

TEXTE

36/2015

# Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012- „Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006



TEXTE 36/2015

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 12 282  
UBA-FB 002086

## **Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012- „Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006**

von

Manfred Keil, Thomas Esch, Andreas Divanis, Mattia Marconcini,  
Annekatriin Metz, Marco Ottinger, Sergey Voinov, Michael Wiesner,  
Michael Wurm & Julian Zeidler

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. ,  
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum,  
Wessling

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

# Impressum

**Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**

Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e.V.,  
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum  
Oberpfaffenhofen  
82234 Wessling

**Abschlussdatum:**

2014

**Redaktion:**

Fachgebiet II 4.2 Beurteilung der Luftqualität  
Stefan Feigenspan

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/aktualisierung-der-landnutzungs-landbedeckungsdaten>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, April 2015

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 12 282 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Kurzbeschreibung

Für die Aktualisierung der Landbedeckung / Landnutzung gemäß den CORINE Land Cover Klassen ist in Deutschland ein spezieller nationaler Weg eingeschlagen worden. Dabei sollen die wesentlich genauere Geometrie des Amtlichen Topographisch – Kartographischen Informationssystem (ATKIS) der Landesvermessungsverwaltungen und das daraus erstellte Digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland DLM-DE als Grundlage für die Ableitung der CLC-Klassen genutzt werden. In der Verantwortung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) wurde hierzu im nationalen Kontext für das Referenzjahr 2009 die Datenbasis DLM-DE 2009 mit einer 1 ha Mindestkartierfläche (MKF) aufgebaut. Zurzeit wird eine aktualisierte Datenbasis des DLM-DE 2012 vom BKG erstellt; mittels Generalisierungsmethoden soll dieser in den Datensatz CLC2012 (CORINE Land Cover 2012 mit 25 ha MKF laut den EU-Spezifikationen) überführt werden.

Neben dem CLC2012 wird auch ein Änderungsdatensatz der Landnutzung und Landbedeckung zwischen 2006 und 2012 benötigt, der die Entwicklung der Landbedeckungskategorien beschreibt (mit MKF 5 ha). Aufgrund des Methodenwechsels kann der Änderungsdatensatz nicht direkt aus dem CLC2006 und dem DLM-DE 2012 bzw. dem resultierenden CLC2012 durch das BKG abgeleitet werden, direkte Änderungen resultieren nur aus dem Vergleich von DLM-DE 2009 und DLM-DE 2012 für den Zeitraum 2009 bis 2012. Daher war es Aufgabe des DLR-DFD in diesem Vorhaben, die Anteile der Änderungen zwischen 2006 und 2009, in der detaillierten Geometrie des DLM-DE 2009, zu modellieren. Dazu sollte ein Datensatz „CLC2006\_Backdating“ durch eine „Rückschau“ des DLM-DE 2009 zurück auf die Situation der Landbedeckung in 2006 gewonnen werden. Dies geschah mit einem Ansatz, der von den häufigsten 46 Änderungsklassen (basierend auf den Änderungen zwischen 2000 und 2006) ausging. Mit semi-automatischen Methoden wie Segmentierungen und multi-saisonalen / multi-sensoralen Datenverknüpfungen wurden veränderte Teilflächen von DLM-DE 2009 ausgewiesen. Neben IMAGE2006 Daten kamen Landsat-Daten und AWiFS Zeitreihendaten von 2005 / 2006 zum Einsatz.

## Abstract

For the update of land cover according to CORINE Land Cover classes, a specific national approach has been chosen in Germany. This approach uses a more accurate geometry of the Official Topographical Cartographic Information System ATKIS of the land survey authorities. DLM-DE, derived from ATKIS, is to be applied as base for the deduction of CLC classes. In the responsibility of the German Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG), the DLM-DE 2009 database was built-up for the reference year 2009 with a minimum mapping unit (MMU) of 1 ha. Currently, an updated DLM-DE 2012 database is established by BKG; using methods of generalization this database will be transferred into the CLC2012 database (CORINE Land Cover 2012, having 25 ha MMU due to the EU specifications).

Besides CLC2012, a change layer of land cover between 2006 and 2012 is needed, describing the development of land cover categories (with 5 ha MMU). Due to the methodological modification, the change layer cannot be deduced directly by BKG using the conventional CLC2006 and DLM-DE 2012 or the resulting CLC2012. Direct changes can be achieved only by comparing DLM-DE 2009 and DLM-DE 2012 for the period from 2009 to 2012. Therefore, the task of DLR-DFD in this project was to model changes between 2006 and 2009 in the detailed geometry of DLM-DE 2009. Therefore, a database „CLC2006\_Backdating“ had to be created by a backward look from DLM-DE 2009 to the situation of land cover / land use in 2006. This has been done using an approach starting by the most common 46 change classes (based on the changes between 2000 and 2006). Using semi-automatic approaches such as segmentation and combined multi-seasonal and multi-sensoral data processing, changed parts of the polygons of DLM-DE 2009 were derived. Besides IMAGE2006 data, Landsat data, and AWiFS time series data of 2005 / 2006 were used in this project.

## Angaben zu Copyrights und Bildquellen:

Auf folgende Copyrights und Credits wird hinsichtlich der im Projekt verwendeten Satellitendatenprodukte und im Zusammenhang des Abschlussberichts hingewiesen:

Hinsichtlich der Nutzung der orthorektifizierten IRS LISS-III Produkte:

“Includes material © ANTRIX Corporation Limited 2007, Distribution by Euromap GmbH, Germany, all rights reserved; produced by DLR/Metria from IRS products provided under ESA contract for FTS LM IMAGE2006”.

Hinsichtlich der Nutzung der orthorektifizierten SPOT-Produkte:

“Includes material © CNES 2007, Distribution Spot Image S.A., France, all rights reserved; produced by DLR/Metria from SPOT products provided under an ESA contract for FTS LM IMAGE2006”.

Hinsichtlich der IRS-P6 AWiFS Produkte:

"Includes material © Antrix, distributed by Euromap GmbH, Germany".

Hinsichtlich der Landsat Produkte:

“Landsat imagery courtesy of NASA Goddard Space Flight Center and U.S. Geological Survey”.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	9
Tabellenverzeichnis.....	11
Abkürzungsverzeichnis.....	13
1 Zusammenfassung.....	15
1.1 Einführung und Zielsetzung.....	15
1.2 Datenbasis.....	15
1.3 Methodik .....	17
1.4 Ergebnisprodukte .....	21
1.5 Datenqualitätsbetrachtungen.....	21
1.6 Fazit .....	21
2 Summary.....	22
2.1 Introduction and Objective .....	22
2.2 Data base.....	23
2.3 Methods .....	23
2.4 Resulting Products.....	26
2.5 Considerations on Data Quality .....	28
2.6 Conclusion.....	28
3 Einleitung.....	29
3.1 Ausgangssituation.....	29
3.2 Zielsetzung .....	31
4 Datenbasis .....	33
4.1 Eingangsdaten .....	33
4.1.1 ATKIS Basis-DLM Flacher Layer 2006 Bundesländer.....	33
4.1.2 Digitales Landbedeckungsmodell DLM-DE2009.....	35
4.1.3 CORINE Land Cover 2006 (25 ha MKF).....	36
4.1.4 Satellitendaten Image2006 Frühjahr & Sommer (IRS-P6 LISS-III / SPOT) .....	36
4.1.5 Satellitendaten Landsat-5 Sommer .....	36
4.1.6 Satellitendaten IRS-P6 AWiFS 2005 / 2006 multisaisonal .....	36
4.1.7 Soil Sealing Layer 2006 mit und ohne Abbaugelände / Baustellen .....	38
4.1.8 Weitere regional vorhandene Daten.....	38
4.2 Datenlage .....	39
4.2.1 Datenlage bei den LISS-III und Landsat-5 TM Datensätzen.....	39
4.2.2 Datenlage bei den multi-saisonalen AWiFS Daten .....	40
5 Methodische Vorgehensweise.....	45

5.1	Verwendete Software-Tools .....	45
5.2	Ansatz der Ermittlung hauptsächlicher Änderungsprozesse .....	45
5.2.1	Die Gruppen von Änderungsklassen .....	47
5.3	Vorverarbeitung der Daten .....	50
5.3.1	Aufteilung in sechs Makroregionen .....	50
5.3.2	Mosaikierung von IMAGE2006 Sommer- und Frühjahrsszenen .....	51
5.3.3	Mosaikierung von Landsat Sommerdaten .....	52
5.3.4	Ortho-Rektifizierung der IRS-P6 AWiFS Daten .....	54
5.3.5	Erstellung multi-saisonaler AWiFS Mosaikere.....	54
5.3.6	Ableitung temporaler Statistiken von AWiFS NDVI Zeitreihen.....	55
5.4	Ableitung thematischer Interimslayer.....	57
5.4.1	Aufbereitung der Layer zur Bodenversiegelung 2006 .....	57
5.4.2	Aufbereitung des Basis-DLM 2006 „ATKIS flacher Layer“ .....	57
5.4.3	Layer zur Bebauung 2006 aus dem Basis-DLM 2006 .....	59
5.4.4	Layer zur Waldbedeckung 2006 aus dem Basis-DLM 2006 .....	59
5.5	Ableitung thematischer Rasterlayer .....	60
5.5.1	Wassermaske (CLC 512) .....	60
5.5.2	Abbaugelände (CLC 131) .....	62
5.5.3	Baustellen (CLC 133).....	62
5.5.4	Ackerflächen (CLC 211).....	62
5.5.5	Grünlandflächen (CLC 231) .....	62
5.5.6	Waldverteilung bezüglich der Waldklassen (CLC 311, 312, 313, 324) .....	63
5.5.7	Nur regional verbreitete Landbedeckungen (CLC 222, 321, 331, 333) .....	64
5.6	Integration der Informationen aus DLM-DE 2009, den Satellitendaten aus 2006 und den abgeleiteten thematischen Informationslayern.....	66
5.6.1	Identifizierung von DLM-DE 2009 Polygonen mit potentiellen Änderungen .....	66
5.6.2	Segmentierung / Untersegmentierung der betroffenen DLM-DE 2009 Polygone .....	68
5.6.3	Auswertung der zonalen Statistiken zur Klassenzuordnung und Ausgabe der Änderungspolygone .....	68
5.7	Plausibilitätschecks und Verbesserung der Änderungspolygone .....	69
6	Beispiele von Ergebnisprodukten .....	75
7	Datenqualitätsbetrachtungen .....	80
8	Literatur .....	82

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Klassifizierungsschema der Bodenbedeckungsklassen gemäß CORINE Land Cover in Deutschland und ihre Farbzunordnung.....	16
Abbildung 2:	Die zwei Teilaufgaben des Updating und Backdating bei der Erzeugung von CLC2012 und CLC-change (2006 – 2012) und die zugehörigen Datenströme.....	17
Abbildung 3:	Verarbeitungsablauf bei der Integration von Satellitenbilddaten, thematischen Rasterebenen und den Inputdaten der DLM-DE 2009 Vektordatenbasis .....	20
Abbildung 4:	Scheme of land cover classes due to CORINE Land Cover in Germany, including color coding. ....	22
Abbildung 5:	The two tasks of updating and backdating during the production of CLC2012 and CLC-change (2006 – 2012) showing also the related data flows. ....	24
Abbildung 6:	Work flow during the integration of satellite imagery, thematic raster layers and the input data of DLM-DE 2009 vector database .....	27
Abbildung 7:	Klassifizierungsschema der Bodenbedeckungsklassen gemäß CORINE Land Cover in Deutschland und ihre Farbzunordnung.....	32
Abbildung 8:	Die zwei Teilaufgaben des Updating und Backdating bei der Erzeugung von CLC2012 und CLC-change (2006 – 2012) und die zugehörigen Datenströme.....	39
Abbildung 9:	Die ausgewählten Szenen IRS-P6 AWiFS für das Jahr 2005. ....	41
Abbildung 10:	Die ausgewählten Szenen IRS-P6 AWiFS für das Jahr 2006. ....	42
Abbildung 11:	Aufteilung der Fläche Deutschlands in sechs Makroregionen.....	51
Abbildung 12:	Beispiel für Ergebnisse der Mosaikierung der LISS-III und Landsat-Daten, hier für die Makroregion Bayern. ....	52
Abbildung 13:	Überdeckung der Makroregion ST (Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt) mit den Satellitendaten von IMAGE2006 (LISS-III) und Landsat TM. ....	53
Abbildung 14:	Überdeckung von Bayern mit multi-saisonalen AWiFS Daten.....	55
Abbildung 15:	Mittlere Phänologiekurven für Weizen, Raps, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben und Grünland mit möglichen Intervallen für eine Grünlandabgrenzung.....	56
Abbildung 16:	Eingangsdaten und thematische Produkte der temporalen AWiFS NDVI Statistik am Beispiel der Makroregion NW (Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Hessen). ....	58
Abbildung 17:	Darstellung temporaler Statistiken von AWiFS NDVI Zeitreihen am Beispiel der Makroregion MV. ....	59
Abbildung 18:	Darstellung der Ableitung der Wassermaske 2006 auf der Basis von drei Indikator-Kanälen, abgeleitet aus IRS-P6 LISS-III Daten, anhand einer Beispielregion im Südosten Berlins.....	61

