22	Nasswiese basenreicher Standorte der montanen Lagen		x	x	x		
33.43	Magerwiese mittlerer Standorte						x <sup>(2)</sup>
33.50	Weide mittlerer Standorte						x <sup>2</sup>
33.51	Magerweide mittlerer Standorte						x
33.60	Intensivgrünland oder Grünlandansaat	x					x <sup>2</sup>
34.40	Kleinröhricht					x	
34.50	Röhricht		x	x	x		
34.51	Ufer-Schilfröhricht		x	x	x		
34.52	Land-Schilfröhricht		x	x	x		
34.54	Teichsimsen-Röhricht					x	
34.56	Rohrglanzgras-Röhricht		x	x	x		
34.60	Großseggenried		x	x	x		
34.61	Steifseggen-Ried					x	
34.62	Sumpfseggen-Ried		x	x	x		
34.63	Schlankseggen-Ried					x	
34.66	Blasenseggen-Ried					x	
34.69	Sonstiges Großseggen-Ried	x		x			
35.40	Hochstaudenflur		x	x	x		

Biotop-Nr.	Biototyp	Fernerkundung		Biotopkartierung			ATKIS
		komplette Erfassung	teilweise Erfassung	Zuweisung Subtyp	Ergänzung	komplette Übernahme	Übernahme bzw. Zuweisung des Biototyps
35.41	Hochstaudenflur quelliger, sumpfiger oder mooriger Standorte		x	x	x		
35.42	Gewässerbegleitende Hochstaudenflur		x	x	x		
36.30	Wacholderheide	x					
36.40	Magerrasen bodensaurer Standorte		x	x	x		
36.42	Flügelginsterweide					x	
36.50	Magerrasen basenreicher Standorte	x					
37.10	Acker	x <sup>2</sup>					x <sup>2</sup>
37.21	Obstplantage						x <sup>2</sup>
37.23	Weinberg						x <sup>2</sup>
37.27	Baumschule oder Weihnachtsbaumkultur						x <sup>2</sup>
37.29	Sonstige Sonderkultur						x <sup>2</sup>
37.30	Feldgarten (Grabeland)						x <sup>2</sup>
52.00	Bruch-, Sumpf- und Auwälder	x					x <sup>2</sup>
52.21	Traubenkirschen-Erlen-Eschen-Wald	x		x			
52.30	Auwald der Bäche und kleinen Flüsse	x					
52.32	Schwarzerlen-Eschen-Wald	x		x			
52.33	Gewässerbegleitender Auwaldstreifen	x		x			
53.00	Wälder trockenwarmer Standorte	x					-
53.10	Eichen- oder Hainbuchen-Eichen-Wald trockenwarmer Standorte		x	x	x		
53.11	Steinsamen-Traubeneichen-Wald					x	
53.13	Waldlabkraut-Hainbuchen-Traubeneichen-Wald					x	
53.21	Seggen-Buchen-Wald		x	x	x		
54.00	Schlucht-, Blockhalden- und Hangschuttwälder		x	x	x		
54.11	Ahorn-Eschen-Schluchtwald		x	x	x		
54.13	Ahorn-Eschen-Blockwald		x	x	x		
54.21	Ahorn-Linden-Blockwald		x	x	x		
55.12	Hainsimsen-Buchen-Wald					x	
59.10	Laubbaum-Bestand	x					
59.20	Mischbestand aus Laub- und Nadelbäumen	x					
59.40	Nadelbaum-Bestand	x					
59.50	Parkwald		x	x	x		
60.10	Von Bauwerken bestandene Fläche						x
60.20	Straße, Weg oder Platz						x
60.30	Gleisbereich						x
60.41	Lagerplatz						x
60.50	kleine Grünfläche						x
60.60	Garten						x
60.90	Friedhöfe						x







<sup>1)</sup> hauptsächlich 33.40 Wirtschaftswiesen mittlerer Standorte, jedoch auch Grünland i.w.S. siehe Text

<sup>2)</sup> Ackerflächen wurden fernerkundlich identifiziert, jedoch Geometrien aus ATKIS und z.T. GA integriert.

## Kartierliste Biotope mit Erläuterungen (Auszug von 17 Seiten)

<p>→ Die Zielanzahl geht von 5 Kartierer-Gruppen aus. Es werden nicht alle Gruppen diese Anzahlen bei allen Biotoptypen erreichen.</p>	<p>Typ und Biotopnr. ggf. mit Angabe des FFH-LRT inkl. wichtige Kennzeichen (mit „§“: geschütztes Biotop)</p>	<p>Zielanzahl aufzunehmender Flächen (je Gruppe): in Klammern optional - : nur besonders typische Biotope werden optional aufgenommen ---: externe Daten vorhanden</p>	<p>selten</p>	<p>selten &amp; auf Luftbildern farbig gekennzeichnet</p>
 <p>© Witschel M. (Archiv LFU)</p>	<p>35.10 Saumvegetation mittlerer Standorte § (nur Sümpfe, Quellbereiche, Naturnahe u unverbaute Bach- und Flussabschnitte [mind. 20 m lang], Altarme fließender Gewässer, Natürliche und naturnahe Bereiche stehender Binnengewässer)/ (auch ab 100 m<sup>2</sup>)</p>	<p>4</p>		
 <p>© Witschel M. (Archiv LFU)</p>	<p>35.20 Saumvegetation trockenwarmer Standorte FFH 5110 § (hier auch ab 100 m<sup>2</sup>)</p>	<p>4</p>	<p>X</p>	
	<p>35.30 Dominanzbestand § (nur Landreitgras-Bestand, Brennnessel-Bestand, sonstiger Dominanz-Bestand)</p>	<p>2</p>	<p>X</p>	<p>X</p>
	<p>35.50 Schlagflur</p>	<p>2</p>	<p>X</p>	<p>X</p>
 <p>© Witschel M. (Archiv LUBW)</p>	<p>35.40 Hochstaudenflur FFH 6431, 6432 § (außer - Hochstaudenflur hochmontaner Lagen (FFH 6432) und Sonstige Hochstaudenflur)</p>	<p>4</p>		

## Nutzungsschlüssel Ackerland (Auszug von 9 Seiten)

 <p>Ackerbohne</p>	<p><b>Ackerbohne, <i>Vicia faba</i></b></p>	<p>ABO</p>
 <p>Lein</p>	<p><b>Lein</b></p>	<p>LEI</p>
 <p>Weizen grün</p>  <p>Links: Weizen</p>  <p>rechts: Ähre</p>  <p>Jungpflanze</p>	<p><b>Weizen, Triticum</b></p> <p><b>Halm rundlich, Blattöhrchen schwarz bewimpert, Halm nicht umschließend (im Gegensatz zur Gerste!), Blatthäutchen mittelgroß, gezähnt, meist keine Grannen</b></p>	<p>WE</p>





Vlnr: Gerste, Weizen, Roggen



vlnr:Weizen,Triticale,Roggen

**Spalte Nutzung – Codes und Erläuterungen** (jeweils 1 Kürzel)

Die Liste beschränkt sich auf die häufigsten Nutzungstypen bzw. Feldfruchtarten und -sorten. Im Bereich Acker- und Grünland *kann* daher in Einzelfällen die Liste erweitert werden (Bsp. s.u.). Bitte im Zweifelsfall Rücksprache halten.

<b>Ackerland</b>	
<b>Mais</b>	<b>MA</b>
<b>Winterraps</b>	<b>WRA</b>
Sommer-Raps (relativ selten)	SRA
Sonnenblumen (selten)	SBL
Andere hochwüchsige Kulturen (z.B. Ackerbohne, Erbsen, Lein, gerne genauer Typ unter Bemerkungen eintragen...selten)	HK
<b>Wintergetreide</b> (unter Bemerkungen Sorte angeben, sofern bekannt)	<b>WGE</b>
Sommergetreide (rel. selten, unter Bemerkungen Sorte angeben, sofern bekannt)	SGE
<b>Hafer</b>	<b>HAF</b>
Luzerne (selten)	LUZ
Phacelia (selten)	PHA
Schnittblumenfeld (selten)	SBL
Stilllegungsfläche (selten)	STI
Unbekannt, Sonstiges (dann bitte beschreiben oder Foto)	SON
<i>Ggf. eigene weitere Kürzel (z.B. bei 2-Kulturensystemen Mischkulturen, z.B. Mais mit Sonnenblumen, Soja etc.)</i>	
<b>Reine Kleeensaat</b> (Klee-Grasgemisch kommt zu Intensivgrünland)	<b>KLE</b>
Futterrübe inkl. Zuckerrübe (selten)	FRAU
Kartoffeln (selten)	KA
Salat (selten)	SA
Sonstiges Gemüsekulturen (selten)	GEM
<b>Äcker</b> die (noch) <b>nicht bepflanzt</b> wurden, alles offenerdig liegen, also auch frische Schwarzbrachen, Vegetation noch unter 5 % Deckung	<b>ACK</b>

Weitere **potenziell** mögliche Unterteilungen der Ackerfrüchte (selten):

Ackerbohne	ABO
Erbse	ERB
Gelbe Lupine	GLU
Kohlarten	KO
Öllein	ÖLE
Zuckerrübe	ZRU

<b>Weiden</b>	
<b>Hut- und Standweiden</b> (Tiere müssen i.d.R. auf der Fläche sein!)	<b>WE</b>
<b>Koppel-, Umtriebs- und Mähweiden</b> (Pferde sind meistens auf Koppeln)	<b>MWE</b>
→ Unter Bemerkungen Tierart angeben, soweit bekannt	

Zusätzliche Codes für verbuschtes Grünland

<b>Verbuschungsgrad</b>	
bis 5 %	<b>1V</b>
5-30 %	<b>2V</b>
(> 30 %)	<b>3V</b>

I.d.R. sollten Flächen mit über 5 % Verbuschung nicht ausgewählt werden, mit Verbuschung ist nur sehr niedriges und junges Gebüsch unter 2-3 m bzw. jünger wie 5 Jahre gemeint, d.h. bei einer Wacholderheide muss nichts eingetragen werden/ wenn verbissene Krüppel-Schlehen oder kleinere Brombeerhorde auf der Fläche stehen, wird 1V ggf. auch 2V eingetragen

**Spalte Sondermerkmale** (Mehrfacheintragungen möglich)

An die Acker- und Grünlandcodes werden – soweit zutreffend – folgende **Ausprägungsfaktoren** angehängt, z.B. GEd, HAFIt:

<b>Bestandsdichte:</b>	<b>Code</b>
Lückig:	l
Mittel: <i>kein Kürzel!</i>	
Dicht:	d

<b>Feuchte:</b>	<b>Code</b>
Trocken:	t
Frisch: <i>kein Kürzel!</i>	
Feucht:	f
Nass:	n
Aktuell überstaut (mindestens 5 % der Fläche):	ü

<b>Besonderheiten:</b>	<b>Code</b>
Offene „Fehlstellen“ (z.B. Trocken- und Nässeschäden, Wildschaden):	o
Weitere eigene Kürzel:	

**Spalte Nutzungsaktivitäten** (am Tag der Begehung, Mehrfachnennungen erlaubt)

<b>Grünland</b>	
Beweidung aktuell	<b>wei</b>
Beweidung* beendet, d.h. Fläche ist offensichtlich schon beweidet worden, aber keine Tiere sind zu sehen	<b>weib</b>
„Heuen“ (Wenden und Schwaden)	<b>wen</b>
Mahd allgemein*: wenn Fläche abgemäht ist einfach „mah“ eintragen, ansonsten wie folgend spezifizieren	<b>mah</b>
Heumahd	<b>heu</b>

Grünfütter- oder Silagemahd (Mahdgut wird direkt entfernt)	<b>sil</b>
Mulchmahd (auch wenn vorher gemulcht wurde, das Mulchmaterial aber noch 50 % der Deckung ausmacht „mul“ eintragen)	<b>mul</b>
<b>Acker</b>	
Walzen	wal
Pflügen	pfl
Andere mechanische Ackerkrumenbehandlungen (z.B. Grubbern, Fräsen, Furchen, Striegeln, Eggen, etc.)	mec
Sähen (Spezifizierung von „mec“)	säh
Erntegang (Acker)	ern
weitere möglich, bitte dann erläutern	
<b>Acker &amp; Grünland</b>	
Mineral-Düngung	min
Organische Düngung	
Gülle / Schwemmmist	<b>gül</b>
Festmist	<b>fes</b>
Weitere: (bitte Kürzel eintragen)	
Spritzung	spr
Falls nur ein Teil des Schlages bewirtschaftet wurde (häufig bei Grünfütter), folgendes Kürzel anhängen:	<b>tei</b>

\*: i.d.R. wird kein abgeweidetes oder gemähtes Grünland aufgenommen: Ausnahmen:

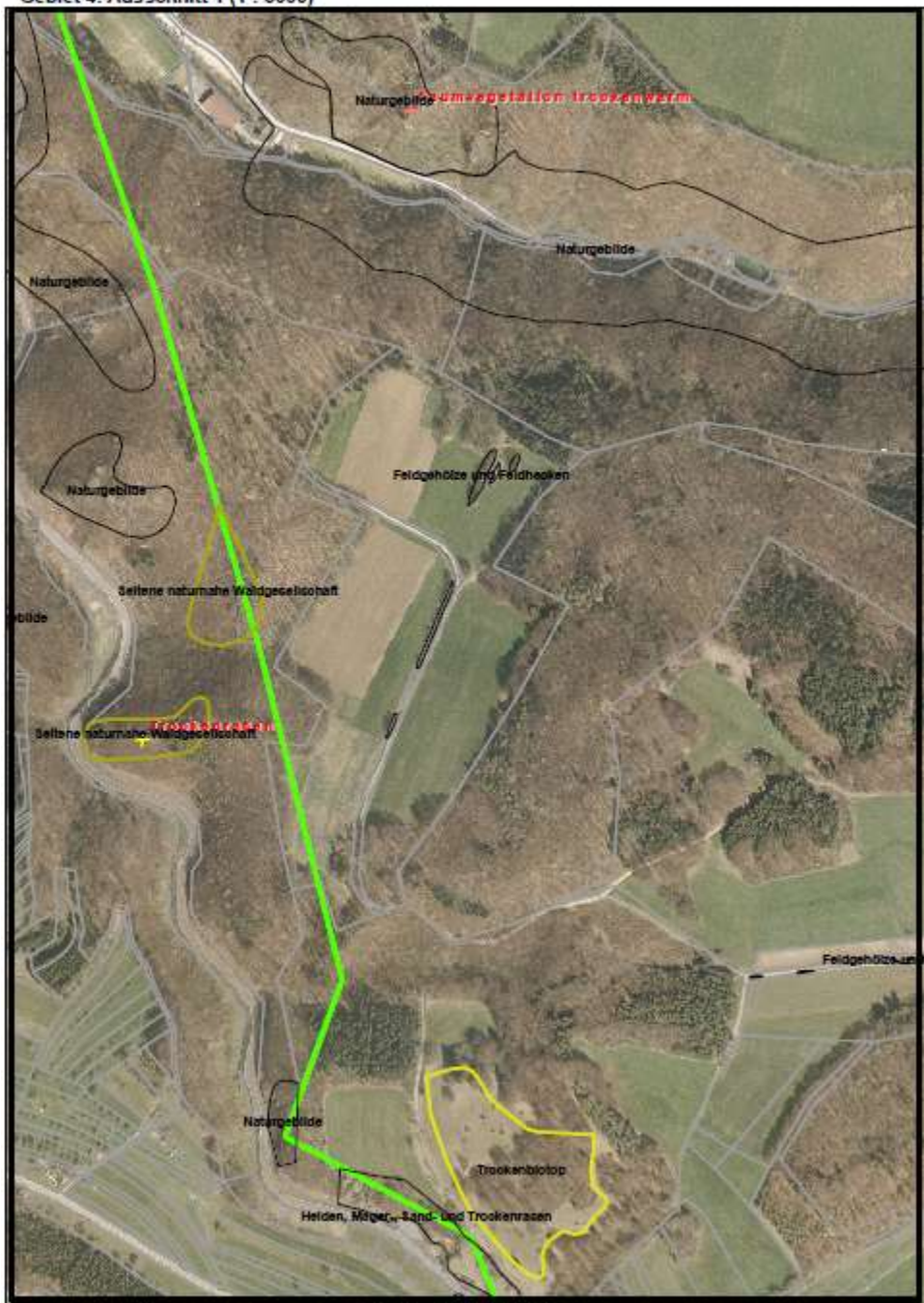
**Der Aufwuchs ist so groß (mindestens 20 cm), dass genügend Arten für eine Biotoptypenbestimmung sichtbar sind. 2. Ausnahme: jede Gruppe sollte jeweils 2 frisch gemähte und 2 frisch beweidete Flächen „aufnehmen“ (Biotoptyp dann leerlassen oder mit Fragezeichen)**

## Dateneingabe (ausgefüllt, Auszug)

Nr. der Aufnahme	Bitotyp-nr.	Wuchshöhe in cm	Blütenfarbe > 5% Deckung	Nutzung	Sondermerkmale	Nutzungsaktivitäten	Foto Nr. 1	Foto Nr. 2	GPS Koordinaten	Luftbildnummer	Bemerkungen
401	33.41	90	weiss, rosa				1070596	1070595, 1070592	3532379 5368322		artenreich, fett, Talau
402	12.10						1070600, 1070602	1070598	3532368 5368348		Fischtrappe
403	35.40	100	-				1070604, 1070612	1070605, 1070606	3534349 5367364	1	mit langsamer Verbuschung, Jungbäume
404	54.10	-	-				1070610		3534352 5367353	1	Felswand im Hintergrund
405	37.10	70	-	WGE			1070617		3543307 5366970	1	Triticale
406	41.10	-	-				1070619	1070618		1	
407	33.41	20	-				1070622			1	artenarm, fett
408	37.10	70		WGE			1070623	1070616		1	Triticale
409	41.20						1070626	1070620a	3534458 5366888	1	
410	55.20						1070625, 1070624		3534349 5366982	1	
411	59.44						1070630		3534495 5366926	1	relativ lichter Bestand
412	33.40	80	weiß, gelb				1070632		3534400 5366323	1	
413	41.20						1070633			1	
414	59.44						1070635			1	relativ dichter Bestand
415	36.50	100					1070636		3534423 5366328	1	mit vereinzelt Wacholder, wahrscheinlich nicht gemäht
416	55.20						1070638, 1070639			1	Hutewaldcharakter
417	36.50	40	gelb				1070640, 1070641, 1070642	1070652		1	stark verbuscht mit <i>Prunus spinosa</i> , viel <i>Genista sagittalis</i>
418	37.10	50	gelb	Gründüngung			1070643	1070644	3534368 5366654	1	

### Beispiel eines Feldarbeitsblattes

Gebiet 4: Ausschnitt 1 (1 : 5000)



## **Erstellung einer flächendeckenden Vorklassifizierungs-Maske (GIS-Daten)**

A) Überprüfung der BasisDLM-Shapes auf Vollständigkeit und Ausschneiden der auf BSG-Grenzen.

B) Sinnvolle Verschneidung der Shapes zu einer flächendeckenden Nutzungskarte (ohne Lücken):

1. Siedlungs\_Strassen-Geometrie:

-> An 2101 (Ortslagen) wurden angehängt:

2111 Wohnbaufläche

2112 Industrie- und Gewerbefläche

2113 Fläche gemischter Nutzung

2114 Fläche besonderer funktionaler Prägung

3103 Rastplatz

3302 Flugplatz, Landeplatz

3304 Vorfeld

3401 Hafen

3402 Hafenbecken

3501 Bahnhofsanlage

3502 Raststätte

4120 vegetationslos (ganz wenige liegen doch im Grünland)

5321 Uferbestigung

5303 Schleusen

5302 Talsperre, Wehr

3301 Flughafen

3303 Rollbahn

3511 Zollanlagen

3513 Tunnel

3514 Brücken, Unterführung

2202 Freizeitanlage

2227 Grünanlage

2213 Friedhof

2228 Campingplatz

2201 Sportanlage

-> Alle diese Objekte liegen nicht vollständig in den Ortslagen. Die Ortslagen wurden nach der Integration umfassender und damit kompletter abgebildet.