Abbildung 19:	Ermittlung der Verteilung von Nadelwald (312, grün) und Wald-Strauch-Übergangsf lächen (324, orange) zum Status 2006 (u. l.), unter Nutzung des mittleren Infrarotkanals (SWIR) von LISS-III Fröhjahr 2006 (o. l.).....	65
Abbildung 20:	Verarbeitungsablauf bei der Integration von Satellitenbilddaten, thematischen Rasterebenen und den Inputdaten der DLM-DE 2009 Vektordatenbasis .....	67
Abbildung 21:	Einarbeitung der thematischen Informationslayer in die Untersegmente und resultierende geglättete Polygone für den Veränderungslayer. ....	69
Abbildung 22:	Beispiel für ein Ergebnis der Änderungserfassung – links inklusive potentieller Änderungsflächen mit Teilen ohne Änderung (CLC_ST06 = 0) , rechts das Endergebnis .....	69
Abbildung 23:	Datengrundlage für die manuelle Verbesserung der generierten Veränderungs-flächen am Beispiel eines Ausschnitts der Makroregion MV (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg) .....	72
Abbildung 24:	Veränderungen von Ackerland (CLC 211) in 2006 zu Grünland (CLC 231) in 2009 an einem Beispiel im Gebiet der Hansestadt Havelberg in der Makroregion ST.....	73
Abbildung 25:	Ergebnis bei der Abgrenzung von Änderungen in der Landwirtschaft, Region Aulendorf, Landkreis Ravensburg. ....	76
Abbildung 26:	Beispiel für Änderungen innerhalb der Waldflächen aufgrund von Sturmschäden im Sauerland .....	78
Abbildung 27:	Ergebnisse des CLC2006_Backdating am Beispiel des Leipziger Südens und des Leipziger Neuseenlands. ....	79

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Die dominierenden 8 Veränderungsklassen gemäß den „CLC_Changes“ zwischen 2000 und 2006 in Deutschland.....	18
Tabelle 2:	The dominating 8 change classes due to CLC changes between 2000 and 2006 in Germany.....	25
Tabelle 3:	Auflistung der ATKIS-Ebenen und ausgesuchter zugehöriger flächenhafter Objektarten des ATKIS Basis-DLM .....	34
Tabelle 4:	Spezifikationen der verwendeten Satellitensysteme .....	36
Tabelle 5:	Übersicht über die in der ersten Marge bestellten AWiFS Szenen. ....	43
Tabelle 6:	Übersicht über die in der zweiten Marge bestellten AWiFS Szenen. ....	44
Tabelle 7:	Die dominierenden 46 Veränderungsklassen gemäß den „CLC_Changes“ zwischen 2000 und 2006 in Deutschland.....	46
Tabelle 8:	Die 46 Veränderungsklassen gruppiert nach CLC-Klassen in 2006, Teil 1 .....	48
Tabelle 9:	Die 46 Veränderungsklassen gruppiert nach CLC-Klassen in 2006, Teil 2 .....	49
Tabelle 10:	Prozentuale Anteile mit wolken- und schneebedeckten Datenlücken für die sechs Makroregionen, basierend auf den ermittelten Wolkenmasken .....	53
Tabelle 11:	Regelwerk mit den verwendeten Schwellwerten zur Abgrenzung von Ackerland (CLC-Klasse 211) und Grünland (CLC-Klasse 231).....	63
Tabelle 12:	Anteil der Änderungsflächen im CLC2006_Backdating Datensatz an der Gesamtfläche der jeweiligen Makroregionen.....	75



## Abkürzungsverzeichnis

<b>ATCOR</b>	Atmospheric Correction (Atmosphärenkorrektur)
<b>ATKIS</b>	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
<b>AWiFS</b>	Advanced Wide Field Sensor
<b>BDLM</b>	Basis-DLM
<b>BKG</b>	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
<b>CLC</b>	CORINE Land Cover
<b>CMF</b>	Cloud Mask File
<b>DFD</b>	Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum (DLR)
<b>DHDN</b>	Deutsches Hauptdreiecksnetz
<b>DLM-DE</b>	Digitales Landbedeckungsmodell - Deutschland
<b>DEM</b>	Digital Elevation Model (Digitales Höhenmodell)
<b>DLR</b>	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
<b>DLR-UID</b>	DLR-User ID
<b>DMC</b>	Disaster Monitoring Constellation
<b>EEA</b>	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
<b>EOC</b>	Earth Observation Center (Erdbeobachtungszentrum)
<b>ESA</b>	European Space Agency (Europäische Weltraumorganisation)
<b>ETM+</b>	Enhanced Thematic Mapper plus
<b>FTSP</b>	Fast Track Service Precursor
<b>GLOVIS</b>	USGS Global Visualization Viewer
<b>GMES</b>	Global Monitoring for Environment and Security
<b>GSE</b>	GMES Service Element
<b>Ha</b>	Hektar
<b>HRG</b>	High Resolution Geometrical
<b>HRL</b>	High Resolution Layer
<b>HRVIR</b>	High Resolution Visible and Infrared
<b>IMF</b>	Institut für Methodik der Fernerkundung (DLR)
<b>IRS-P6</b>	Indian Remote Sensing Satellite-P6
<b>LISS-III</b>	Linear Imaging Self-Scanning Sensor - 3
<b>MDNWI</b>	Modified Normalised Difference Water Index
<b>MKF</b>	Mindestkartierfläche
<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration
<b>NDVI</b>	Normalised Difference Vegetation Index
<b>NIR</b>	Near Infrared (nahes Infrarot)

<b>PAN</b>	Panchromatisch
<b>SLC</b>	Scan Line Correctors
<b>SPOT</b>	Satellite Pour l'Observation de la Terre
<b>SRTM</b>	Shuttle Radar Topographic Mission
<b>SWIR</b>	Short-wave Infrared (mittleres Infrarot)
<b>TIR</b>	Thermal Infrared (thermisches Infrarot)
<b>TM</b>	Thematic Mapper
<b>UBA</b>	Umweltbundesamt
<b>USGS</b>	US Geological Survey
<b>UTM</b>	Universal Transverse Mercator
<b>VIS</b>	Visible
<b>VIS-B</b>	Visible Blue (Sichtbares Blau)
<b>VIS-G</b>	Visible Green (Sichtbares Grün)
<b>VIS-R</b>	Visible Red (Sichtbares Rot)
<b>WGS-84</b>	World Geodetic System 1984

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Einführung und Zielsetzung

Zur Aktualisierung der Landbedeckung / Landnutzung gemäß den CORINE Land Cover Klassen wurde in Deutschland seit 2008 ein spezieller nationaler Weg eingeschlagen. Dabei sollen die wesentlich genauere Geometrie des Amtlichen Topographisch – Kartographischen Informationssystem (ATKIS) der Landesvermessungsverwaltungen und das daraus erstellte Digitale Landbedeckungsmodell für Deutschland DLM-DE als Grundlage für die Ableitung der CLC-Klassen genutzt werden. In der Verantwortung des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) wurde hierzu im nationalen Kontext für das Referenzjahr 2009 die Datenbasis DLM-DE 2009 mit einer 1 ha Mindestkartierfläche (MKF) aufgebaut. Zurzeit wird eine aktualisierte Datenbasis des DLM-DE 2012 vom BKG generiert. Diese soll mittels Generalisierungsmethoden in den Datensatz CLC2012 (CORINE Land Cover 2012 mit 25 ha MKF laut den EU-Spezifikationen) überführt werden. Der Abgleich der Aktualisierung wird mit Satellitendaten von 2012 erstellt.

Neben CLC2012 wird auch ein Änderungsdatensatz der Landnutzung und Landbedeckung zwischen 2006 und 2012 benötigt, der die Entwicklung der Landbedeckungskategorien beschreibt (mit MKF 5 ha). Die Aktualisierung des DLM-DE 2009 zum Jahr 2012 am BKG lässt unmittelbar nur eine Ableitung der Änderungen zwischen 2009 und 2012 zu. Ein Vergleich des herkömmlich abgeleiteten CLC2006 (mit 25 ha MKF) und der Datenbasis DLM-DE 2009 oder auch DLM-DE 2012 hinsichtlich der Änderungen wird vor allem Unterschiede hinsichtlich der unterschiedlichen Geometrien ergeben. Daher ist es notwendig, Aussagen zu den Änderungen bezogen auf die feinere Geometrie von DLM-DE 2009 zu treffen.

Die Modellierung der Anteile der Änderungen zwischen 2006 und 2009 in der detaillierten Geometrie der Datenbasis DLM-DE 2009 war die Aufgabe des DLR-DFD. Dazu sollte durch eine Rückdatierung des DLM-DE 2009, ein sogenanntes „Backdating“, auf die Situation der Landbedeckung in 2006 ein Datensatz „CLC2006\_Backdating“ gewonnen werden. Dies geschah mittels eines Ansatzes, der von den häufigsten 46 Änderungsklassen, basierend auf den ermittelten Änderungen zwischen 2000 und 2006, ausging. Dabei sollten nach Möglichkeit zu einem größeren Teil automatische bzw. semi-automatische Methoden zum Einsatz kommen.

Das Schema der Landbedeckungsklassen gemäß CORINE Land Cover für Deutschland ist in Abbildung 1 dargestellt.

## 1.2 Datenbasis

Die zur Verfügung stehende Datenbasis für die retrospektive Ableitung der Landbedeckungssituation in 2006 setzt sich aus verschiedenen Vektordaten und Satellitendaten zusammen:

- **Digitales Landbedeckungsmodell DLM-DE2009:** Das DLM-DE 2009 beruht auf dem ATKIS Basis-DLM zum Jahr 2009, erstellt in Verantwortung des BKG, überprüft und aktualisiert mit diversen hochauflösenden Satellitendaten von RapidEye und DMC. Es bildete die Ausgangssituation für das „Backdating“ zurück auf das Jahr 2006.
- **ATKIS Basis-DLM Flacher Layer 2006 Bundesländer:** In Form eines aufbereiteten und überlappungsfreien Vektordatensatzes, aber ohne eine Überprüfung und Aktualisierung durch Satellitendaten, stand das ATKIS Basis-DLM 2006 für alle Bundesländer zur Verfügung, eingefroren zum Stand des Frühjahrs / Frühsommers 2006.
- **CORINE Land Cover 2006 (mit 25 ha MKF):** Wegen der Mindestkartierfläche von 25 ha wurden die Daten von CLC2006 nur für spezielle Situationen in direkter Form eingesetzt, dienten aber in größerem Umfang auch zu Vergleichszwecken..
- **Satellitendaten IMAGE2006 Frühjahr und Sommer:** Noch vom herkömmlichen EU-Projekt der Erstellung von CORINE Land Cover 2006 stand die Satellitendatenbasis IMAGE2006 mit Satellitendaten von IRS-P6 LISS-III sowie von SPOT-4 HRVIR und Spot-5 HRG zur Verfügung, mit einer Frühjahrsüberdeckung und einer Sommerüberdeckung.
- **Satellitendaten Landsat-5 Sommer:** Eine Deutschland weite Landsat-Überdeckung bildete eine zusätzliche homogenere Sommer-Überdeckung für 2006, gleichzeitig ein Backup für kritische Regionen mit Einschränkungen hinsichtlich der atmosphärischen Bedingungen bei IMAGE2006.

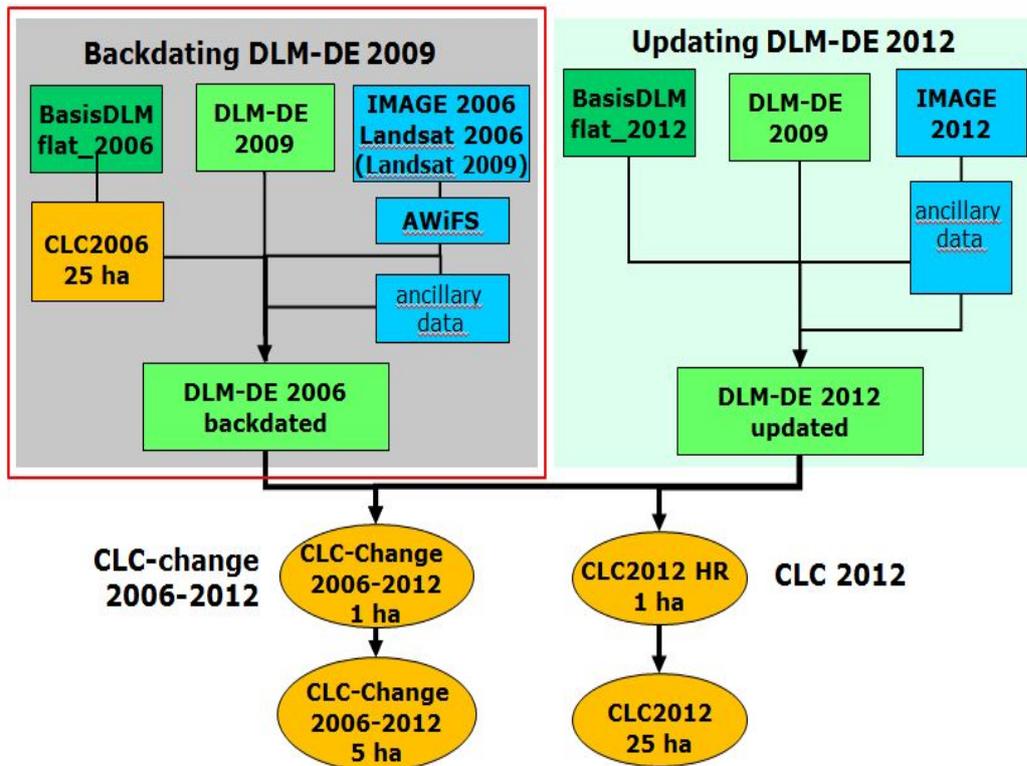
- **Satellitendaten AWiFS 2005 / 2006 multisaisonal:** In Vorstudien hatte sich das hohe Potential von multi-saisonalen AWiFS-Daten zur Unterscheidung von Ackerland und Grünland gezeigt. Die AWiFS Daten mit räumlicher Auflösung von ca. 60 m wurden für die Ableitung von Indikatoren zur Kennzeichnung der Vegetationsdynamik eingesetzt, die diese Unterscheidung stark unterstützt. Die 43 AWiFS Szenen für die multi-saisonalen Überdeckungen Deutschlands wurden mit Projektmitteln beschafft.
- **Soil Sealing Layer 2006:** Der vom UBA zur Verfügung gestellte Informationslayer, der in zwei Varianten vorliegt, zeigt für die Mitgliedsstaaten der EEA die bebauten Flächen mit ihrem Grad der Versiegelung zwischen 1% und 100%, abgeleitet aus der IMAGE2006 Datenbasis. Die primäre Version „EEA Fast Track Service Precursor – Degree of soil sealing“ umfasst neben bebauten Flächen auch Abbaugelände und noch offene Baustellen. Die Version „Revised Soil Sealing 2006, degrees of sealing 20 m and 100 m“ wurde im FP7-Projekt Geoland2 komplett überarbeitet und enthält nicht mehr die Flächen von Abbaugeländen.
- **Regional vorhandene Daten:** Hier standen in verschiedenen Regionen Deutschlands Produkte zur Waldkartierung aus dem Projekt „GSE Forest Monitoring“ zur Verfügung, unter der Federführung der GAF AG erstellt.