2. Acker: 4101 Acker

+ 4109: Sonderkulturen

3. Grünland: 4102 Grünland mit "Typ" (Spaltenmerkmal)

a.) Gehölzreiches Grünland = Büsche, Sträucher / Laub- und Nadelholz / Laubholz / Nadelholz / Streuobst

b.) sonstiges Grünland: kein Attribut und sonstiges

c.) Röhricht = Röhricht, Schilf

+ 4105: Moor, Moos

d.) Gehölzreiches Moor-Grünland = Büsche, Sträucher

zu 4108 Wald: e.1-3) Moor-Laubwald/-Mischwald/-Nadelwald = Laubholz / Laub- und Nadelholz / Nadelholz

f.) Moor-Feuchtwiesen = Gras

g.) wie c.): Moor-Röhricht

+4106: Sumpf, Ried

h.) wie d.): Gehölzreiches Sumpf-Grünland

zu 4108 Wald: i.1-3) wie e.) Sumpf-Laubwald/-Mischwald/-Nadelwald

j.) wie e.): Sumpf-Feuchtwiesen

k.) wie c.): Sumpf-Röhricht

-> c.)+g.)+k.) Unterscheiden sich kaum und wurde als "Röhricht" zusammengefasst (sehr gute Übereinstimmung).

-> Ebenso e.)+f.) zu "Feuchtwiesen" (sehr gute Übereinstimmung)

-> Die 3 Waldtypen können ebenfalls zusammengefasst werden (zusammen mit 4108), die Moos- und Sumpf-Wälder wären dann feuchte Varianten.)

--> Diese aggregierten Typen stehen im Feld Typ2 (Abgabe 1, GIS-Maske)

j.) +4103: Gartenland

k.) +4104: Heide

l.) + 4108: Gehölze: wie a.): Gehölzreiches Grünland

4. Wald:

+ 4107: Laub-/Misch-/Nadelwald + e.) + f.) feuchte Varianten

5. Gewässer:

+ 5101, 5102, 5103: Fluss, Bach / Kanal / Graben, Kanal = Fluss

## Sonderfälle:

4111: "Nasser Boden" ist eine Übersignatur, die feuchten Boden im Grünland und Acker, aber auch Wald kennzeichnet. Nur sehr wenige Polygone im BSG. Wurde nicht benutzt.

4199: "unbestimmt": Sehr indifferent, wurden per Luftbild nachklassifiziert, im Zweifelfall wie umliegende Polygone.

Nach der Integration der Objektgruppen Siedlung, Acker, Grünlandkomplex, Gewässer und Wald in jeweils eine feature classe, wurde die Überlappungen entfernt werden. Dies wurden nach folgender Priorität durchgeführt: 1. Grünlandkomplex, 2. Wald, 3. Acker, 4. Gewässer, 5. Siedlung. Konkret: Ggf. in der Reihenfolge ein erase durchführen (also zunächst alle Grünlandflächen aus den Siedlungsflächen erasen.) Die Grünlandflächen in den Siedlungsflächen sind allerdings tatsächlich meistens echtes Grünland und wurden daher belassen. Die Parks und Grünanlagen wurden aus den gleichlautenden Objekttypen des BasisDLM extrahiert (nachträglich).

Nach dieser Bereinigung bestanden v.a. noch folgenden Lücken: Gewässer (5103 , 5101 mit 0,5 m Puffer, nur unverrohrte) und Verkehrswege (3201, 3205: Bahn) mit 2 m Puffer sowie 3105 (ABs) mit 10 m Puffer sowie Straßen und Wege (3101 mit 1 m Puffer und 3102 mit 0,5 m Puffer). Die Pufferbildung schloss die meisten Lücken (hier sind nur geometrische Kleinelücken gemeint, echte Lücken wurden händisch nach digitalisiert: nur wenige Polygone).

Danach wurden man die 5 Klassen einzeln dissolved und mit einem union (ohne gaps) die Lücken gefüllt. Diese Lücken werden per spatial join mit den Linien-Pufferthemen (Gewässer, Verkehr) gejoint und attribuiert.

Die Linienförmigen Objekttypen wurden wie folgt in flächige Polygone umgewandelt und anschließend in der Gesamtergebnis eingesetzt:

Autobahnen (ABs) bzw. breite Straßen inkl. Brücken:

- Join der Lücken mit AB-Linienthema (3105)

- + 3514 (Brücken) die sich mit 3105 joinen (diese werden dann aus dem Siedlungsthema erased)

-> die bleiben AB-Lücken (entsprechend 3105) werden als 7 m Puffer beidseitig von Rest von 3105 hinzugefügt

-> alle 4120er- die an dieses AB-shapes per spatial join joinen werden zu AB gestellt (und aus Siedlung entfernt, nach Id dissolve Version)

=> AB wird so als eigener Typ zu Siedlung appended (hinzugefügt)

Von den ABs werden die zweispurigen Bahnkörper abgetrennt:

-> join mit 3205: alle noch nicht klassifizierten Flächen sind Bahnkörper

-> join mit 3204: wie oben, von den 10 als AB klassifizierten Flächen war eine doch Bahn (manuell geändert)

+ 13 Polygone aus dem Grünland und 1 Polygon aus Siedlung wurden manuell bei AB-Kreuzen und AB-Tunneleinfahrten zu AB umgewidmet (Fehlerbereinigung)

=> Danach wurden die Bahnkörper ausgegliedert und somit als Lücken behandelt, die entsprechend den umgebenden Flächen am Schluss geschlossen wurden (s.u.); vorher wurden die Siedlungsflächen erased (herausgeschnitten).

-> Zusätzlich wurde diese Bahnkörper-feature class appended mit dem T3f\_f\_3501\_Bahnhofsanlage aus dem aggregierten BasisDLM-Pool: Damit entsteht ein Polygon das recht komplett Bahnhöfe und zweigleisige Eisenbahnlinien umfasst.

-> Name: Bahn\_extra

Selektieren von echten Grünlandflächen innerhalb von Siedlungen:

V.a. Gehölzreiches Grünland (und dort v.a. Streuobstwiesen) wurden wie folgt aus den Siedlungen herausgezogen:

- "Gehölzreiches Grünland" wird als Clip für Siedlungen genommen; nach einem Multipart\_to\_singlepart wurden mit der ArcGIS-Erweiterung ET\_Geowizards alle doppelten Flächen und alle Flächen  $\leq 1000 \text{ m}^2$  entfernt; die über 10 ha und alle Golfplätze (steht unter Name\_GN in Siedlung mit Anfang "Golf") wurden beibehalten;

- Alle übrigen Flächen mit einer Thinness  $< 0.1$  und einer Circularity  $< 0.2$  (ET Geowizard Polygon Characteristics) fallen raus.

- Alle geclippten Siedlungsflächen mit den Objekttypen "xx" werden aus dem Siedlungsthema herausgenommen.

Vom dissolventen Siedlung wird erased: AB4120extra (s.o.), Golfplätze, Gehölzreiches Grünland (s.o.).

Danach wird "AB" zum Siedlung appended, dass dann nach einem Dissolve und Multipart\_Singlepart fertig ist.

Der Grünlandkomplex wird gejoint mit den Golfplätzen (diese liegen z.T. im Grünland). Die gejointen werden im Grünland gelöscht und danach alle Golfplätze als Gehölzreiches Grünland appended.

Wald und GrünlandkomplexmitGolf werden mit dem Nassen Boden (4111 als Linie) mit ET Geowizard geschnitten und anschließend gejoint:

-> Alle 4111-Flächen werden als "Feucht-Waldxy" bzw. "Feucht-Grünlandxy" attribuiert.

Alle Gebäude wurden in die Nutzungsflächen reingeclippt (Verschneidung von Linien mit Polygonen, vorher Attributübertragung mit Geowizards bzw. spatial joins: sehr zeitaufwendig, nur mit schnellem Rechner machbar).

Acker-Grünlandkomplex-Wald-Gewässer wurden appended, da hier offensichtlich keine Überschneidungen vorliegen. Nach einem Dissolve wurden alle Überlappungen mit Siedlung (auch dissolved, aus Performancegründen) zu Gunsten von Siedlung entfernt (weggeclippt) außer:

3103 (Platz)

4120 (vegetationslos)

-> Bei diesen beiden wurde die Offenland-Wald-Gewässer-Signatur übernommen (sofern vorhanden).

Die Lücken wurden wie die 4199-Flächen (unbestimmt) manuell anhand der Luftbilder klassifiziert (zusammen knapp 300 Polygone).

Die dissolvierten Flächen in der Klasse „Siedlung“ wurden zum Schluss zum OffenlandWald appended. So entsteht das Schluss-feature class "BasisDLM2009", das flächendeckend für Baden-Württemberg ist (Bodenseeflächen wurden gelöscht). Aus diesem wurde das BSG herausgeclipt.

Anschließend wurden neben dem exakten Nutzungstyp (Spalte „Typ“) noch ein aggregierter "Typ2" definiert, der bei Gewässern und Siedlung stark vereinfacht, im Offenland und Wald aber keine inhaltlichen Nachteile hat.

Die Siedlungen enthalten viele interne Überlagerungen (dies ist bereits im BasisDLM angelegt) - Duplikate wurden generell mit ET Geowizards entfernt.

Das „BasisDLM2009“ wurden abschließend noch mit einem Union mit sich selber (ohne gaps) von Überlappungen befreit und mit Eliminate (Geowizards) Flächen < 5 m<sup>2</sup>(außer Gebäude) und anschließend die noch verbleibenden Lücken (die beim Union geschlossen wurden) ebenfalls mit Eliminate geschlossen (longest Border).

Das Endresultat wurde mit ET Geowizards und Arcgis 10 geometrisch gesäubert („clean“) und anschließend wieder in die einzelnen Haupttypen (Wald, Acker, Grünland, Siedlung, Gewässer) getrennt und gesamthaft sowie einzeln dissolved.

(Zunächst nur Typ2 dissolved und dann im Falle der 5 Haupttypen nochmals komplett.)

Bereinigungen im Nachgang:

Bei 15 Flächen funktionierte der Eliminate-Befehl nicht, diese wurden manuell bereinigt.

Es wurde festgestellt, dass einige AB und Bahnflächen nicht als Attribut integriert waren (leeres Typ2). Diese wurden integriert.

Von den restlichen ca. 4000 Flächen ohne Nutzungsattribut wurden alles größer 5,9 m<sup>2</sup> manuell klassifiziert (wenige Dutzend) - der Rest sind hauptsächlich Splitter von Gebäuden. Mittels eines joins zwischen den Mittelpunkten dieser restlichen Flächen und den klassifizierten Siedlungs- und Gebäudeflächen wurden diejenigen Splitterflächen herausgesucht, die direkt an Siedlung und Gebäude angrenzen:

-> Mittelpunkt nicht weiter wie 5xx m entfernt.

Die restlichen Punkte wurden mit allen klassifizierten Flächen gejoint und erhielten das Attribut der nächstgelegenen Fläche.

Es bleiben aber auch danach viele kleine Splitterflächen in der kompletten Endversion. In den dissolventen Versionen verschwinden diese aber fast vollständig bzw. die restlichen Flächen unter 1 m<sup>2</sup> wurden mittels Eliminate mit den benachbarten Polygone verschmolzen (fast ausschließlich handelt es sich hier um Minigebäude).

Eine 0,6 ha Wiese fehlte - dieses wurde bei einem gap-Schließen mit ET Geowizards gefunden und in die Detailsversion kopiert. Minilöcher gibt es aber in allen Versionen noch - die Säuberungsalgorithmen sind nicht perfekt.

Fläche vom dissolventem DLM vor der nachträglichen Bereinigung: 35.748.532.901,3336 m<sup>2</sup> (Baden-Württemberg)

von der Detailsversion: 36.621.249.418,1752 also 872 km<sup>2</sup> Überlappungen (ca. 2,5 %)

#### MÄHWIESEN:

Überlappungen von den beiden Kartierungen 2004 und 2010 wurden zu Gunsten der exakteren Attribute von 2004 bereinigt und dann appended.

#### INVEKOS – landwirtschaftliche Nutzungsdaten:

Nach dem Einfügen der aktuellen Flurstücke von Gomadingen (neues Flurbereinigungsgebiet, bei dem die neuen Flurstücke noch nicht in der landesweiten Flurstücks-feature class integriert waren) wurde auf Basis der 07/2009-Flurstücke alle Flurstücke mit den Invekos-Daten gejoint (technisch schwierig). Dies war notwendig, da die InVeKoS-Daten nur per Flurstücksnummer an die Flurstückpolygone gejoint werden können und die Flurstücke daher aus dem korrekten Jahr stammen müssen.

Im GA („Gemeinsamer Antrag“ der Landwirte) 2010 werden 120 Nutzungscodes aufgeführt (2011: 122): Davon sind 78 im BSG vertreten (dies ohne die MEKA-B-AUM, die wir nicht haben).

Gesamtfläche Flurstücke BSG: 85314,1 ha (BSG-Fläche 85320 ha)

Offenland DLM: 44807,4 ha

Erfolgreiche joins: 59621 Flurstücke mit 47771,6 ha (hier sind auch Siedlungsflächen dabei, Gehöfte, und z.T. Wälder, die auch im GA sind).

Weitgehende 1:1 Übereinstimmung (> 70/80 %, nur 1 Nutzung, Realfläche > 100 m<sup>2</sup>): 49611 Flurstücke mit 26803,8 ha (59,8 %)

Im GA Wald, Gehölze>2000 m<sup>2</sup>, Siedlung: 2654 Flächen mit 2450,9 ha 3,5502

=> Abzüglich Wald, Siedlungsflächen verbleibende gute 1:1 Übereinstimmung: 47682 Flächen mit 25425,0 ha (56,7 %). Das heißt, Schläge mit landwirtschaftlichen Nutzungsangaben, die nicht 70-80 % eines Flurstückes umfassen, konnten nicht übernommen werden. Die Fällen mit 70 bis 80 % Abdeckung wurden halbautomatisch überprüft und entweder übernommen oder verworfen. Grundsätzlich liegen erfahrungsgemäß die InVeKoS-Daten nur für ca. 80 % der Offenlandfläche vor (Biotopflächen fallen oft raus oder Flächen von Nebenerwerbslandwirte, die nicht angemeldet werden).

In den Attributen wurde Grünland i.w.S. (ohne Weiden), Weiden und Mais getrennt. Die detaillierten Nutzungscodes sind auch verfügbar, sind aber nicht flächendeckend. Mais und Weiden wurden abgetrennt, da diese in der späteren Prozessierung (v.a. per Fernerkundung) komplementiert werden konnten.

Es gibt immer noch Grünlandflächen im Bereich der Siedlungen (DLM). Dies sind aber meistens Mischgebiete oder Wiesenflugplätze etc. Eine weitere Verschneidung ist hier nicht sinnvoll.

KOMBINATION von DLM/MÄHWIESEN/INVEKOS zu einer Grünlandmaske:

Es wurden die Außengrenzen vom DLM-Offenland gewählt (konservativ, wenige Fehler). Dann wurden die Mähwiesen in höchster Priorität und folgend die guten (1:1) GA-InVeKoS-Daten verschnitten. Dabei wurde unterschieden in:

Grünland-GA

Grünland-GA-Mähwiesen

Grünland-DLM-Mähwiesen

Mais-GA

Sonstiger Acker-GA

Sonstiges Grünland-DLM

Die Verschneidung funktioniert jeweils so:

- a.) Aus dem Mähwiesenshape wurde ein Linienthema gemacht
- b.) Dieses wurde mit ET Geowizard in das jeweilige Flächenshape reingeschnitten
- c.) Danach Multipart to singlepart
- d.) ET Geowizards: Attribut Adding über spatial join zw. Mähwiesenshape und zerschnittenem Flächenshape

Abschließend wurden Flächen unter 1 m<sup>2</sup> gelöscht.

Versuchsweise wurde versucht die Wege- und Straßen-DLM-Linien mit den Flurstücken zu joinen. Dabei gibt es aber immer wieder Fehler. Auch nach einem Snappen der Linien (5 m-Toleranz) an die Flurstücke, gab es keine klaren Kombinationen.

Daher wurde statt einem snappen folgendes Vorgehen praktiziert:

1. SpatialJoin des union-shapes von Wegen- und Straßen (Linien aus DLM) mit allen 2009er-Flurstücken.
2. Von den selektierten Flurstücken wurde nach folgender geometrischen Selektion alle "Wegflurstücks-ähnliche" Flurstücke selektiert:

"area" < 100000 and "ET\_Width" < 1000 and "ET\_Thick" < 0.35 and "ET\_Circ" < 0.25

(Alternativ hätte man diese Flurstücke mit ALB-Infos gleich selektieren können, diese lagen allerdings nicht vor.)

3. Die grenzwertigen Flurstücke zwischen ET\_Circ 0.15-0.25 (und ET\_Width>20) wurden manuell durchgeschaut (ca. 500).

4. Es fehlten einige Dutzend Bundesstraßenflurstücke (z.B. Neubau): Diese wurden zusammen mit anderen Lücken bei einer kompletten manuellen Durchsicht ergänzt.

=> Im Ergebnis wurden über 99 % aller Wegeflurstücke selektiert, sehr wenige Flusspolygone wurden fehlerhaft übernommen und mussten manuell entfernt werden.

Die Wege- und Straßenpolygone wurden nach einem Dissolve zu den Typ "Siedlung\_Verkehr" hinzugefügt.

Abschließende Reinigung:

a.) Geometry-Reinigung mit ET Geowizard und repair von Arcgis 10.0

b.) Union ohne gaps mit Argis 10.0

c.) Verschmelzen aller gaps mit dem Grenzpolygon mit der längsten gemeinsamen Kante mit ET Geowizards (eliminate)

d.) Die verbleibenden 18 Silverpolygone wurden manuell mit den Nachbarpolygonen gemergt.

Aus dem endgültigen Nutzungsshape wurde eine einfache Version mittels dissolve generiert, die nur zwischen Siedlung, Wald, Acker und Grünland unterscheidet (nur noch ca. 13.000 Polygone statt gut 32.000)

### **"Artenreiches Grünland" aus den MEKA III-Anträgen 2010**

Geliefert wurden 4805 Meldungen (Flurstücke). Nach dem Verbinden mit den Flurstücksshape ergaben sich 3559 Treffer (973,1 ha, das sind nur 3,9 % des GA-Grünlandes; zum Vergleich: es wurden 1348 ha FFH-Mähwiesen kartiert (und dies nicht einmal flächendeckend, nur für den Kreis Esslingen und zwei MAPs)). Die übrigen Meldungen liegen außerhalb des BSGs (es wurden die Daten aller Gemeinden geliefert, die Anteile am BSG haben). Von diesen Flächen nehmen 2816 Meldungen zum artenreichen Grünland mindestens 75 % der Flurstücksfläche ein. Nur diese wurden in der Vorprozessierung (Maske für Ecognition) genutzt. Die übrigen Flächen werden nach der Prozessierung in Ausnahmefällen verwendet. Im Gegensatz zu den GA-Nutzungscodes konnte hier der Grenzwert von 80 auf 75 % gesenkt werden, da offensichtlich nur Randstrukturen (i.d.R. Gehölze) in den Bereich der 25 %-Flächenanteile mit nicht artenreichem Grünland fallen. Diese werden im Rahmen der Prozessierung getrennt mit hoher Güte klassifiziert.

Von den 2816 Flächen werden 667 beweidet. Die dissolvtten Flächen (beweidet-nicht beweidet) wurden in ein Linienshape konvertiert und mit dem gesamten Nutzungsshape verschnitten. Nach einer Attributzuweisung mit ET Geowizards wurde die entsprechenden Flächen als zwei neue Typen integriert.