Abbildung 1: Klassifizierungsschema der Bodenbedeckungsklassen gemäß CORINE Land Cover in Deutschland und ihre Farbzuoordnung.

<b>BEBAUTE FLÄCHEN</b>	<b>WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN</b>
<b>STÄDTISCH GEPRÄGTE FLÄCHEN</b>	<b>WÄLDER</b>
■ 111 Durchgängig städtische Prägung	■ 311 Laubwälder
■ 112 Nicht durchgängig städtische Prägung	■ 312 Nadelwälder
<b>INDUSTRIE-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN</b>	■ 313 Mischwälder
■ 121 Industrie- und Gewerbeflächen	<b>STRAUCH- UND KRAUTVEGETATION</b>
■ 122 Straßen, Eisenbahn	■ 321 Natürliches Grünland
■ 123 Hafengebiete	■ 322 Heiden und Moorheiden
■ 124 Flughäfen	■ 324 Wald-Strauch-Übergangsstadien
<b>ABBAUFLÄCHEN, DEPONIEREN und BAUSTELLEN</b>	<b>OFFENE FLÄCHEN OHNE / MIT GERINGER VEGETATION</b>
■ 131 Abbauflächen	■ 331 Strände, Dünen und Sandflächen
■ 132 Deponien und Abraumhalden	■ 332 Felsflächen ohne Vegetation
■ 133 Baustellen	■ 333 Flächen mit spärlicher Vegetation
<b>GRÜNFLÄCHEN</b>	■ 334 Brandflächen
■ 141 Städtische Grünflächen	■ 335 Gletscher und Dauerschneegebiete
■ 142 Sport- und Freizeitanlagen	<b>FEUCHTFLÄCHEN</b>
<b>LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN</b>	<b>FEUCHTFLÄCHEN IM LANDESINNERN</b>
<b>ACKERFLÄCHEN</b>	■ 411 Sümpfe
■ 211 Nicht bewässertes Ackerland	■ 412 Torfmoore
<b>DAUERKULTUREN</b>	<b>FEUCHTFLÄCHEN AN DER KÜSTE</b>
■ 221 Weinbauflächen	■ 421 Salzwiesen
■ 222 Obst- und Beerenobstbestände	■ 423 In der Gezeitenzone liegende Flächen
<b>GRÜNLAND</b>	<b>WASSERFLÄCHEN</b>
■ 231 Wiesen und Weiden	<b>WASSERFLÄCHEN IM LANDESINNERN</b>
<b>HETEROGENE LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN</b>	■ 511 Gewässerläufe
■ 242 Komplexe Parzellenstrukturen	■ 512 Wasserflächen
■ 243 Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung	<b>MEERESGEWÄSSER</b>
	■ 521 Lagunen
	■ 522 Mündungsgebiete
	■ 523 Meere und Ozeane
	□ Flächen außerhalb des Bearbeitungsgebietes

Eine Zusammenfassung der Datenströme und Verarbeitungsschritte (als Teil des Gesamtprojektes CLC2012) ist in Abbildung 2 dargestellt. Sichtbar werden die zwei Aufgaben: Zum einen die Aufgabe des Updating zur Beschreibung des CLC-Status im Jahr 2012, zum anderen die des Backdating als Teilaufgabe zur Ableitung der Änderungen „CLC-Change“ zwischen 2006 und 2012. Das Updating (rechter Datenstrom) wurde wie eingangs erläutert durch das BKG durchgeführt.

Abbildung 2: Die zwei Teilaufgaben des Updating und Backdating bei der Erzeugung von CLC2012 und CLC-change (2006 – 2012) und die zugehörigen Datenströme. Quelle: BKG Präsentation auf dem Kickoff Meeting „CLC Backdating“ am 27.9.2012, verändert.



### 1.3 Methodik

Als Softwaretools wurden im Projekt fünf verschiedene Systeme verwendet. Das Prozessierungssystem CATENA des DLR-Instituts für Methoden der Fernerkundung wurde für verschiedene Schritte der Vorverarbeitung eingesetzt. Für die GIS-bezogenen Arbeiten wurde die GIS-Software ESRI ArcGIS 10 verwendet. Für die Bildverarbeitung kamen ERDAS Imagine Version 2001 und (insbesondere für die Bildsegmentierung) eCognition Developer Version 64 der Firma Trimble zum Einsatz, daneben die „Interactive Description Language“ IDL (Version 7.1 bzw. 8.1).

#### Ansatz der Ermittlung hauptsächlichlicher Änderungsprozesse:

Für die Rückdatierung des DLM-DE2009 auf die Situation der Landbedeckung in 2006 wurde ein Ansatz gewählt, der von den häufigsten 46 Änderungsklassen (basierend auf den Änderungen zwischen 2000 und 2006, ermittelt bei CLC2006) ausging. So machten die ersten acht Veränderungsprozesse mit Veränderungen der Waldzusammensetzung durch Sturmwurf und Nutzung sowie Waldaufwuchs, Übergang von Grünland zu Ackerland in der Landwirtschaft und Entstehung neuer Wohnbebauungen, Industrie- und Gewerbeflächen und Abbaugeländen auf Ackerflächen bereits 51,2% der kumulierten anteiligen Änderungsfläche aus (siehe Tabelle 1). Bei der Berücksichtigung der 46 häufigsten Änderungsklassen resultierte bei CLC2006 eine Abdeckung von 89,7 % der gesamten Änderungsflächen. Mit entsprechender Gruppierung der Änderungsklassen sollte möglichst weitgehend auf zu generierende thematische Rasterlayer zum Referenzjahr 2006 (z. B. Layer der Abbauflächen CLC Klasse 131 in 2006) zurückgegriffen werden, um deren jeweilige Anteile in den Polygonen des DLM-DE2009 als Indikator für Änderungen zu bestimmen. Mittels Segmentierung der generell von Änderungen betroffenen Polygonen, beruhend auf hochaufgelösten Satellitendaten z. B. von IMAGE2006, sollten dann auch Teilflächen in den Änderungspolygonen mit einbezogen werden.

#### Vorverarbeitungsschritte:

Als Arbeitseinheiten wurde Deutschland in sechs Makroregionen eingeteilt, die auf einzelnen oder Gruppierungen von Bundesländern beruhten. So enthielt Makroregion BY die Fläche von Bayern, NW die Fläche

von Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland. Als Grundlage für die spätere Segmentierung wurden Mosaik der IMAGE2006 Überdeckungen im Frühjahr und im Sommer, jeweils für die Makroregionen, erstellt, als Zusatzdatensatz zudem ein jeweiliges Mosaik von Landsat-Daten aus dem Sommer 2006. Eingebungen waren entsprechende Ableitungen von Wolken- und Wolkenschattenmasken zur Definition ungültiger Mosaik-Bereiche. Da die IMAGE2006 und Landsat Mosaik nur für die Abgrenzung von Objekten im Segmentierungsschritt verwendet werden sollten, konnte auf eine radiometrische Anpassung der Einzelszenen verzichtet werden.

Tabelle 1: Die dominierenden 8 Veränderungsklassen gemäß den „CLC\_Changes“ zwischen 2000 und 2006 in Deutschland

Legende:	Rang Nr.	Übergang	Deutschland		
			Fläche [km²]	Anteil	Kumuliert
Intensivierung in der Landwirtschaft					
Extensivierung in der Landwirtschaft					
Aufforstung	1	312 → 324	265,30	11,77%	11,77%
Flächen mit Waldverlust	2	231 → 211	192,87	8,56%	20,33%
Urbanisierung/ Zunahme der Versiegelung	3	211 → 112	178,61	7,92%	28,25%
Neue Abbaufäche	4	324 → 313	157,95	7,01%	35,26%
Rekultivierung von Abbaufächen	5	324 → 312	117,93	5,23%	40,49%
Neue Wasserfläche	6	211 → 131	86,09	3,82%	44,31%
Sonstige Änderung	7	133 → 112	77,81	3,45%	47,76%
	8	211 → 121	77,21	3,43%	51,18%

Als eine der thematischen Informationsebenen sollte für den Bereich der landwirtschaftlichen Flächen (Entscheidung, ob Acker- oder Grünlandflächen in 2006) multi-saisonale Information aus den IRS-P6 AWiFS mit integriert werden. Dies machte die Ko-Registrierung der AWiFS-Daten, den Aufbau von multi-saisonalen Mosaiken von AWiFS zum Beispiel für die Monate April, Mai, Juli und September und die Ableitung temporaler Statistiken für AWiFS notwendig. Als Indikator, der die Vegetationsentwicklung einzelner Objekte (die phänologische Entwicklung) über das Jahr beschreibt, wurde jeweils der Vegetationsindex NDVI („Normalized Difference Vegetation Index“) abgeleitet. Die Dynamik des temporären NDVI-Verlaufs bei landwirtschaftlichen Flächen enthält wertvolle Informationen bezüglich der wahrscheinlichen Zugehörigkeit zu Ackerland oder zu Grünland, z. B. bei Nutzung der Parameter Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung.

**Ableitung thematischer Rasterlayer:**

Die ermittelten thematischen Rasterlayer zum Status von 2006 hatten zum Teil den Stellenwert von Interimslayern, die dann mit verschiedenen logischen Verknüpfungen weiter verarbeitet wurden. Zum anderen Teil waren es Rasterlayer, wie z. B. ein abgeleiteter Layer der Abbauggebiete (CLC-Klasse 131) zum Stand 2006, die direkt für die Erfassung möglicher Übergänge der Landbedeckung eingesetzt werden konnten (z. B. beim Übergang von 131-> 512, Abbauggebiet in 2006 zu Wasserfläche in 2009).

Als Interimslayer sind zu nennen:

- Zwei Varianten des *Layers zur Bodenversiegelung 2006* (dem „Soil Sealing Layer 2006“, einmal inklusive, einmal exklusive Abbaufächen und Baustellen, Informationsebene für Abbaufächen in 2006),
- *Bebauungslayer 2006* aus dem Basis-DLM\_2006\_flach (mit hohem Aktualitätsgrad), mit mindestens einer der CLC-Kategorien 111, 112, 121,

- *Layer zur Waldbedeckung 2006* aus dem Basis-DLM\_2006\_flach (ebenfalls mit hohem Aktualitätsgrad bezüglich der Waldaußengrenzen), mit mindestens einer der Waldkategorien in CLC von 311,312,313,324.

Aus Kombinationen mit den Interimslayern und Satellitendatenprodukten, oder allein aus der Satellitengrundlage, wurden folgende Rasterlayer abgeleitet, die direkt als Landbedeckungssituation in 2006 eingebracht werden konnten:

- *Wassermaske* (CLC 512), ermittelt durch kombinierte Schwellwertklassifizierungen aus drei abgeleiteten Indizes der Landsat-Mosaik (NDVI, Wasserindex MNDWI laut Xu, SWIR-Kanal); bei den abzurufenden Beiträgen potentieller Änderungsflächen spielt die Klasse keine Rolle, wohl aber bei Gegenchecks z. B. bezüglich Abbaugebieten in 2006,
- *Abbaugebiete* (CLC 131), ermittelt durch ein komplexes Regelwerk unter Nutzung der zwei Varianten der Bodenversiegelung, der Datenbasis DLM-DE2009 (mögliche Folgeklassen), CLC2006 und den einzelnen Landsat-Daten 2006,
- *Baustellen* (CLC133), Nutzung der zwei Varianten der Bodenversiegelung, mit Zusatzregel der Zugehörigkeit zu einer der CLC-Klassen 133, 111,112,121,122 in DLM-DE2009,
- *Ackerflächen* (CLC 211), Abgrenzung durch Kombination von Schwellenwerten der temporalen Statistik der NDVI-Zeitreihen von AWiFS Satellitendaten, Ausklammerung von bebauten Flächen, Waldflächen, Wasserflächen in 2006,
- *Grünlandflächen* (CLC 231, ev. CLC 321), ebenfalls Abgrenzung durch Kombination von Schwellenwerten der temporalen Statistik der NDVI-Zeitreihen von AWiFS Satellitendaten, Ausklammerung von bebauten Flächen, Waldflächen, Wasserflächen in 2006, z. T. weiterer Flächen,
- *Waldverteilung bezüglich der Waldklassen* (CLC 311, 312, 313, 324), Diversifizierung innerhalb der Waldmaske 2006, Nutzung von CLC2006, Berechnung der Feinverteilung der Waldflächen mit Status 324 in DLM-DE2009 bezüglich (noch) 312 in 2006 oder (schon) 324 in 2006 aus IMAGE2006 bzw. Landsat, insbesondere mittels des SWIR-Kanals,
- *Nur regional verbreitete Landbedeckungen* (CLC 222, 321, 331, 333), mit der Ausgangssituation bestimmt durch CLC2006, teilweise bearbeitet durch manuelle Verfeinerungen.

### **Integration der Informationen aus DLM-DE2009, Satellitendaten 2006 und Rasterlayer 2006:**

Durch die Erzeugung der 12 thematischen Rasterlayer, die die thematische Information zum Jahr 2006 tragen und jeweils einer CLC-Klasse entsprechen (siehe vorheriges Kapitel), wurden die Teilnehmer-Klassen in 2006 an den hauptsächlichen Änderungen und deren räumliche Verteilung in 2006 festgelegt. Zur Modellierung des Backdating-Datensatzes waren dazu folgende weitere Aufgaben durchzuführen:

- Ermittlung der potentiell von Änderungen betroffenen Polygone im Gerüst der Geometrie des DLM-DE2009 Datensatzes (Berechnung zentraler Statistiken),
- Feststellung, welche Polygone gänzlich (bzw. in entsprechender Dominanz) einen Übergang zu einer anderen CLC-Klasse in 2006 anzeigen (Auswertung der zentralen Statistiken),
- Unterteilung der Polygone, die in Teilbereichen von Änderungen zwischen 2006 und 2009 betroffen sind, mit Hilfe von Segmentierungsverfahren und unter Nutzung geeigneter hochauflösender Satellitendaten – dabei Nutzung der drei Mosaik „Sommeraspekt LISS-III“ mit Wolkenmasken, „Frühjahraspekt LISS-III“ mit Wolkenmasken, „Sommeraspekt Landsat-5 Thematic Mapper“ mit Wolkenmasken;
- Zuordnung der jeweiligen dominanten CLC-Klasse laut der thematischen Rasterlayer zu den ermittelten Untersegmenten (Auswertung der zentralen Statistiken) und Ausgabe der Änderungspolygone.

Der Arbeitsablauf mit dem entsprechenden Datenfluss ist als Übersichtsgraphik in Abbildung 3 dargestellt.

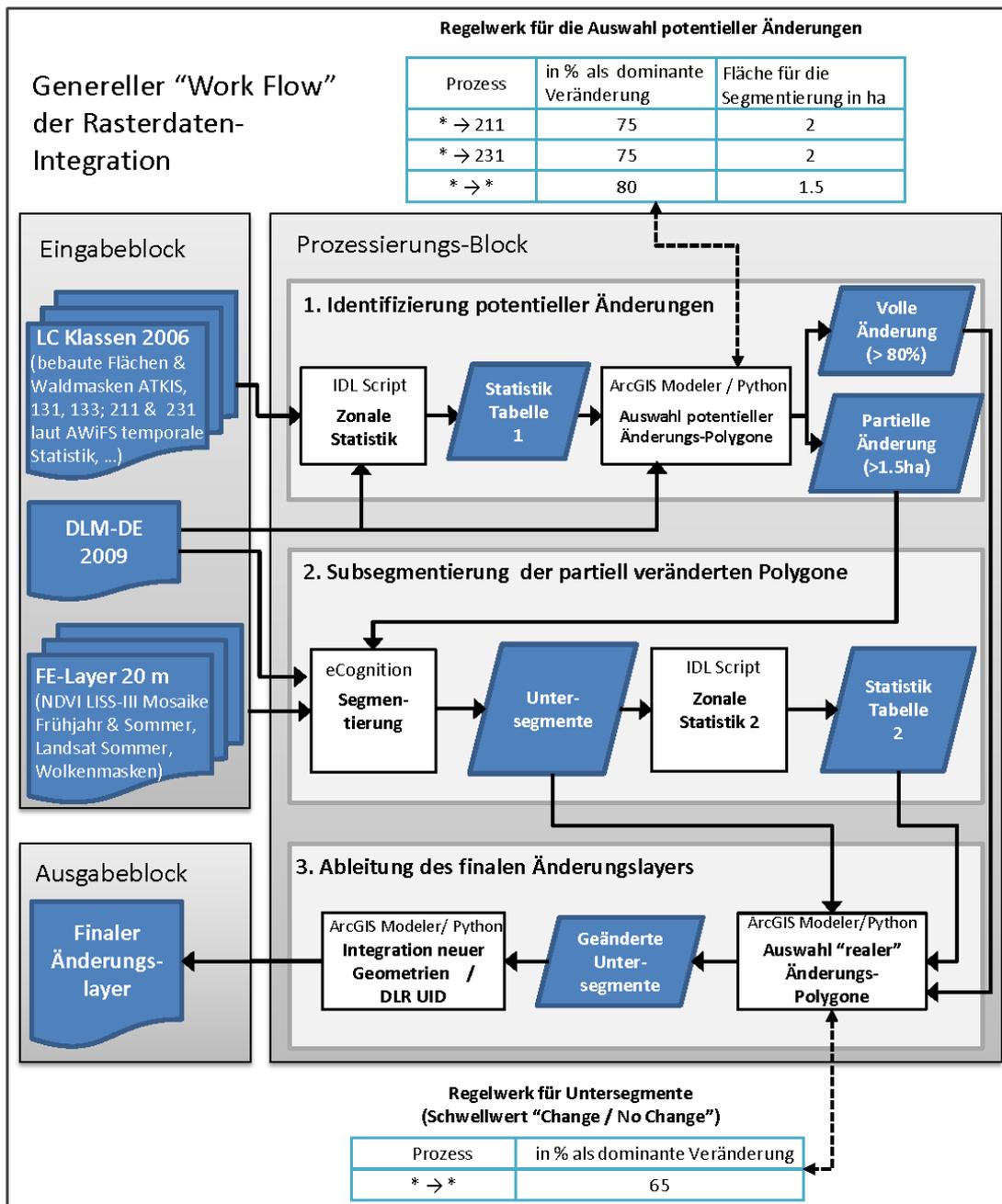
### **Plausibilitätschecks und Verbesserung der Änderungspolygone:**

Bei den ermittelten Änderungspolygonen gegenüber dem Stand in 2009 wurden eine Reihe von Plausibilitätschecks durchgeführt und die Ergebnisse zunächst in einem Zusatzattribut festgehalten. Am Anfang standen dabei Überprüfungen hinsichtlich der Polygongröße unter 0,5 ha bzw. 1 ha und hinsichtlich von Formparametern, die schmale Objekte identifizieren sollten. Die so charakterisierten Polygone wurden nicht mit in

die Plausibilitätsprüfungen einbezogen, aber standen später im Zusammenhang mit komplexen Änderungen mit zur Verfügung.

Als ein Beispiel seien notwendige Checks auf potentielle Änderungen von Ackerland oder Grünland (CLC-Klasse 211 oder 231) zur CLC-Klasse 142, Sport- und Freizeitanlagen, genannt. Diese Klasse ist weder in der Bebauungsmaske noch in der Waldmaske integriert und wird so in die Klassifizierung bezüglich Ackerland oder Grünland in 2006 mit einbezogen. Die meisten solcher angezeigter Änderungen sind nicht echt, aber eine Prüfung ist notwendig, um echte Änderungen von Ackerland oder Grünland zu neuen Golfplätzen zu identifizieren.

Abbildung 3: Verarbeitungsablauf bei der Integration von Satellitenbilddaten, thematischen Rasterebenen und den Inputdaten der DLM-DE 2009 Vektordatenbasis



Bei einer Reihe von ermittelten Änderungskategorien, die im Zuge des automatischen Verarbeitungsansatzes entstehen, werden häufig keine echten Änderungen dargestellt. Eine Überprüfung und entsprechende Aktion ist aber, wie die Praxis gezeigt hat, notwendig. Ein Beispiel sind Sport- und Freizeitflächen, die meist in keiner der Masken wie Bebauungsmaske oder Waldmaske von 2006 enthalten sind, bei der Schwellwertklas-

sifizierung von Ackerland und Grünland mit erfasst werden und dann fälschlich einer Änderungsfläche zugeordnet werden. Um den Änderungsprozess der Neubildung von Golfplätzen auf landwirtschaftlichen Flächen zu erfassen, ist aber ein Check dieser Flächen mittels Zoom und eventuell Zusatzinformation aus Webdiensten notwendig.

## 1.4 Ergebnisprodukte

Die Ergebnisprodukte wurden sukzessive für die einzelnen Makroregionen oder auch Untereinheiten der Makroregionen an das BKG zur weiteren Datenintegration ausgeliefert. Dabei wurden sowohl die überarbeiteten Änderungslayer (ab 1 ha Änderungsfläche) als auch die auf das Jahr 2006 rückdatierte Gesamtsituation der Landbedeckung im Datensatz CLC2006\_Backdating (1 ha MKF) erzeugt.

## 1.5 Datenqualitätsbetrachtungen

Es zeigte sich, dass bei den angezeigten Änderungsflächen in der Landwirtschaft mit der Zuordnung der Acker- und Grünlandflächen in 2006 ganzflächige Überprüfungen notwendig waren, allerdings aus Zeitgründen mit einem Überprüfungsmaßstab von 1:30000 bis 1:40000. Für die Gesamtentscheidung, ob als echte oder keine Änderung markiert wurde, gingen neben der temporalen AWiFS Entscheidung auch die visuelle Inspektion der drei hochaufgelösten Satellitenbildmosaiken ein. Es zeigte sich, dass die AWiFS Indikatoren z. B. in Flussauenbereichen häufig durch temporale Hochwasserstände gestört waren und dann falsche Änderungen anzeigten.

Auch waren die abgeleiteten Statistik-Parameter Minimum, Mittelwert und Standardabweichung von der Repräsentativität der vorhandenen Zeitabschnitte in den AWiFS-Aufnahmen und von der lokalen lückenfreien oder lückenhaften Überdeckung durch 4 bis 7 Szenen abhängig. In der Gesamtheit der Nutzung von AWiFS Indikatoren und den drei Mosaik-Varianten von LISS-III bzw. Landsat war eine wesentliche Verbesserung der Zuordnung zu echten bzw. nicht echten Änderungen bei den landwirtschaftlichen Flächen möglich. Es ist anzunehmen, dass durch eine Verbesserung bei der saisonalen Überdeckung, z. B. durch Zeitreihen der zukünftigen Sentinel-2 Daten, auch die automatisch abgeleitete Ackerland-Grünland-Trennung noch optimiert werden kann.

Eine flächige Überprüfung angezeigter Änderungspolygone wurde auch im Zusammenhang mit Änderungen auf den Waldflächen durchgeführt, sowie bei Prozessen im Umfeld von größeren Abbaugebieten. Bei anderen Änderungstypen wurden zunächst jeweils die pro Änderungskombination flächenmäßig größten Polygone überprüft und die Checks dann auf kleinere Polygone ausgedehnt. Teilweise wurde dies kombiniert mit flächigen Überprüfungen in Regionen mit Anzeichen von Fehlzuordnungen bzw. in „Hot Spots“ von Änderungen.

## 1.6 Fazit

Die angewandte Methodik einer semi-automatischen Erfassung von Änderungen, ausgehend von den 46 Änderungsklassen, für die eine Abdeckung von etwa 90% der Änderungsflächen erwartet werden kann, hat sich als eine praktikable Methodik mit zufriedenstellenden Ergebnissen erwiesen. Allerdings war zunächst eine recht umfangreiche Vorverarbeitung insbesondere bei der Erstellung der verschiedenen Satellitenbildmosaiken notwendig, und auch die Überprüfung und Verbesserung der automatisch ermittelten Änderungspolygone nahm einen größeren Umfang an wie anfangs abgeschätzt. Angesichts der großen Datenmengen bei DLM-DE mit 1 ha MKF ist zu erwähnen, dass eine effektive Vorauswahl der potentiellen Änderungspolygone und eine handhabbare Segmentierung begrenzt auf nur diese Ausgangspolygone ein entscheidender Schritt im Projektverlauf war.

Bei einer zu erwartenden besseren multi-saisonalen Datengrundlage in der zukünftigen Sentinel-2-Ära kann auf eine verbesserte multi-saisonale Abdeckung für Analysen im Bereich der landwirtschaftlichen Flächen gehofft werden, so dass ähnliche semi-automatische Vorgehensweisen auch im Zusammenhang mit der vorausschauenden Aktualisierung von Datenbasen der Landbedeckung unter Nutzung bestehender Vektorgeometrien denkbar sind.

## 2 Summary

### 2.1 Introduction and Objective

For the update of land cover according to CORINE Land Cover classes, a specific national approach has been chosen in Germany. This approach uses a more accurate geometry of the Official Topographical Cartographic Information System ATKIS of the land survey authorities. The “Digital Land Cover Model” DLM-DE, derived from ATKIS, is to be applied as base for the deduction of CLC classes. In the responsibility of the German Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG), the DLM-DE 2009 database was built-up for the reference year 2009 with a minimum mapping unit (MMU) of 1 ha. Currently, an updated database DLM-DE 2012 is established by BKG. Using methods of generalization, this database will be transferred into the CLC2012 database (CORINE Land Cover 2012, having 25 ha MMU due to the EU specifications). The adjustment of the update is conducted using satellite data of 2012.