Reinigungsschritte:

- Flächen unter 10 m<sup>2</sup> behalten ihr Attribut.
- Flächen zwischen 10 und 200 m<sup>2</sup>: entsprechende Grünlandflächen werden attribuiert (Artenreiches Grünland).
- Flächen über 200 m<sup>2</sup>: Alle Flächen werden attribuiert (außer Wald bleibt Wald).
- Abschließendes Dissolve.

### **Integration der Waldinventur**

Es wurde nur die klassifizierten Waldtypen verwendet. Die nicht klassifizierten lagen größtenteils außerhalb von Waldflächen. Die Waldgrenzen ragen oft ins Offenland, so dass nur die inneren Grenzen genutzt wurden um die DLM-Waldgrenze zu attributieren. Nach einer Konvertierung zu Linien wurden diese getrennt mit den Waldpolygonen des BasisDLMs verschnitten. Mittels der Attributierfunktion der "ET Geowizards" (ähnlich einem Spatial Join) wurden die Waldtypen des Waldkatasters auf die Polygone des neuen Shapes übertragen.

Danach wurde die Geometrie mit ET Geowizards und ArcGIS "repair" gesäubert und mit ET Geowizards "Eliminate" (längste Kante für alle Flächen unter 200 m<sup>2</sup>, nur Flächen ohne Waldtypzuordnung aus dem Waldkataster) die kleinen Flächen mit Nachbarpolygonen verschmolzen. Ca. 20 Silverpolygone mussten manuell per "Merge" verschmolzen werden.

Anschließend blieben viele "Keulenpolygone" übrig, v.a. schmale "Waldränder" mit kleinen oder größeren Waldstücken als "Anhängseln". Grund sind die minimal unterschiedlichen Waldgrenzen im Forstkataster und BasisDLM. Mit der Auswahl aller Flächen unter 2.000 m<sup>2</sup> mit einer "Thickness" <0,1 (nur Flächen ohne Waldtypzuordnung) wurde 1282 der 7980 Polygone ausgewählt. Hierbei handelt es v.a. um schmale Ränder oder vernachlässigbare kleine Waldstücke, die mit einem anschließenden "Eliminate" mit dem Nachbarpolygon mit der längsten gemeinsamen Grenze verschmolzen.

Die verbleibenden 6721 Polygone enthalten immer noch viele "Keulenpolygone". Dieser werden nach der Prozessierung mit Ecognition aufgelöst. Die Flächen, die Ecognition separiert, werden dabei genutzt, um diese Keulenpolygone sinnvoll zu schneiden.

Insgesamt ist die Waldtrennung mit den forstlichen Daten keine, die sich streng an natürliche Bestandesgrenzen hält. Es wurde daher nur ausgewählte typische Bestände als Eichflächen in die Ecognitionklassifikation verwendet. Dazu können die mitgelieferten Prozentanteile der Baumarten verwendet werden (also möglichst Reinbestände oder typische Mischbestände). Die tatsächlichen Waldsegmente wurden schließlich fernerkundlich bestimmt (siehe Text).

### **LPR-Flächen (Landschaftspflegebericht)**

Die LPR-Flächen der drei BSG-Kreisverwaltungen lagen sehr divers vor. V.a. handelt es sich um Sommerschafweiden, größtenteils mit Hütehaltung, z.T. Koppelhaltung. Die verschiedenen Auflagen wurden unterteilt in "LPR-Weide", "LPR-Weide extensiv", "LPR-Weide intensiv" und "LPR-Magerrasen/Mähwiese". Insgesamt handelt es sich nur um 131 diskrete Flächen. Davon stammen gut 20 aus GA-Fiona-Schlagverzeichnissen, die nicht zum LPR gehören, mit denen allerdings die Schlaggrenzen exakter abgrenzbar sind.

Eine direkte Verschneidung mit dem "Nutzungsshape" ist nicht sinnvoll. Alle 131 Flächen wurden manuell gecheckt und ggf. die Flächenabgrenzungen korrigiert. Übernommen wurde nur das Attribut "beweidet". Fast durchweg handelte es sich um beweidete Heiden (Wacholderheiden).



### **Abschließende Aufarbeitung**








Die abschließende Aufarbeitung des "Nutzungssshapes" erfolgte in 3 Stufen:

- 3. Stufe** (Spalte Typ5): Detaillierte Nutzungstypisierung inkl. gleichartigen Typen
- 2. Stufe** (Spalte Typ5b): Detaillierte Nutzungstypisierung: Beste Grundlage für Datenweitergaben bzw. als Input für Definiens (Ecognition)
- 1. Stufe** (Spalte Typ6): Aggregierte Nutzungstypisierung

Legenden:**Legende****GesamtStufe1****Typ5**

	Laubwald
	Mischwald
	Nadelwald
	Wald nicht differenziert
	Acker
	Mais
	Grünland nicht differenziert
	Extensivwiesen
	Extensivwiesen beweidet
	Weiden
	Beweidete Heide
	Heide
	Röhricht, Schilf
	Weingarten
	Obstbaumpflanzung
	Siedlung-Wege
	Stillgewässer

**Legende****GesamtStufe2****Typ5**

	Laubwald
	Mischwald
	Nadelwald
	Wald nicht differenziert
	Acker
	Mais
	DLM-GA-Grünland
	Extensivwiesen
	Artenreiche Wiesen
	Artenreiche Mähwiesen
	Mähwiesen
	Artenreiche Mähwiesen-Weiden
	Mähwiesen-Weiden
	Artenreiche Weide
	Weiden
	Beweidete Heide
	Heide
	Röhricht, Schilf
	Weingarten
	Obstbaumpflanzung
	Siedlung-Wege
	Stillgewässer















































































**Legende****GesamtStufe3****Typ5**

	Traubeneichen-Mischwald
	labile Fichte Ziel Buchenmischwald
	Fichten-Mischwald
	Mischwald extensiv
	Eiche Ziel Buchen-Mischwald
	Stieleichen-Mischwald
	Kiefer Ziel Buchen-Nadelbaum-Mischwald
	Buchen-Laubbaum-Mischwald
	Buchen-Nadelbaum-Mischwald
	Buntlaubbaum-Mischwald
	Douglasien-Mischwald
	Wald
	Acker (ohne Mais)
	DLM-Acker
	Mais
	GA-Grünland i.w.S.
	DLM-Grünland
	Extensivwiesen
	Artenreiche Wiesen
	Artenreiche Mähwiesen
	Mähwiesen
	Artenreiche Mähwiesen-Weiden
	Mähwiesen-Weiden
	Artenreiche Weide
	Beweidete Heide
	Weiden
	Heide
	Röhricht, Schilf
	Weingarten
	Obstbaumpflanzung
	Siedlung-Wege
	Stillgewässer

## Legende

## GA 2010

## Flurstbsg09GA.GACode2010

	Aufforstung nach Aufforstungsprämie 1991-1992		Sonstige Ackerfutterpflanzen		Chinaschilf (Miscanthus)
	Aufforstung nach der Einkommensverlustprämie		Ackerbohnen		Sonnenblumen
	Aufforstung nach der Erstaufforstungsprämie 1993 bis 2006		Erbsen		Haus- und Nutzgärten
	Baumschulen - sonstige Flächen		Erbsen/Ackerbohnen-Gemenge		Hof-, Wege- und Gebäudeflächen
	Waldflächen		Frühkartoffeln		Ackerrandstreifen
	Weihnachtsbäume		Futterrüben (Runkelrüben)		Dinkel
	Feldgehölze größer 2000 qm		Gemüse im Freiland		Hartweizen
	Bewirtschaftete Gewässer, Teichflächen		Linzen		Sommergerste
	Biotope mit landw. Nutzung - Dauergrünland		Pflanzkartoffeln		Sommerhafer
	Flächen mit LPR-Pflegevertrag		Sonstige Kartoffeln		Sommernenggetreide mit Weizen
	Biotope ohne landw. Nutzung		Sonstige Speisekartoffeln		Sommernenggetreide ohne Weizen
	Hutungen, Streuwiesen und extensive Weidestandorte		Sonstige Öfrüchte (z.B. Rübsen, Körnersef)		Sommerroggen
	Koppelschafweiden		CCM-Mais		Sommertriticale
	Mähweiden		Körnermais		Sommerweizen
	Sommerschafweiden		Silomais (Hauptfutter)		Wintergerste
	Weiden		Silomais-Sonnenblumengemenge		Winterhafer
	Wiesen (einschl. Streuobstwiesen)		Sommerraps		Wintermenggetreide mit Weizen
	Streuobst ohne Wiesennutzung		Winterraps		Winterroggen
	Dauergrünlandstilgelegt inkl. FELEG		Rebland		Wintertriticale
	Grünland ohne landw. Nutzung		Unbestockte Rebfläche		Winterweizen
	Ackergras		Kern- und Steinobst		Alle anderen Getreidearten
	Grassamenvermehrung		Süßlupinen		Acker stillgelegt inkl. FELEG
	Klee		Spargel		Abbau-, Od-, Unland
	Kleegras, Luzerne-Gras-Gemenge		Erdbeeren		Unbefest. Mieten, Dunglagerplätze Acker
	Luzerne		Blumen u.ä. im Freiland		Unbefest. Mieten, Dunglagerplätze Acker
			sonstige Handelsgewächse		Sonstige Flächen (z.B. Holzlagerung)
			Budangras		

### Röhricht (Detailerläuterung)

Grundlage der Klassifikation ist das Feuchtflecken-Shape. Innerhalb von diesem wurde für die Gruppe der per Laserscanning-Daten als Offenland-Gehölze klassifizierten Objekte folgende Selektion durchgeführt:

**A:** ( $"Zirkularität">0.7$  and  $"Fläche"<20m^2$ ) or ( $"vefNgrdN" >0.9$  and  $"Fläche"< 500m^2$ ) or ( $"Mittlere Höhe" < 2.5m$  and  $"Fläche"< 500m^2$ ) and  $"Höhe"<3.8m$

mit vefNgrdN: Anzahl Firstpulse-Reflexionen der Klasse "Vegetation" / Anzahl der Lastpulse-Reflexionen der Klasse "ground"

Da sich im BSG zu wenige Schilf und Großseggenrieder vorkommen, wurde diese Selektion wissenschaftsbasiert auch an Hand von Testflächen der Gemeinde Radolfzell am Bodensee vorgenommen. Resultat dieser Selektion sind alle im Spätwinter noch über 1m hoch stehenden Schilf-, Großseggen- oder Hochstauden im feuchten Bereich inklusive von sehr kleinen jungen Einzelbüschen. Um letztere herauszufiltern wurde zunächst der mittlere NDVI (Juli-CIR-Befliegung) für alle Einzelpolygone der Feuchtflecken berechnet (ohne Gehölze und Gehölzschatten). Anschließend wurde für alle nach der obigen Selektionsregel selektierten Polygone ebenfalls der mittlere NDVI berechnet (inkl. Gehölzschatten).