Besides CLC2012, a change layer of land cover between 2006 and 2012 is needed which describes the development of land cover categories (with 5 ha MMU). The update of DLM-DE 2009 to the year 2012 grants only directly the deduction of changes between 2009 and 2012. A comparison of changes of the conventionally derived CLC2006 (with 25 ha MMU) with DLM-DE 2009 or DLM-DE 2012 would mainly yield differences because of different geometries. Therefore it was necessary to derive spatial information on the changes regarding the more detailed geometry of DLM-DE 2009.

The modelling of changes between 2006 and 2009 in the detailed geometry of DLM-DE 2009 was task of DLR’s German Remote Sensing Data Center (DFD). For that purpose, a database „CLC2006\_backdating“ had to be created by a „backward look“ from DLM-DE 2009 to the situation of land cover / land use in 2006. This has been done using an approach including the 46 most common change classes (based on the changes between 2000 and 2006). As far as possible, automatic or semi-automatic methods were used.

The scheme of land cover classes due to CORINE Land Cover in Germany is presented in Abbildung 4.

Abbildung 4: Scheme of land cover classes due to CORINE Land Cover in Germany, including color coding

<p><b>ARTIFICIAL SURFACES</b></p> <p>URBAN FABRIC</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 111 Continuous urban fabric</li> <li>■ 112 Discontinuous urban fabric</li> </ul> <p>INDUSTRIAL, COMMERCIAL AND TRANSPORT UNITS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 121 Industrial, commercial and public units</li> <li>■ 122 Road and rail networks and associated land</li> <li>■ 123 Port areas</li> <li>■ 124 Airport</li> </ul> <p>MINES, DUMPS AND CONSTRUCTION SITES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 131 Mineral extraction sites</li> <li>■ 132 Dump sites</li> <li>■ 133 Construction sites</li> </ul> <p>ARTIFICIAL NON-AGRICULTURAL VEGETATED AREAS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 141 Green urban areas</li> <li>■ 142 Sport and leisure facilities</li> </ul> <p><b>AGRICULTURAL AREAS</b></p> <p>ARABLE LAND</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 211 Non-irrigated arable land</li> </ul> <p>PERMANENT CROPS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 221 Vineyards</li> <li>■ 222 Fruit trees and berries plantations</li> </ul> <p>PASTURES</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 231 Pastures</li> </ul> <p>HETEROGENEOUS AGRICULTURAL AREAS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 242 Complex cultivation patterns</li> <li>■ 243 Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation</li> </ul>	<p><b>FOREST AND SEMINATURAL AREA</b></p> <p>FORESTS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 311 Broad-leaved forest</li> <li>■ 312 Coniferous forest</li> <li>■ 313 Mixed forest</li> </ul> <p>SCRUBS AND/OR HERBACEOUS VEGETATION</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 321 Natural grassland</li> <li>■ 322 Moors and heathland</li> <li>■ 324 Transitional woodland-scrub</li> </ul> <p>OPEN SPACES WITH LITTLE OR NO VEGETATION</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 331 Beaches, dunes, sand</li> <li>■ 332 Bare rock</li> <li>■ 333 Sparsely vegetated areas</li> <li>■ 334 Burnt areas</li> <li>■ 335 Glaciers and perpetual snow</li> </ul> <p><b>WETLANDS</b></p> <p>INLAND WETLANDS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 411 Inland marshes</li> <li>■ 412 Peat bogs</li> </ul> <p>COASTAL WETLANDS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 421 Salt marshes</li> <li>■ 423 Intertidal flats</li> </ul> <p><b>WATER BODIES</b></p> <p>INLAND WATERS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 511 Water courses</li> <li>■ 512 Water bodies</li> </ul> <p>MARINE WATERS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 521 Coastal lagoons</li> <li>■ 522 Estuaries</li> <li>■ 523 Sea and ocean</li> </ul>
---	--

## 2.2 Data base

The available data base for the retrospective derivation of the land cover situation in 2006 consists of several vector data and satellite imagery products.

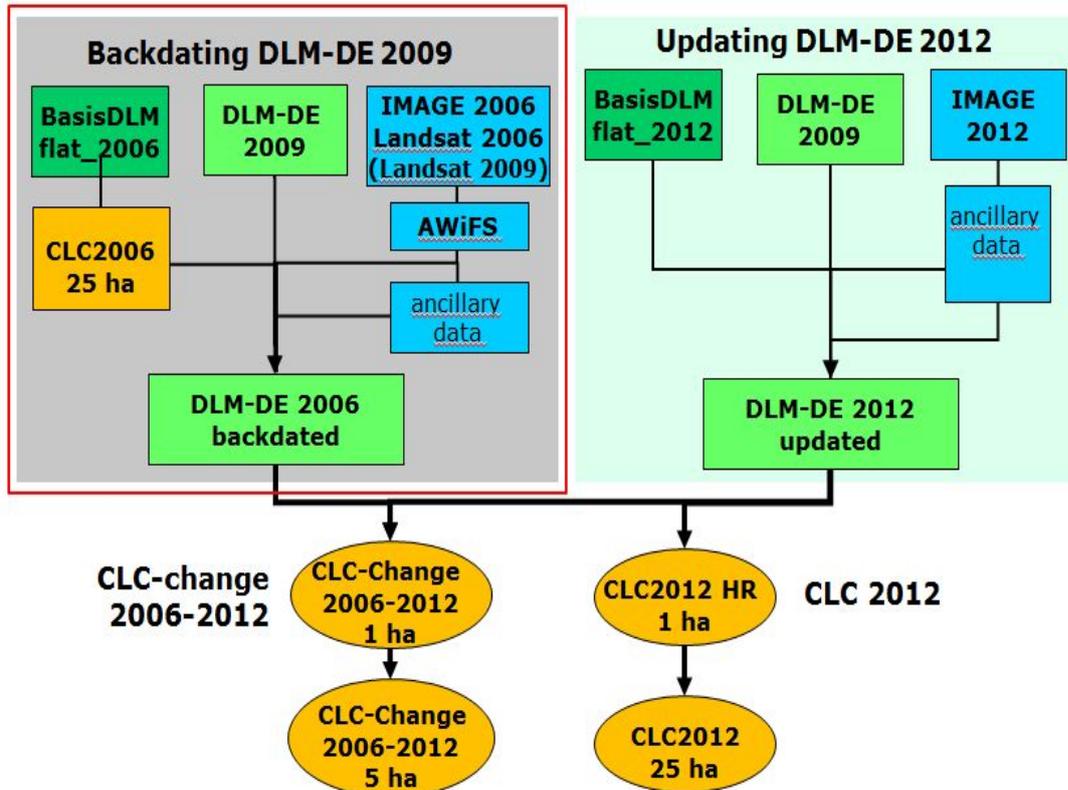
- **Digital Land Cover Model DLM-DE2009:** The database DLM-DE 2009 is based on the ATKIS Basis-DLM for the year 2009 which has been produced in responsibility of the BKG and checked and updated using various high resolution satellite imagery of the sensors RapidEye and DMC. DLM-DE 2009 was the base of „Backdating“, back to the year 2006.
- **ATKIS Basis-DLM Flat Layer 2006 Federal States:** The ATKIS Basis-DLM 2006 for all federal states was available in form of a prepared non-overlapping vector database, which was not checked and updated by satellite imagery. It was fixed to the status of spring / early summer 2006.
- **CORINE Land Cover 2006 (with 25 ha MKF):** The dataset of CLC2006 was used directly only for special situations because of the minimum mapping unit (MMU) of 25 ha. However, the dataset was applied for many comparison tasks.
- **Satellite imagery IMAGE2006 spring and summer:** From the conventional approach of CORINE Land Cover production, the satellite database IMAGE2006 was available and used for the Backdating tasks. It consists of satellite images from the IRS-P6 LISS-III and SPOT-4 HRVIR / Spot-5 HRG sensors for two seasonal coverages (spring and summer aspect).
- **Satellite imagery Landsat-5 summer:** Landsat-5 TM images covering entire Germany formed an additional homogeneous coverage in summer aspect for the year 2006. At the same time, the Landsat imagery built a backup input dataset in regions with restricted IMAGE2006 data availability caused by atmospheric conditions (high cloud cover).
- **Satellite imagery AWiFS 2005 / 2006 multi-seasonal:** During pre-studies, the high potential of multi-seasonal AWiFS imagery was proven concerning the differentiation between arable land and pasture land. The AWiFS data with a spatial resolution of about 60 m were used to derive indicators for the characterization of vegetation dynamics and for the separation between arable and grassland. The 43 AWiFS scenes for the multi-seasonal coverage of Germany were purchased by project funds.
- **Soil Sealing Layer 2006:** This information layer was provided by UBA and presents the built-up areas of the EEA member states, including the degree of soil sealing between 1% and 100%. The dataset exists in two versions and was derived from satellite imagery of the IMAGE2006 dataset. The primary version „EEA Fast Track Service Precursor – Degree of soil sealing“ includes built-up areas, mineral extraction sites, and still open construction sites. The version „Revised Soil Sealing 2006, degrees of sealing 20 m and 100 m“ had been completely revised in the FP7 project „geoland2“ and does not include mineral extraction sites and open construction sites.
- **Regional available data:** For various regions of Germany, forest map products were available from the project „GSE Forest Monitoring“, which were produced under responsibility of the GAF AG.

Abbildung 5 shows a summing-up of data flows and working steps (as part of the whole project CLC2012). Two tasks can be identified: First, the updating for the description of CLC status in the year 2012; secondly, the backdating as part of the deduction of „CLC-Change“, including the changes between 2006 und 2012. The updating component (data flows on the right) was carried out by BKG as explained before.

## 2.3 Methods

Five different software packages were used: The processing system CATENA, developed by the DLR Remote Sensing Technology Institute, was deployed for various steps of pre-processing. The GIS software ESRI ArcGIS 10 was used for all GIS related steps. For image processing, ERDAS Imagine version 2011, eCognition Developer version 64 of Trimble company (particularly for image segmentation), and the „Interactive Description Language“ IDL (version 7.1 and 8.1) were used.

Abbildung 5: The two tasks of updating and backdating during the production of CLC2012 and CLC-change (2006 – 2012) showing also the related data flows. Source: BKG presentation at the kickoff meeting of „CLC Backdating“ on 27 September 2012, modified.



**Approach to assess primary change processes:**

For backdating the DLM-DE2009 onto the situation of land cover in 2006, an approach was chosen which uses the most common 46 change classes (based on the changes between 2000 and 2006, assessed in CLC2006). The first eight change processes (composed by changes in forest composition because of storm damages, clearing and reforestation, transitions from grassland to arable land in agriculture, development of new settlements, industrial built-up and mineral extraction sites on arable land) already cover 51.2% of cumulated percentages of change areas (see Tabelle 2). Taking into account the 46 most frequent change classes, a coverage of 89.7 % of the changed areas in CLC2006 was given. By a suitable grouping of change classes it was initiated to refer on thematic raster layers for the reference year 2006 - e.g. a layer of mineral extraction sites, CLC class 131, to get the proportion in the polygons of DLM-DE2009 for the determination of changes. By segmentations of generally affected polygons, based on high resolution satellite data like in IMAGE2006, sub-areas in the change polygons were to be integrated.

**Pre-processing steps:**

Germany was divided into 6 working units – so called macro-regions - consisting of one or more federal states. Thus, macro-region BY contained the area of Bavaria, NW the area of North Rhine-Westphalia, Hesse, Rhineland-Palatinate, and Saarland. Prepared mosaics of IMAGE2006 coverages (spring and summer) for each macro-region and an additional dataset of Landsat summer data built the high resolution satellite data base. The preparation step of the mosaics included cloud and cloud shadow masking to define un-valid pixels.

Tabelle 2: The dominating 8 change classes due to CLC changes between 2000 and 2006 in Germany

Legend:	Range No.	Process	Germany		
			Area [km <sup>2</sup> ]	Percentage	cumulated
Intensivication in agriculture	1	312 → 324	265,30	11,77%	11,77%
Extensivication in agriculture	2	231 → 211	192,87	8,56%	20,33%
Afforestation	3	211 → 112	178,61	7,92%	28,25%
Areas with forest loss	4	324 → 313	157,95	7,01%	35,26%
Urbanisation / Increase of soil sealing	5	324 → 312	117,93	5,23%	40,49%
New extraction sites	6	211 → 131	86,09	3,82%	44,31%
Recultivation of extraction sites	7	133 → 112	77,81	3,45%	47,76%
New water bodies	8	211 → 121	77,21	3,43%	51,18%
Other change					

As one main thematic information layer in agricultural areas, the multi-seasonal information of IRS-P6 AWiFS time series was to be integrated for the separation of arable and grassland areas. For this it was necessary to apply a co-registration of the AWiFS data, as well as a generation of multi-seasonal mosaics (e.g. for the months of April, May, July, and September) and a deduction of temporal statistics for AWiFS. The vegetation index NDVI („Normalized Difference Vegetation Index“) was used as an indicator for the description of vegetation development in the single objects along the year (the phenological characteristics). The temporal dynamics in the NDVI time series data contain valuable information concerning the probable affiliation to arable land or grassland. A set of parameters with minimum, maximum, mean, and standard deviation was used for that.

**Derivation of thematic raster layer:**

The derived thematic raster layers with the status of 2006 had partly the role of interim layers. These layers were also further processed using logical linking. On the other hand, the raster layers, such as the deduced layer of mineral extraction sites (CLC class 131) to the status of 2006, could directly be integrated to derive potential transitions of land cover (e.g. for the transition 131-> 512, mineral extraction site in 2006 to water body in 2009).

The following interim layers are to be named:

- Two variants of „Soil Sealing Layer 2006“: including and excluding mineral extraction sites and construction sites, information layer for extraction sites in 2006,
- *Built-up Layer 2006* from Basis-DLM\_2006\_flach (with high degree on currency), including at least one of the CLC-classes 111, 112 or 121,
- *Layer for forest cover 2006* (forest mask 2006) from Basis-DLM\_2006\_flach (also highly current concerning the outer limit of forest areas), with at least one of the forest classes in CLC showing 311, 312, 313, or 324.

By combinations of interim layers and satellite image products, or solely by products from satellite data, the following raster layers were deduced, which can be directly integrated in the land cover situation of 2006:

- *Water mask* (CLC 512), derived by combined threshold classifications from three deduced indices from the Landsat mosaics (NDVI, water index MNDWI due to Xu, SWIR band); the water class is not considered for potential change areas, but it is important for the manual checks (e. g. for mineral extraction sites or transitions in 2006);
- *Mineral extraction sites* (CLC 131), derived by a complex rule set using the two variants of soil sealing layer, the DLM-DE2009 database (potential later classes in 2009), CLC2006, and the single Landsat scenes of 2006;

- *Construction sites* (CLC133), derived by the two variants of soil sealing layer, with an additional rule on membership to at least one of the classes in DLM-DE2009: 133, 111,112,121, or 122;
- *Arable areas* (CLC 211), delineation by a combination of thresholds for the temporal statistics results of the AWiFS based NDVI time series, and exclusion of built-up areas, forest areas, and water areas in 2006;
- *Grassland areas* (CLC 231, partly also CLC 321), in addition delineation by a combination of thresholds for the temporal statistics results of the AWiFS based NDVI time series, and exclusion of built-up areas, forest areas, and water areas in 2006, and also other areas;
- *Forest distribution concerning the forest classes* (CLC 311, 312, 313, 324); diversification within the forest mask 2006, use of CLC2006, determination of detailed distribution of forest areas with status 324 in DLM-DE2009 and (still) 312 in 2006 or (already) 324 in 2006 by using IMAGE2006 and Landsat based information, especially in the SWIR bands;
- *Only regional distributed land cover classes* (CLC 222, 321, 331, 333), with the initial situation deduced by CLC2006, partly adapted by manual improvements.

### **Integrating the information from DLM-DE2009, satellite imagery 2006 and raster layers 2006:**

The 12 thematic raster layers keep the thematic information on land cover / land use in the status of 2006 and correspond with one of the CLC classes (see before). They determine the participating classes for 2006 concerning the main changes and their spatial distribution. For modelling the backdating dataset, the following further tasks had to be performed:

- Derivation of polygons which are potentially affected by changes in the geometric skeleton of DLM-DE2009 (calculation of zonal statistics);
- Determination of polygons which show a complete (or by high dominance) transition to another CLC class in 2006 (calculation of zonal statistics);
- Sub-segmentation of polygons which are partly affected by changes between 2006 and 2009; the segmentation used suitable high resolution satellite data in form of the three mosaics “summer aspect LISS-III“ including cloud and cloud shadow masks, „spring aspect LISS-III“ including cloud & cloud shadow masks, and „summer aspect Landsat-5 Thematic Mapper“ with cloud masks;
- Allocation of the dominant CLC classes due to the thematic raster layers as class members in the selected sub-segments (using zonal statistics assessment) and output of the change polygons.

The work flow including the data flow is presented in the overview graph in Abbildung 6.

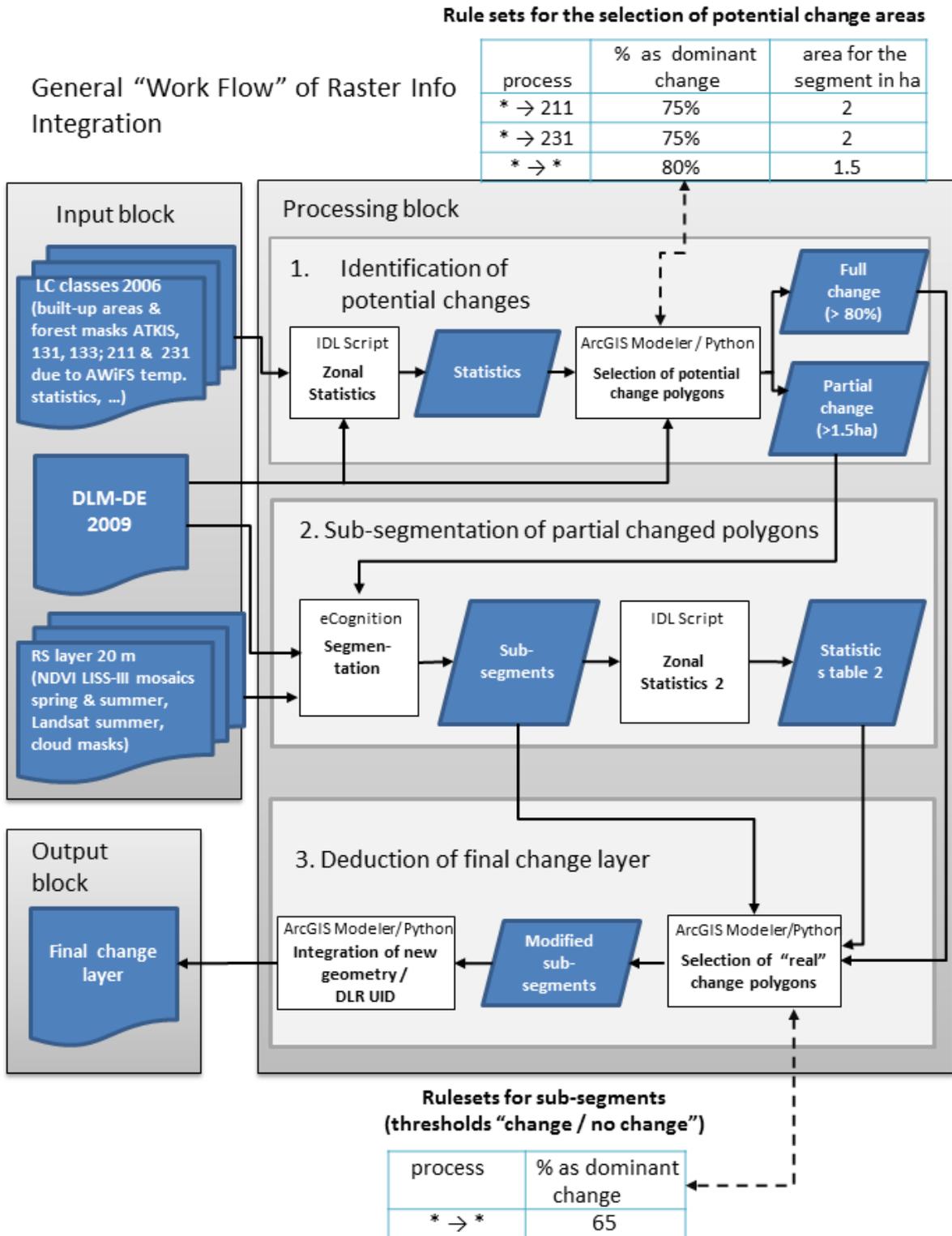
### **Plausibility checks and improvement of change polygons:**

The determined polygons which showed a change in comparison to 2009 were investigated by a number of plausibility checks. The results were first noted in additional attributes. Before thematic inspections, checks were done for polygons with an area below 0,5 ha and 1,0 ha, respectively, followed by form parameter checks to identify small objects. These polygons were not included in the plausibility checks, but were marked and still available for later tasks in the context of complex change areas. As one example, the checks for potential changes from arable land / pasture land (CLC classes 211 and 231) to recreation and sports areas (CLC class 142) are mentioned here. CLC-class 142 is not covered by the built-up area mask or the forest mask. Thus, class 142 is included in the classification of arable and pasture land for 2006. Most indicated changes are not real changes. But a check is necessary to identify changes from arable land or pasture land to new golf courts which are part of CLC class 142.

## **2.4 Resulting Products**

The resulting products of single macro-regions or sub-units were successively delivered to the BKG for further data integration. For each region, two final products were generated: A set of improved change polygons (with change areas larger than 1 ha) for the period between 2006 and 2009, and the resulting retrospective land cover situation in 2006, integrated in the CLC2006\_Backdating database, with 1 ha minimum mapping unit.

Abbildung 6: Work flow during the integration of satellite imagery, thematic raster layers and the input data of DLM-DE 2009 vector database



## 2.5 Considerations on Data Quality

For the indicated changes in agricultural areas, full-cover checks of the contribution to arable land or pasture land were necessary. Due to time limits, the checks had to be done on scales ranging from 1:30,000 to 1:40,000. Together with the multi-seasonal AWiFS indication, also the combination of visual inspection of the three high resolution satellite mosaics was considered for the decision if polygons had to be marked with change or no change. In several situations, the AWiFS indicators were disturbed, e. g. in riparian zones by temporal flooding states, and indicated wrong changes then.

In addition, the deduced statistical parameters (like minimum, mean, standard deviation) were depending on the representativeness of available acquisition times in the AWiFS scenes and on local gap-free or gap-disturbed coverage by 4 up to 7 scenes. In the combined use of AWiFS indicators and the three mosaic variants of LISS-III and Landsat products, an essential improvement of allocation to real and non-real changes in agriculture was possible. It can be assumed that the multi-seasonal coverage can be optimized in future, e. g. by time series of the future Sentinel-2 system, thus also improving the automatic arable land / pasture land separation.

An area-wide check of indicated change polygons was also performed concerning changes in forest areas and transformation processes in areas surrounding mineral extraction sites. For other change types, first the largest change polygons per change combination were checked, followed by checks on smaller polygons. Partly, this approach was combined by area-wide checks in regions with indications of false change contributions and in “hot spots” of changes.

## 2.6 Conclusion

In the project, a semi-automated approach was used for derivation of land cover changes, based on 46 change classes which were indicated to cover about 90% of change areas. The applied method was proven to be a feasible approach, delivering satisfying results. However, a quite large amount of pre-processing was connected with this, especially regarding various satellite image mosaics, and also the checks and manual improvements of the automatically detected change polygons reached a higher extent in relation to the estimates from the beginning. With respect to the large data volume of the DLM-DE vector database with 1 ha MMU, it should be remarked that an effective pre-selection of potential change polygons and a manageable segmentation were crucial steps during the project progress.

With an improved multi-seasonal database in the upcoming Sentinel-2 era, there will be an improved multi-seasonal coverage for analyses in the field of agriculture. Altogether, a similar semi-automated approach is also conceivable in the context of a forward-looking update of a land cover database by applying available vector geometries.

## 3 Einleitung

### 3.1 Ausgangssituation

Das Umweltbundesamt (UBA) ist seit der Ersterfassung zum Jahr 1990 die national verantwortliche Einrichtung zur Fortführung der CORINE Land Cover (CLC) Erhebung in Deutschland, im Rahmen des von der Europäischen Umweltagentur (EEA) europaweit koordinierten CLC-Programms, seit 2012 zusammen mit dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). Im Auftrag des Umweltbundesamtes hat das Deutsche Fernerkundungsdatenzentrum (DFD) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) bereits die Aktualisierung CLC2000 sowie CLC2006 durchgeführt (Keil et al., 2005; Keil et al., 2010 a).

Aufgrund eines Methodenwechsels wird nunmehr die Aktualisierung CLC2012 in Deutschland federführend vom BKG durchgeführt bei der die Geometrie und auch die thematische Zuordnung der Datenbasis des „Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems“ (ATKIS) die Grundlage bilden. Auf Grundlage aktueller Satellitendaten zum Referenzjahr 2012 erfolgt eine Aktualisierung der Landbedeckung zum jeweiligen Referenzjahr. Die für nationale Belange auf 1 ha Mindestkartierfläche ausgelegte Erfassung der Landbedeckung wurde zum ersten Mal für 2009 erstellt, Ergebnisprodukt war das „Digitale Landschaftsmodell für Zwecke des Bundes“ DLM-DE 2009. Die aktualisierte Datenbasis des DLM-DE 2012 wird zurzeit verantwortlich vom BKG aufgebaut und wird mittels eines Generalisierungsansatzes in den Datensatz CLC2012 (mit 25 ha Mindestkartierfläche nach den EU-Spezifikationen) überführt werden.

Das DLR-DFD wirkte bei CLC2012 nur in einem Teilbereich der Erstellung der Datenbasis mit, bei der es um die Ableitung der Änderungen („CLC\_Change“) zwischen 2006 und 2012 geht – dem zweiten Produkt neben der aktualisierten Datenbasis CLC2012 zum Status 2012. Durch den Methodenwechsel zum herkömmlichen Vorgehen bei CLC wurde für diese Teilaufgabe die Nutzung eines speziellen Ansatzes notwendig, der als „Rückschau“ oder „Backdating“ des DLM-DE 2009 zurück auf die Situation der Landbedeckung in 2006 bezeichnet werden kann.

Im Folgenden soll die **Historie** geschildert werden, die zum spezifischen Projektansatz des CLC2006\_Backdating als Teilschritt für die Ableitung des Änderungsdatensatzes CLC\_Change geführt hat.