**Selektionsregel B:** Wenn der mittlere NDVI eines Einzelobjektes mehr wie 15 % unter dem des mittleren NDVI der gesamten Feuchtflecke liegt oder mindestens ein Pixel (20 cm x 20 cm) mehr wie 60 % unter dem des mittleren NDVI liegt, wurden diese Objekte als kleine Gebüsche (zurück-)klassifiziert.

Günstiger als die Gehölzobjekte, die (vereinfacht gesagt) aus einem nDOM-Schnitt in 1m-Höhe generiert wurden, wären Objekte in einer Schnitthöhe von 30 cm. Für 2 je 2 km<sup>2</sup>-Testflächen (u.a. Schopflocher Moor) wurde dies durchgeführt, es ergaben sich allerdings gerade drei zusätzliche Objekte. In den Testflächen am Bodensee wurden deutlich mehr zusätzliche Objekte in dieser Höhenlage generiert. Grund dafür ist vermutlich die lange Schneelage im BSG mit ca. 50 cm für mindestens 6 Wochen im Winter 2001/2002 (also vor der Laserscanning-Befliegung). Nur Landschilf und sehr kompakte und robuste Hochstaudenfluren bzw. Großseggenrieder werden bei einer solchen Schneelast nicht zu Boden gedrückt. Zur Bestimmung dieser Biotopflächen wäre daher ein Laserscanning-Befliegung Ende November ideal. Die vorliegende Klassifikation unterschätzt daher sicher die vorhandenen Biotopflächen.

Um diesen Schneelast-Effekt auszugleichen wurden die eigentlichen Biotopflächen wie folgt generiert:

Die gesamten Feuchtflecken wurden nach RGB-Werten mit Ecognition fein segmentiert. Wenn bereits eine Schilf-/Hochstaudenobjekt innerhalb eines dieser Segmente liegt, wurde die gesamte Segmentfläche als Biotopfläche übernommen.

Zum Schluss wurde anhand der RGB-Werte die Biotoptypen (-Gruppen) „Landschilf“ und „Großseggenrieder/feuchte Hochstaudenfluren“ klassifiziert:

**C: Landschilf:**

In Bezug auf die R- und B-Werte = 100 sowie G-Wert = 120 liegt der einfache Standardfehler dieser Werte im Bereich von +/- 30 Farbskalawerteinheiten. Es wurden also die blasblauen Segmente als Landschilf bezeichnet. Diese Werte müssen je nach Flugzeitpunkt neu geeicht werden.

Großseggenrieder/feuchte Hochstaudenfluren:

Alle restlichen Segmente wurden in diese Klasse eingeordnet.

Beispielfläche:



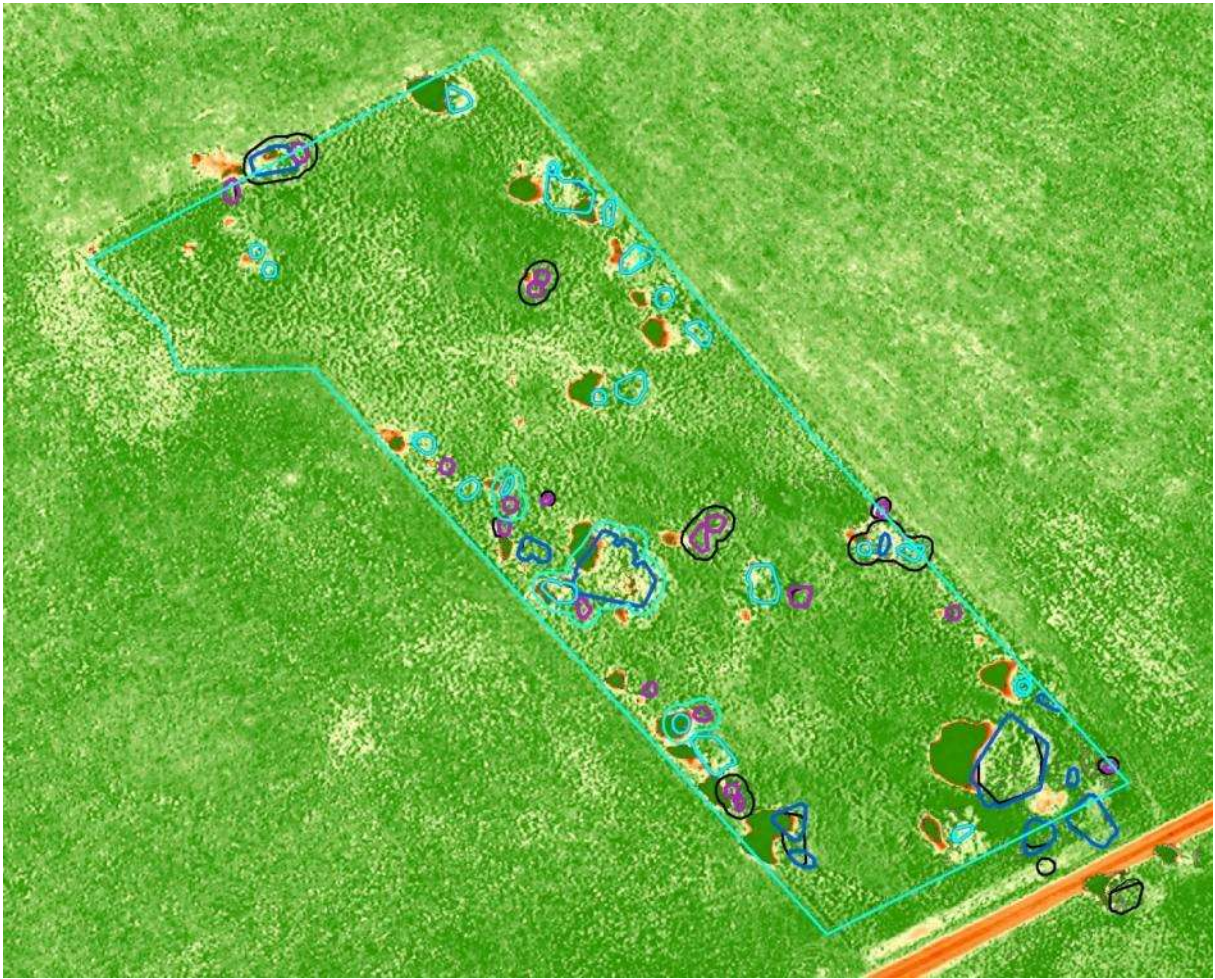
**Legende:**

Blauer Rand: Grenze der Feuchtfläche

Schwarz: Gehölzgruppen

Blau: Offenland-Gehölze

Rosa: nach Selektionsregel A selektierte Offenland-Gehölze = potentielle Schilf-/Hochstauden



**Legende:** wie oben

Hellblau: Potentielle Schilf-/Hochstaudenobjekte, die nach Selektionsregel B wieder (zurück-) als Offenland-Gehölz klassifiziert wurden.



**Legende:** wie oben

Hintergrund Ortholuftbild von 2007: Hier ist deutlich zu erkennen, dass tatsächlich alle fälschlicherweise als Schilf-/Großseggenried vorübergehend klassifizierten Objekte wieder zurück als Gehölze klassifiziert wurden. In einem Fall (roter Kreis) handelte es sich allerdings nicht um ein Gehölz.



**Legende:** wie oben

Braune Schraffur: Grossegggenried/feuchte Hochstaudenflur



## **Proposal - TerraSAR-X und RapidEye-Daten**

### **Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring – ALBMONITORING**

Das vorgeschlagene Proposal soll das Potenzial der Rapid Eye-Daten für die Aufnahme und Beobachtung von Naturschutzflächen in Baden-Württemberg untersuchen. Dabei soll der große Vorteil der Rapid Eye-Daten, die hohe zeitliche Auflösung, zur Beobachtung der phänologischen Entwicklung von Biotoptypen, insbesondere der unterschiedlichen Grünlandtypen (Feucht-, Mager-, Trocken-) oder auch der Feuchtgebiete genutzt werden, um damit die nur monotemporal vorliegenden optischen, sehr hoch aufgelösten Flugzeugdaten (UltraCAM) zu ergänzen. In Verbindung mit weiteren Fernerkundungsdaten (TerraSAR-X, LIDAR, etc.) sollen phänologisch relevante Variablen wie Vegetationsdichte, Schnitt, Trocken- bzw. Feuchtigkeitsstress bestimmt werden, für das Biosphärengebiet Schwäbische Alb damit sogar zum ersten Mal, was eine enorme Ausweitung des Monitorings im Naturschutzbereich durch satellitengestützte Fernerkundungsdaten bedeutet. Speziell die Fusion mit TerraSAR-X-Daten soll die Grünlandtypisierung aufgrund von Oberflächenrauigkeit, Volumenstreuung und Vegetationshöhe erleichtern.

Ein weiterer Vorteil den die Rapid Eye-Daten bieten ist der Red-Edge Kanal (690-730 nm), der stark mit der Chlorophyll-Konzentration korreliert (Curran et al. 1990, 1992), wobei hier die besten Ergebnisse für extensive Grassländer erzielt wurden (Pinar & Curran 1996, Jago et al. 1999). Insofern soll hier die spezifische Red-Edge-Charakteristik (Position, Steigung) der Grünland-Vegetation untersucht werden, da diese aufgrund ihrer flächendeckenden Verbreitung im Untersuchungsgebiet übergeordnete Bedeutung (Naturschutzrelevanz) besitzt.

Darüber hinaus bietet die gegenüber bisher eingesetzten optischen Systemen (Landsat, etc.) erhöhte räumliche Auflösung eine signifikante Verbesserung der Bestimmung der Flächenanteile einzelner Landbedeckungsklassen (Grünland, Acker, etc.) und deren Veränderung vor dem Hintergrund der FFH-Berichtspflicht. Die Innovation des vorgestellten Projektvorschlages liegt damit sicherlich in der multisensoralen Integration der Rapid Eye-Daten mit höchst aufgelösten Flugzeugdaten.

#### **Beitrag zu Missionszielen:**

Der vorgestellte Projektvorschlag zielt ausschließlich auf eine wissenschaftliche Nutzung der Rapid Eye-Daten ab, mit den Daten sollen wissenschaftliche Tests durchgeführt werden, es soll das Potenzial der Rapid Eye-Daten für ein Naturschutzmonitoring eingeschätzt werden. Mit Hilfe des vorgestellten Projektvorschlages sollen mehr Informationen über die regionale Landnutzungsentwicklung gewonnen werden: das zum UNESCO-Weltnaturerbe erklärte Biosphärengebiet Schwäbische Alb ist zu einer regelmäßige Inventarisierung seiner Biotoptypen verpflichtet. Der klare Forschungscharakter des vorgestellten Projektvorschlages liegt in der multisensoralen Verknüpfung unterschiedlicher Erdbeobachtungsdaten, mit denen eine standardisierte Methode der fernerkundungsbasierten Biotoptypenkartierung entwickelt werden soll.

Letztendlich sollen Handlungsempfehlungen im Hinblick auf eine weitere naturschutzfachlich orientierte Nutzung der Rapid Eye-Daten aus dem Projektvorschlag abgeleitet werden, d.h. es soll die weitergehende Nutzung von Rapid Eye-Daten stimulieren.

Das Projekt ist damit für alle vier Themenfelder des RESA Science Plans und damit den wissenschaftlichen Missionszielen relevant:

1. Landbedeckung und Vegetation: Untersuchung der detailgetreuen Kartierung verschiedener Biotoptypen (Grünlandtypen, Pflanzengesellschaften),
2. Dynamische Prozesse in Land- und Forstwirtschaft: Einschätzung des Potenzials der Rapid Eye-Daten zur Analyse des phänologischen Zyklus der einzelnen Biotoptypen und Feuchtgebiete,
3. Umweltschutz und natürliche Ressourcen: Beurteilung des Potenzials von Rapid Eye-Daten zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Schutzwürdigkeit einzelner Flächen,
4. Forschung und Entwicklung von Monitoringsystemen: Entwicklung einer integrierten fernerkundungsbasierten Methode zum Monitoring von Biotoptypen.

Insgesamt sollen die Vorteile des Rapid Eye-Systems (hohe zeitliche Auflösung, hohe räumliche Auflösung) für vegetationsgeographische Anwendungen genutzt werden. Dazu kommt die synergetische Verwendung in Kombination mit weiteren Satellitendaten (vor allem aus dem Mikrowellenbereich TerraSAR-X, etc.). Das vorgeschlagene Projekt stimmt somit mit den wissenschaftlichen Missionszielen voll und ganz überein. Die Durchführung des Vorhabens ist finanziell gesichert.

#### **Kurzfassung des Projektvorschlages:**

Entsprechend der wissenschaftlichen Zielsetzung des RESA AOs soll das Potenzial der Rapid Eye-Daten für die Aufnahme und Beobachtung von Naturschutzflächen in Baden-Württemberg untersucht werden. Die vorliegende Projektskizze hat das Ziel anhand der zur Verfügung stehenden hoch auflösenden Fernerkundungsdaten eine flächendeckende, hierarchisch aufgebaute und detaillierte Biotop- und Nutzungstypenkartierung gemäß den offiziell vorliegenden Kartieranleitungen zu erstellen. Damit soll eine Grundlage für eine regelmäßige Zustandsüberprüfung der Biotope innerhalb des Biosphärengebiets gelegt werden („Landschaftsmonitoring“). Methodisch wird hier ein integrativer Ansatz aus innovativen Bildverarbeitungsmethoden (Objektorientierte Klassifikationsalgorithmen) sowie bereits vorliegenden Geodaten (Laserscanning DGM, etc.) als auch satellitengestützten, zeitlich hoch auflösenden (RapidEye) und Radarfernerkundungsdaten (TerraSAR-X) vorgeschlagen. Dieser Ansatz verfolgt damit nicht nur anwendungsbezogene Forschungsfragen, er macht sich die Synergie von Fernerkundungsdaten aus unterschiedlichen Spektralbereichen sowie unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Auflösungen zu nutze. Der Aufbau von regelbasierten Entscheidungsbäumen auf der Basis von simultan zur Befliegung durchgeführten Geländemessungen zur Klassifikation der verschiedenen Biotoptypen stellt einen Quasi-Standard dar, der mittelfristig die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit und damit eine zuverlässige Datenkontinuität im Hinblick auf das Landschaftsinventar für das UNESCO-Biosphärengebiet garantiert.

Dabei sollen die Vorteile der Rapid Eye-Daten, die hohe zeitliche und räumliche Auflösung, zur Beobachtung der phänologischen Entwicklung von Biotoptypen, insbesondere der unterschiedlichen Grünlandtypen (Feucht-, Mager-, Trocken-) oder auch der Feuchtgebiete genutzt werden, um damit die nur monotemporal vorliegenden optischen, sehr hoch aufgelösten Flugzeugdaten (UltraCAM) zu ergänzen. Darüber hinaus sollen flächendeckende Informationen zu einzelnen biophysikalischen Parametern (Blattflächenindex, Bedeckungsgrad, etc.) aus Rapid Eye-Daten abgeleitet werden. Dazu gehört auch die Landoberflächenbedeckung, deren phänologische Entwicklung der Grünlandflächen in hoher zeitlicher Auflösung

beobachtet werden kann und aufgrund derer hydrologische Parameter zu Prozessen wie Interzeption, Evapotranspiration, Infiltration oder Durchwurzelungstiefe bestimmt werden können. Dem Red-Edge-Kanal kommt dabei bei der Analyse der Chlorophyll-Konzentration einzelner Pflanzengesellschaften eine entscheidende Rolle zu.

Da über die Qualität der Grünlandtypen (Feucht-, Mager-, Trocken-) im Biosphärengebiet bisher so wenig bekannt ist, soll dieser Fragestellung im Rahmen des Projektes besondere Aufmerksamkeit zu Teil werden.

Methodisch sollen sowohl die monotemporalen, flugzeuggestützten UltraCAM- als auch die TerraSAR-X und RapidEye-Daten objektorientiert ausgewertet (Segmentierung, Multi-Level-Ansatz, etc.) werden. Dabei dienen die multitemporal aufgezeichneten TerraSAR-X und RapidEye-Daten vor allem der phänologischen Analyse monotemporal nicht zu trennender Pflanzengesellschaften.

Grundsätzlich werden mit den modernen Fernerkundungsverfahren, egal ob pixel- oder objektorientiert, Indikatoren zur Biotopvielfalt und zur Bewertung des Zustands von Habitaten (z.B. Gehölzbedeckung, offene Flächen, etc.) geliefert. Sie bilden die Grundlage für flächenmäßige, prozentuale Veränderungsnachweise, so dass sich letztendlich die Entwicklung des Flächenanteils naturnaher Biotope auf Gemeindeebene aggregieren lässt. Vom Antragsteller wird ein ähnliches regelbasiertes Verfahren vorgeschlagen, das multitemporale Auswertungen mit weiteren satellitengestützten Sensoren (RapidEye, TerraSAR-X) zur Erhöhung der Klassifikationsgenauigkeit integriert.

Insgesamt entsprechen die Ziele des Projektvorschlages auch den wissenschaftlichen Zielen des Beobachtungsprogrammes für UNESCO-Weltnaturerbe. Insofern erhofft man sich durch den Einsatz der Rapid Eye-Daten verbesserte Biotoptypenkartierungen. Die Auswertung der Rapid Eye-Daten sollen im Rahmen des vom Regierungspräsidium Tübingen unter dem Kennzeichen 55-3 geförderten Projektes „Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring“ durchgeführt werden. Neben dem eigentlichen Untersuchungsgebiet Biosphärengebiet Schwäbische Alb soll die zu entwickelnde integrierte und standardisierte Methodik in weiteren Baden-Württembergischen Naturschutzgebieten (Wurzacher Ried, Bodensee bei Radolfzell, Oberrheingraben bei Karlsruhe) im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) getestet werden (Test auf Übertragbarkeit).