Bereits auf dem zum Abschluss der Erhebung von CORINE Land Cover 2000 veranstalteten Nutzerworkshop 2004 in Berlin wurde der Bedarf deutscher, aber auch anderer europäischer Nutzer an einem räumlich und zum Teil auch thematisch höher auflösenden Datensatz CORINE Land Cover deutlich (Mohaupt & Keil, 2004; UBA, 2004). Auch europaweit wurde der steigende und detailliertere Informationsbedarf bei Landbedeckungsinformationen im Rahmen des **Programms Copernicus** (früher: **GMES**, „Global Monitoring for Environment and Security“) aufgegriffen. Seit 2001 wurden diverse Geodienste-Entwicklungen in EU-Programmen und ESA-Programmen im Bereich des Land-Monitoring initiiert (GSE Forest Monitoring, 2010, BOSS4GMES, 2011, Geoland2, 2010, Geoland2, 2012, Copernicus EU, 2013, D-Copernicus, 2013, Copernicus, 2014, Kuntz et al., 2014), die zum Teil die Ergänzung der Informationsebenen von CLC zum Ziele hatten.

Dabei wurde u. a. (im Rahmen des „Fast Track Service Precursor Land, FTS-Land) ein Datensatz der versiegelten Flächen zum Referenzjahr 2006 erstellt, der auch den Grad der Bodenversiegelung (zwischen 1% und 100%) enthält. Der Datensatz „FTSP Soil Sealing 2006“, beruhend auf der Satellitendatenbasis von „IMAGE2006“, deckt alle Mitgliedländer der Europäischen Umweltagentur ab, hat eine primäre Pixelgröße von 20 m mal 20 m, mit zusätzlicher Aggregation auf 100 m mal 100 m, und wurde im Rahmen des nachfolgenden Copernicus Projekts „Geoland2“ zum Referenzjahr 2009 aktualisiert (EEA, 2010; Gangkofner et al., 2010).

Andere Geodienste-Entwicklungen, eingehängt im Geoland2-Teilprojekt EUROLAND, hatten neben der Erfassung und Charakterisierung von versiegelten Flächen (als einem von fünf thematischen „**High Resolution Layer**“ (HRL)) die Ableitung und Charakterisierung von weiteren vier „HRL-Layern“ zum Ziel: Einem Waldlayer, dem „HRL Forest“, bei dem neben einer Waldmaske (ab 10% Kronenbedeckung) über Regressionsansätze die Dichte der Kronenbedeckung und die Anteile an Laub- und Nadelholz aus Satellitenbildinformation ermittelt werden, einem permanenten Grasland-Layer („HRL Grassland“), einem Feuchtgebiets-Layer (HRL Wetlands) sowie einem Layer permanenter Wasserkörper (HRL Water). Die erwähnten hochauflösenden Layer wurden für diverse Demonstrationsgebiete bzw. grenzüberschreitenden Transekten in Europa ermittelt, basierend auf der Satellitendatenbasis von „IMAGE2009“ (GMES-GEOLAND, 2010a, GMES-GEOLAND, 2010b) und ergänzt um multitemporale Daten des IRS-P6 AWiFS Sensors. Aufbauend auf diesen Geodienste-Entwicklungen, wurde im Sommer / Herbst 2011 von der EEA das Projekt GIO Land

(„GMES Initial Operations“) initiiert mit dem Ziel der Überdeckung von 39 Staaten in Europa durch die entsprechenden „Pan- European High Resolution Layers“ (EEA, 2012) – nunmehr als Teil der „Copernicus Land Monitoring Services“ (Copernicus Programme, 2014). Multi-saisonale und auch multi-sensorale Daten spielen insbesondere bei den Layern „HRL Forest“, „HRL Grassland“, „HRL Wetlands“ und „HRL Water“ eine Rolle. Erfahrungen bei der Erstellung des europäischen Grasland-Layers werden bei Zillmann et al (2014) dargestellt.

Im nationalen (deutschen) Umfeld wurden die Geodienste-Entwicklungen durch das Verbundvorhaben **DeCOVER** begleitet. Es verstand sich als nationales Schnittstellenprojekt zu den europäischen Aktivitäten innerhalb COPERNICUS / GMES. In DeCOVER wurden in zwei Phasen Methoden zur Aktualisierung und Erweiterung bestehender Landbedeckungsinformationen entwickelt und angepasste Verfahren für den Informationsbedarf nationaler und regionaler Fachbehörden (z. B. im Bereich der Landwirtschaft und des Naturschutzes) erarbeitet (DeCOVER 2, 2012; EFTAS, 2012).

In den letzten Jahren wurden von einigen EU-Mitgliedsländern Anstrengungen unternommen, bei der Erstellung des CORINE Land Cover Datensatzes verstärkt auch nationale Gesichtspunkte einzubeziehen, und dabei auf national vorliegende Geo-Datenbasen, aber auch auf vorhandene Programme und Datenbasen der EU-Länder aufzusetzen. Bei der Einbringung in den europaweiten Datensatz erfordert dieser Ansatz eine anschließende Anpassung an die Anforderungen auf europäischer Ebene, z.B. hinsichtlich der Mindestkartierflächen. Dieser Ansatz wird bei den europaweiten Programmen zur Erfassung und Aktualisierung der Landbedeckung und Landnutzung „**bottom-up approach**“ genannt. Er wurde z.B. bereits für CLC2006 in Spanien eingeschlagen (Arozarena et al., 2006).

Auch in Deutschland fand über längere Jahre ein entsprechender Diskussionsprozess statt, bestehende Datenbasen in den Aktualisierungsprozess einzubeziehen. Als Ausgangsbasis lag es nahe, dafür die kartographische Datenbasis „ATKIS“ zu verwenden, das „Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem“ (siehe AdV, 2012; AdV, 2013). ATKIS wird auf der Ebene der Bundesländer betrieben und aktualisiert, für die Koordinierung der Gesamtdatenbasis für Deutschland ist das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) zuständig.

Ein besonderer Begleitasspekt bei der Aktualisierung der Landbedeckung in Deutschland zu **CORINE Land Cover 2006** (Keil et al., 2010 a) war es, in einer Kooperation zwischen dem UBA, dem BKG und dem DLR zu untersuchen, in welcher Form und mit welchem Zusatzaufwand die Datenbasis von ATKIS in den Aktualisierungsprozess einbezogen werden kann (Keil et al, 2010c). Insbesondere stand dabei im Fokus, die Datengrundlage auf die genauere Geometrie von ATKIS und einen daraus abgeleiteten Datensatz zur Landbedeckung, das „Digitale Landschaftsmodell für Zwecke des Bundes“ (DLM-DE), umzustellen (Keil et al, 2010c). Das DLM-DE, nunmehr offiziell als „Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland“ bezeichnet (BKG), liegt in der Verantwortung des BKG. Mit seinen erweiterten umweltbezogenen Informationsebenen soll es für die diversen Belange der verschiedenen Ressorts und deren nachgeordneten Behörden auf Bundes- und Länderebene eingesetzt werden (Arnold, 2009 a, b). Mögliche Verfahren einer späteren adäquaten Generalisierung auf die 25 ha MKF des CLC-Datensatzes für die EU-Belange waren, zusammen mit dem Test stärker automatisierter Klassifizierungs- und Kartierungsansätzen und einem Ansatz zur Ableitung von Änderungen während des Methodenwechsels, Aspekte der begleitenden Studie (Keil et al, 2010c; siehe auch Keil et al, 2010b; Metz, 2009; Metz et al., 2009; Nieland, 2009; Nieland et al., 2009).

In den Jahren 2007 / 2008 wurde im Rahmen einer **Machbarkeitsstudie im Auftrag des BKG** von Seiten des DLR-DFD ein Verfahren entwickelt, das sich die Geometrie des ATKIS® Basis-DLM, aber auch weitgehend die Attribute der flächenbasierten ATKIS-Objekte zunutze macht, um für Testregionen eine hochaufgelöste Datenbasis von CORINE Land Cover zum Stand von 2006 abzuleiten. Dabei wurden die Satellitendaten von IMAGE2006 in Kombination von Frühjahrs- und Sommerüberdeckung für die Aktualisierung genutzt (Bock et al. 2008). Es wurde aufgezeigt, dass zum Teil direkte Transformationen von ATKIS-Attributen in den CLC-Code möglich sind, zum Teil aber der spezifische CLC-Code aus dem jeweiligen Kontext der Landbedeckungssituation im Satellitenbild abgeleitet werden muss. Je nach lokal vorliegendem Aktualisierungsstand und auch je nach Datum der zugrunde liegenden Luftbilddaufnahmen ist gegebenenfalls eine Aktualisierung zum Referenzzeitpunkt der Satellitendaten notwendig. Das Datenmodell des DLM-DE mit der Integration von Geobasisdaten und Geodaten aus der Fernerkundung zur Aktualisierung wird bei Arnold (Arnold, 2009a) detaillierter diskutiert.

In der Folge wurde in der Verantwortung des BKG die Datenbasis eines aktualisierten DLM-DE für das Jahr 2009 erstellt. Das **DLM-DE 2009** wurde dabei vorwiegend mittels RapidEye Satellitendaten mit einer räumlichen Auflösung besser als 10 m zum Referenzjahr 2009 aktualisiert. Ein Firmenkonsortium im Auftrag des

BKG nutzte dazu das ATKIS® Basis-DLM als primäre Datengrundlage. Anstelle der Einzelebenen des Basis-DLM mit den flächenhaften ATKIS Objektarten, welches überlappende Geometrien erlaubt, stellte das BKG einen abgeleiteten sogenannten flachen Layer „Basis-DLM\_flach“ zur Verfügung. Dieser enthält die CLC-relevanten Landbedeckungs- und -nutzungsklassen ohne Überlappungsbereiche, die aber in einem zusätzlichen Informationslayer zu finden sind (Arnold, 2009b). Fehlende, nicht im Basis-DLM vorgesehene CLC-Klassen wurden im Rahmen des Aktualisierungsprozesses neu mit einbezogen. Auf der nationalen Ebene liegt die Mindestkartierfläche (MKF) von DLM-DE 2009 bei 1 ha (für Wasserflächen bei ½ ha).

Die Datenbasis DLM-DE 2009 bildet, zusammen mit den aktualisierten Basis-DLM Datensätzen der Bundesländer zum Stand Mitte 2012, die Grundlage für die aktualisierte Datenbasis **DLM-DE 2012** (auf nationaler Ebene), die zur Zeit unter Federführung des BKG erstellt wird. Das DLM-DE 2012 mit 1 ha Mindestkartierfläche wiederum wird am BKG über eine Folgeprozessierung zur Generalisierung zu dem **deutschen Beitrag zu CLC 2012** (MKF 25 ha) an die EEA führen (Arnold et al., 2014). Bei der Generalisierung werden bei zu kleinen Einheiten deren thematische Nachbarschaftsbeziehungen gegenüber den umgebenden Polygonen Berücksichtigung finden werden.

Als zweiter Datensatz zu CORINE Land Cover 2012 wird der Änderungslayer benötigt, der die Polygone mit Änderungen der Landbedeckung ab 5 ha zwischen der Erfassung von 2006 und dem Status von 2012 enthält (**CLC\_Change**). Als Zwischenstatus steht dazu das Produkt DLM\_DE2009 des BKG zur Verfügung. Die Änderungen zum Status in 2012 gegenüber DLM\_DE 2009 werden direkt beim Aktualisierungsprozess von DLM\_DE 2012 am BKG aufgenommen. Die vereinbarte Rolle von UBA und DLR-DFD war es, in der Phase des Methodenwechsels zwischen 2006 und 2009 die hauptsächlichen Änderungsflächen zwischen 2006 und 2009 beizusteuern. Dies sollte mit semi-automatischen Methoden auf der Basis der 1 ha-Geometrie erfolgen, um damit den Status der Landbedeckung zum Jahr 2006 in feinerer Geometrie zu modellieren und so eine vergleichbare Ausgangsbasis zum Status 2012 für die Änderungsableitung am BKG zu gewinnen.

### 3.2 Zielsetzung

Primär geht es beim „Backdating“ darum, einen „Interim Datensatz“ „CLC2006\_Backdating“ mit 1 ha Mindestkartierfläche zu erzeugen, der dann zusammen mit dem DLM-DE 2012 die Ausgangsbasis für die Ableitung der CLC-Änderungen zwischen 2006 und 2012 ist und im Anschluss für die europäische Planungsebene (in der Verantwortung des BKG) auf 5 ha Mindestkartierfläche zu generalisieren ist.

Zusammenfassend soll hier nochmals die Zielsetzung des Projekts „Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012-„Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006“ im Kontext dargestellt werden:

Durch die Verwendung des Basis-DLM und die Ableitung der DLM-DE 2009 Datenbasis mit aktualisierten CLC-Klassen (zur Definition der CLC-Klassen in Deutschland siehe Abbildung 7) werden die Einheiten der Bodenbedeckung und der Landnutzung gemäß CLC in die Geometrie des amtlichen topographisch-kartographischen Informationssystems überführt. Der Methodenwechsel bei der Aktualisierung von CORINE Land Cover zum Referenzjahr 2012 gegenüber 2006 (mit DLM-DE 2009 als Basis der Aktualisierung) erschließt damit neue nationale und regionale Nutzungsmöglichkeiten. Mit der nachfolgenden Generalisierung der CLC-Polygone von 1 ha Mindestkartierfläche (MKF) auf 25 ha MKF kann sodann ein adäquater Datensatz für die Verwendung bei der Europäischen Umweltagentur EEA und für weitere Anwendergruppen im nationalen und internationalen Umfeld abgeleitet werden.