### **Datenanforderung:**

Vorliegende Archivdaten der Jahre 2010 und 2011 für alle 4 Untersuchungsgebiete (insgesamt 104 Produkte), darüber hinaus die komplette Vegetationsperiode 2012 (je 6 Aufnahmen pro Untersuchungsgebiet, jeweils im Level 3A = 72 Produkte):

Beobachtungsgebiet 1 (Biosphärengebiet Schwäbische Alb, jeweils 7 Kacheln):

April bis Oktober 2012 – alle 30 Tage eine Aufnahme – insgesamt  $6 \times 7 = 42$

Beobachtungsgebiet 2 (Wurzacher Ried, jeweils 1 Kachel):

April bis Oktober 2012 – alle 30 Tage eine Aufnahme – insgesamt  $6 \times 1 = 6$

Beobachtungsgebiet 3 (Karlsruhe, jeweils 2 Kacheln):

April bis Oktober 2012 – alle 30 Tage eine Aufnahme – insgesamt  $6 \times 2 = 12$

Beobachtungsgebiet 4 (Radolfzell, jeweils 2 Kacheln):

April bis Oktober 2012 – alle 30 Tage eine Aufnahme – insgesamt  $6 \times 2 = 12$

## Detaillierte Beschreibung:

### Ziele und wissenschaftliche Schwerpunkte

Entsprechend der wissenschaftlichen Zielsetzung des RESA AOs soll das Potenzial der Rapid Eye-Daten für die Aufnahme und Beobachtung von Naturschutzflächen in Baden-Württemberg untersucht werden. Die vorliegende Projektskizze hat das Ziel anhand der zur Verfügung stehenden hoch auflösenden Fernerkundungsdaten eine flächendeckende, hierarchisch aufgebaute und detaillierte Biotop- und Nutzungstypenkartierung gemäß den offiziell vorliegenden Kartieranleitungen zu erstellen. Damit soll eine Grundlage für eine regelmäßige Zustandsüberprüfung der Biotope innerhalb des Biosphärengebiets gelegt werden („Landschaftsmonitoring“). Methodisch wird hier ein integrativer Ansatz aus innovativen Bildverarbeitungsmethoden (Objektorientierte Klassifikationsalgorithmen) sowie bereits vorliegenden Geodaten (Laserscanning DGM, etc.) als auch satellitengestützten, zeitlich hoch auflösenden (RapidEye) und Radarfernerkundungsdaten (TerraSAR-X) vorgeschlagen. Dieser Ansatz verfolgt damit nicht nur anwendungsbezogene Forschungsfragen, er macht sich die Synergie von Fernerkundungsdaten aus unterschiedlichen Spektralbereichen sowie unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Auflösungen zu nutze. Der Aufbau von regelbasierten Entscheidungsbäumen auf der Basis von simultan zur Befliegung durchgeführten Geländemessungen zur Klassifikation der verschiedenen Biotoptypen stellt einen Quasi-Standard dar, der mittelfristig die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit und damit eine zuverlässige Datenkontinuität im Hinblick auf das Landschaftsinventar für das UNESCO-Biosphärengebiet garantiert.

Dabei sollen die Vorteile der Rapid Eye-Daten, die hohe zeitliche und räumliche Auflösung, zur Beobachtung der phänologischen Entwicklung von Biotoptypen, insbesondere der unterschiedlichen Grünlandtypen (Feucht-, Mager-, Trocken-) oder auch der Feuchtgebiete genutzt werden, um damit die nur monotemporal vorliegenden optischen, sehr hoch aufgelösten Flugzeugdaten (UltraCAM) zu ergänzen. Darüber hinaus sollen flächendeckende Informationen zu einzelnen biophysikalischen Parametern (Blattflächenindex, Bedeckungsgrad, etc.) aus Rapid Eye-Daten abgeleitet werden. Dazu gehört auch die Landoberflächenbedeckung, deren phänologische Entwicklung der Grünlandflächen in hoher zeitlicher Auflösung beobachtet werden kann und aufgrund derer hydrologische Parameter zu Prozessen wie Interzeption, Evapotranspiration, Infiltration oder Durchwurzelungstiefe bestimmt werden können. Dem Red-Edge-Kanal kommt dabei bei der Analyse der Chlorophyll-Konzentration einzelner Pflanzengesellschaften eine entscheidende Rolle zu.

Da über die Qualität der Grünlandtypen (Feucht-, Mager-, Trocken-) im Biosphärengebiet bisher so wenig bekannt ist, soll dieser Fragestellung im Rahmen des Projektes besondere Aufmerksamkeit zu Teil werden.

Methodisch sollen sowohl die monotemporalen, flugzeuggestützten UltraCAM- als auch die TerraSAR-X und RapidEye-Daten objektorientiert ausgewertet (Segmentierung, Multi-Level-Ansatz, etc.) werden. Dabei dienen die multitemporal aufgezeichneten TerraSAR-X und RapidEye-Daten vor allem der phänologischen Analyse monotemporal nicht zu trennender Pflanzengesellschaften.

Grundsätzlich werden mit den modernen Fernerkundungsverfahren, egal ob pixel- oder objektorientiert, Indikatoren zur Biotopvielfalt und zur Bewertung des Zustands von Habitaten (z.B. Gehölzbedeckung, offene Flächen, etc.) geliefert. Sie bilden die Grundlage für flächenmäßige, prozentuale Veränderungsnachweise, so dass sich letztendlich die Entwicklung des Flächenanteils naturnaher Biotope auf

Gemeindeebene aggregieren lässt. Vom Antragsteller wird ein ähnliches regelbasiertes Verfahren vorgeschlagen, das multitemporale Auswertungen mit weiteren satellitengestützten Sensoren (RapidEye, TerraSAR-X) zur Erhöhung der Klassifikationsgenauigkeit integriert.

Insgesamt entsprechen die Ziele des Projektvorschlages auch den wissenschaftlichen Zielen des Beobachtungsprogrammes für UNESCO-Weltnaturerbe. Insofern erhofft man sich durch den Einsatz der Rapid Eye-Daten verbesserte Biotoptypenkartierungen. Die Auswertung der Rapid Eye-Daten sollen im Rahmen des vom Regierungspräsidium Tübingen unter dem Kennzeichen 55-3 geförderten Projektes „Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring“ durchgeführt werden. Neben dem eigentlichen Untersuchungsgebiet Biosphärengebiet Schwäbische Alb soll die zu entwickelnde integrierte und standardisierte Methodik in weiteren Baden-Württembergischen Naturschutzgebieten (Wurzacher Ried, Bodensee bei Radolfzell, Oberrheingraben bei Karlsruhe) im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) getestet werden.

#### Informationen über die Finanzierung (Förderkennzeichen)

Die Auswertung der Rapid Eye-Daten soll im Rahmen der Kooperation des Lehrstuhls für Geoinformatik an der Universität Tübingen und der Biosphärengebietsverwaltung unter dem Kennzeichen 55-3 des vom Regierungspräsidium Tübingen geförderten Projektes „Flächendeckende Biotop- und Nutzungstypenkartierung im Biosphärengebiet Schwäbische Alb mittels Fernerkundungsdaten als Basis für ein Landschaftsmonitoring“ durchgeführt werden. Neben den phänologisch-pflanzensoziologischen Auswertungen sollen auch die hydrologischen bzw. geomorphologischen Arbeiten des Antragstellers unterstützt werden.

#### Analysemethoden

Nach verschiedenen Vorverarbeitungsschritten (absolute Entzerrung mit Hilfe der LIDAR DGM-Daten des Landes Baden-Württemberg, 1 m Raster) und der Anwendung einzelner Bildverbesserungsmethoden (radiometrische Angleichung, Filterung, etc.) werden die Rapid Eye-Daten unterschiedlichen Berechnungsverfahren zugeführt. Dabei handelt es sich zum einen um die Berechnung biophysikalischer Vegetationsindizes zur Bestimmung des Blattflächenindex – LAI bzw. der fraktalen Vegetationsbedeckung aus NDVI und TSAVI um daraus die hydrologischen Prozessgrößen Interzeption und Infiltration zu bestimmen sowie des Chlorophyllgehalts aus dem Red-Edge-Kanal. Zum anderen sollen hybride Klassifikationsmethoden mit klassischen pixelbasierten sowie objektorientierten Klassifikationsansätzen für die räumlich hoch aufgelösten Rapid Eye-Daten eingesetzt werden, um eine entsprechende Detailschärfe bei Talauen, Feuchtgebieten, Wasser- und Waldflächen sowie intensiv genutztem Grünland zu erreichen. Abschließend sollen Genauigkeitsanalysen durchgeführt werden.

### Erwartete Ergebnisse mit Blick auf die Lösung wissenschaftlicher Probleme

Der vorgestellte Projektvorschlag soll zeigen, wie man mit Hilfe der Rapid Eye-Daten wertvolle, zeitlich und räumlich hoch auflösende, flächendeckende naturschutzrelevante Informationen zum wiederholten Landschaftsmonitoring gewinnen kann. Darüber hinaus soll eine Bewertung des Aufnahmesystems im Hinblick auf weitere vegetationsgeographische Anwendungen in der regionalen Landschaftsschutzgebietsbeobachtung sowie der Analyse von Biotopen getroffen werden. Auch eine Bewertung des Potenzials zur Untersuchung von extensiv genutzten Grünlandflächen, FFH-Wiesen und Wacholderheiden als auch Feuchtgebieten ist als Projektergebnis zu erwarten.

### Kriterien für die Abschätzung des Erfolges des Projektes

Der Erfolg des Projektes wird an dem wissenschaftlichen Mehrwert der Untersuchungen gemessen werden. Damit können zeitlich und räumlich hoch aufgelöste optische Fernerkundungsdaten zur multitemporalen Unterstützung einer räumlich sehr hoch aufgelösten IR-Befliegung (UltraCAM) im Landschaftsmonitoring eingesetzt werden. In Kombination mit Daten aus dem Mikrowellenbereich (TerraSAR-X, etc.) können so wertvolle flächendeckende, naturschutzrelevante Eingabedaten gewonnen werden. Die abschließende kritische Bewertung über das Anwendungspotenzial der Rapid Eye-Daten wird von der gesamten Gruppe vorgenommen werden und auch mögliche andere Datensätze diskutiert.

### Spezifische Anforderungen

Insgesamt sollen 4 Beobachtungsgebiete untersucht werden, da das Land Baden-Württemberg eine hohe natürliche Variabilität der Naturräume aufweist. Dementsprechend soll anhand der Analysen im Biosphärengebiet Schwäbische Alb eine semi-standardisierte und übertragbare Methodik der Biotoptypenkartierung entwickelt werden und damit die Grundlage für ein landesweites FFH-Monitoring gelegt werden.

Die RapidEye-Daten dienen als multitemporale Ergänzung einer sehr hoch aufgelösten monotemporalen, flugzeuggestützten UltraCAM-Befliegung und erfüllen damit eine nicht unwesentliche Projektaufgabe. Innerhalb des Projektes konnten auch weitere Fernerkundungsdaten (TerraSAR-X, etc.) erfolgreich beantragt werden, so dass aus der synergetischen Nutzung von optischen und Mikrowellendaten Verbesserungen der Signalinterpretationen in beiden Bereichen erwartet werden. Dazu kommen die hydrometeorologischen Geländemesswerte (Bodenfeuchte, Abfluss, etc.) die ebenfalls die Interpretierbarkeit der Rapid Eye-Daten erhöhen werden.