Im europäischen wie auch im nationalen Kontext wird neben dem aktualisierten Produkt CLC2012 auch der Änderungslayer von 2006 zu 2012 (**CLC\_Change**) benötigt, der Auskunft über die Entwicklung der Landbedeckungskategorien gewährt, und zu dem eine MKF von 5 ha festgelegt ist. Eine Aktualisierung des DLM-DE 2009 zum Jahr 2012 lässt eine Ableitung der Änderungen über diesen Drei-Jahres-Zeitraum unmittelbar zu (und liegt dabei in der Verantwortung des BKG). Die geforderten Gesamtänderungen setzen sich aber zusammen aus der Kombination der Änderungsprozesse von 2006 zu 2009 und von 2009 zu 2012. Für die entsprechende Berücksichtigung beider Komponenten im Change Layer ist das Aufsetzen auf der genaueren neuen Ausgangsgeometrie des DLM-DE 2009 sinnvoll, was ein Ergebnis der begleitenden Studie zu CLC2006 (Keil et al., 2010 c) war. Ansonsten würden sich in Folge des Methodenwechsels und der unterschiedlichen Geometrien bei der Abgrenzung der Objekte (im direkten Vergleich mit CLC2006) lokale Abweichungen und echte zeitliche Änderungen miteinander vermischen.

Daher bleibt die Aufgabe, möglichst effektiv in der Geometrie des DLM-DE den Status der Landbedeckung / Landnutzung in 2006 abzuleiten. Es soll dabei von den hauptsächlichen Änderungsprozessen ausgegangen

werden, und nach Möglichkeit sollen zu einem größeren Teil automatische bzw. semi-automatische Methoden zum Einsatz kommen. Bei der großen zu erwartenden Anzahl an Änderungen innerhalb landwirtschaftlicher Flächen soll dabei auf das Potential multi-saisonaler Satellitendaten in Form von AWiFS Zeitreihen von 2005 / 2006 aufgesetzt werden. In diesen multi-saisonalen Daten kann die unterschiedliche phänologische Entwicklung auf Ackerflächen gegenüber Grünlandflächen verfolgt und als Trennungsindikator genutzt werden. Weiterhin sollen bereits im Umfeld von GMES / Copernicus Programmen erstellte hochaufgelöste Geoinformationsprodukte wie die zwei vorliegenden Varianten des Versiegelungslayers („Soil Sealing 2006“) in die Auswertung einbezogen werden und als Zwischenprodukte weitere hochaufgelöste thematische Rasterlayer zum Status 2006 erstellt werden.

Abbildung 7: Klassifizierungsschema der Bodenbedeckungsklassen gemäß CORINE Land Cover in Deutschland und ihre Farbzuordnung.

<b>BEBAUTE FLÄCHEN</b>	<b>WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN</b>
<b>STÄDTISCH GEPRÄGTE FLÄCHEN</b>	<b>WÄLDER</b>
■ 111 Durchgängig städtische Prägung	■ 311 Laubwälder
■ 112 Nicht durchgängig städtische Prägung	■ 312 Nadelwälder
<b>INDUSTRIE-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN</b>	■ 313 Mischwälder
■ 121 Industrie- und Gewerbeflächen	<b>STRAUCH- UND KRAUTVEGETATION</b>
■ 122 Straßen, Eisenbahn	■ 321 Natürliches Grünland
■ 123 Hafengebiete	■ 322 Heiden und Moorheiden
■ 124 Flughäfen	■ 324 Wald-Strauch-Übergangsstadien
<b>ABBAUFLÄCHEN, DEPONIEEN und BAUSTELLEN</b>	<b>OFFENE FLÄCHEN OHNE / MIT GERINGER VEGETATION</b>
■ 131 Abbauflächen	■ 331 Strände, Dünen und Sandflächen
■ 132 Deponien und Abraumhalden	■ 332 Felsflächen ohne Vegetation
■ 133 Baustellen	■ 333 Flächen mit spärlicher Vegetation
<b>GRÜNFLÄCHEN</b>	■ 334 Brandflächen
■ 141 Städtische Grünflächen	■ 335 Gletscher und Dauerschneegebiete
■ 142 Sport- und Freizeitanlagen	<b>FEUCHTFLÄCHEN</b>
<b>LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN</b>	<b>FEUCHTFLÄCHEN IM LANDESINNERN</b>
<b>ACKERFLÄCHEN</b>	■ 411 Sümpfe
■ 211 Nicht bewässertes Ackerland	■ 412 Torfmoore
<b>DAUERKULTUREN</b>	<b>FEUCHTFLÄCHEN AN DER KÜSTE</b>
■ 221 Weinbauflächen	■ 421 Salzwiesen
■ 222 Obst- und Beerenobstbestände	■ 423 In der Gezeitenzone liegende Flächen
<b>GRÜNLAND</b>	<b>WASSERFLÄCHEN</b>
■ 231 Wiesen und Weiden	<b>WASSERFLÄCHEN IM LANDESINNERN</b>
<b>HETEROGENE LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN</b>	■ 511 Gewässerläufe
■ 242 Komplexe Parzellenstrukturen	■ 512 Wasserflächen
■ 243 Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung	<b>MEERESGEWÄSSER</b>
	■ 521 Lagunen
	■ 522 Mündungsgebiete
	■ 523 Meere und Ozeane
	□ Flächen außerhalb des Bearbeitungsgebietes

## 4 Datenbasis

### 4.1 Eingangsdaten

#### 4.1.1 ATKIS Basis-DLM Flacher Layer 2006 Bundesländer

Als wichtigsten Eingangslayer für das Backdating des Digitalen Landbedeckungsmodells DLM-DE2009 zurück auf das Jahr 2006 stellte das BKG zum Projektbeginn den ATKIS Datensatz in der Form des ATKIS Basis DLM, getrennt für die 16 Bundesländer, zur Verfügung. Der Lieferstand in den länderspezifisch bearbeiteten ATKIS-Datensätzen war dabei zum Frühjahr / Frühsommer 2006 eingefroren. Laut BKG kann davon ausgegangen werden, dass der Status der bebauten Flächen und Verkehrsflächen zu diesem Zeitpunkt „Spitzenaktualität“ aufweist, die Aktualisierung also recht nah an den Liefertermin heranreicht, aber die Nutzungsart der landwirtschaftlichen Flächen und der Erfassungsstand anderer Landbedeckungen abhängig von den zugrunde liegenden Luftbildbefliegungen auch mehrere Jahre zurück liegen kann – für das Jahr 2006 liegt keine Aktualisierung mittels Satellitendaten vor.

Das ATKIS Basis DLM setzt sich aus den flächenhaften Objektarten (im alten ATKIS Datenmodell) zusammen, die auf 99 ausgewählten Objektarten aus den Bereichen Siedlung, Verkehr, Vegetation und Gewässer beruhen und für die Modellierung von Landbedeckungs- und Landnutzungsinformationen relevant sind. Sie sind in ATKIS in 17 ATKIS-Ebenen gruppiert, die sich jeweils aus diversen Objektarten zusammensetzen. Die Tabelle 3 zeigt diese 17 ATKIS-Ebenen und ausgesuchte Objektarten in den jeweiligen Ebenen. Eine Gesamtliste der Objektarten ist bei AdV (2012) und BKG (2012, S. 4 ff) zu finden.

In den ATKIS Daten können sich Polygone verschiedener ATKIS-Ebenen überlagern, z. B. wenn Objekte einmal von der Landbedeckung her, zum andern von Funktionen der Nutzung her erfasst sind (z. B. Bergbaubetrieb, Zoologischer Garten, Freizeitanlage).

In dem vom BKG zur Verfügung gestellten Datensatz liegen die zunächst einzeln erfassten ATKIS-Ebenen mit vorhandenen Überlagerungen im ursprünglichen Basis-DLM nach einer festgelegten Reihenfolge (BKG 2012, S. 8) übereinander gelegt und zu einem Datensatz „BDLM\_flach“ überlagerungsfrei vereinfacht vor. Zusätzlich stand jeweils ein weiterer Datensatz mit Informationen zu den Überlagerungsflächen zur Verfügung. Das BDLM\_flach diente in dieser Form dem BKG auch als Grundlagendatensatz für die Aktualisierung des DLM-DE2009.

Neben diversen Attributen aus den ATKIS Erfassungen enthalten die Polygone des BDLM\_flach von 2006 das Attribut CLC\_BKG, das jeweils die in Frage kommenden CLC-Klassen auflistet (bei Grünland z. B. könnten es die CLC-Klassen 231, 321 oder 141 sein). Das Attribut CLC\_BKG beruht auf einer „Semantischen Transformationstabelle STT“, durch die alle Objekte des DLM-DE2009 vor der Aktualisierung mit einem vorläufigen, teilweise eindeutigen, teilweise mehrdeutigen CLC-Code versehen worden sind, der bei einer Aktualisierung dann zu einem eindeutigen Code CLC\_UPD bestätigt oder auch abgeändert wird. Grundlage der Transformationstabelle war der Abgleich zwischen den Definitionen der ATKIS-Objektarten (im alten Modell) und den Definitionen der CLC-Klassen (BKG 2012, S. 16).

Wegen der nicht erfolgten Aktualisierung sind z. B. die Waldflächen gemäß dem BDLM\_flach nicht klar einer der Waldklassen 311, 312, 313 oder 324 zuzuordnen. Da laut BKG die Waldaußengrenzen insgesamt aber eine recht gute Erfassungsaktualität aufweisen, bildet der ATKIS Basis-DLM Flacher Layer 2006 eine recht gute Ausgangsbasis zur Ableitung einer Waldmaske zum Status 2006. Die hohe Aktualität bei bebauten Flächen lässt auch die Ableitung einer Maske zu den bebauten Flächen („Bebauungsmaske“ oder „Urbanmaske“) zu.

Tabelle 3: Auflistung der ATKIS-Ebenen und ausgesuchter zugehöriger flächenhafter Objektarten des ATKIS Basis-DLM (im alten Modell), welche in das „Basis-DLM Flacher Layer“ 2006 eingegangen sind. Quelle: BKG, 2012.

ATKIS-Ebene	Inhalt	Objektarten
SIE02_F	Baulich geprägte Flächen (Grundflächen)	2111 Wohnbaufläche 2112 Industriefläche 2113 Flächen gemischter Nutzung 2114 Flächen besonderer funktionaler Prägung 2202 Freizeitanlage
SIE03_F	Siedlungsfreiflächen (Grundflächen)	2201 Sportanlage 2213 Friedhof 2227 Grünanlage 2228 Campingplatz
SIE04_F	Bauwerke und sonstige Einrichtungen	2301 Tagebau 2304 Rieselfeld .....
SIE05_F	Baulich geprägte Flächen (Überlagerungsflächen)	2121 Bergbaubetrieb 2122 Deponie 2123 Raffinerie .....
SIE06_F	Siedlungsfreiflächen (Überlagerungsflächen)	2211 Freilichttheater 2212 Freilichtmuseum 2221 Stadion 2222 Sportplatz ....
VER01_F	Straßenverkehr und Rollfelder	3101 Straße 3102 Weg 3103 Platz ....
VER02_F	Schienenverkehr	3201 Schienenbahn 3202 Seilbahn ....
VER03_F	Flugverkehr	3301 Flughafen 3302 Flugplatz
VER04_F	Schiffsverkehr	3401 Hafen 3403 Schifffahrtlinie .....

VER05_F	Brücken, Tunnel und Durchlässe	3513 Tunnel 3514 Brücke .....
VEG01_F	Ackerland	4101 Ackerland
VEG02_F	Grünland, Gartenland, Heide, Moor	4102 Grünland 4103 Gartenland 4104 Heide 4105 Moor, Moos
VEG03_F	Wald, Gehölz	4107 Wald, Forst 4108 Gehölz
VEG04_F	Sonderkultur, Brachland, vegetationslose Fläche, z.Z. unbestimmbare Flächen	4109 Sonderkultur 4110 Brachland 4120 vegetationslose Fläche .....
VEG05_F	Sumpf, Nasser Boden	4111 Nasser Boden 4106 Sumpf, Ried
GEW01_F	Gewässer	5101 Strom, Fluss, Bach 5102 Kanal (Schifffahrt) .....
GEW02_F	Einrichtungen und Bauwerke an Gewässern	5302 Talsperre, Wehr 5303 Schleuse .....
GEW03_F	Besondere Objekte in Gewässern, sowie Watt, Priele, Hafenbecken und Schleusenammern	3402 Hafenbecken 5104 Priel .....

#### 4.1.2 Digitales Landbedeckungsmodell DLM-DE2009

Die Ausgangsdatenbasis für das „Backdating“ zurück auf das Jahr 2006 bildete der Datensatz des Digitalen Landbedeckungsmodells für Deutschland zum Jahre 2009, das „DLM-DE2009“, das ebenfalls das BKG zum Projektbeginn zur Verfügung stellte. Es „beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat unter dem Aspekt der Landbedeckung und Landnutzung (LB/LN)“ (BKG, 2012). Zugrunde liegt die Nomenklatur des pan-europäischen Datensatzes CORINE Land Cover. Basis des Datensatzes ist wiederum das ATKIS Basis DLM in der Form des flachen Layers (ohne Überlagerungsflächen), das „BDLM\_flach“, dessen Beiträge aus den einzelnen Bundesländern zum April 2009 eingefroren waren. Im Gegensatz zu dem bereits beschriebenen Datensatz BDLM\_flach zum Jahr 2006 wurde diese Eingangsdatenbasis aber in der Folge mittels diverser Satellitendaten unter Federführung des BKG aktualisiert.

Die Satellitendatenbasis zur Aktualisierung bildeten Satellitendaten der Systeme RapidEye und DMC (Disaster Monitoring Constellation). Für die DMC-Daten (Bodenaufklärung 32 m) waren zwei getrennte Aufnahmezeiten vorgesehen, für RapidEye (Bodenaufklärung 5 m) ein drittes Fenster, alle innerhalb der Vegetationsperiode von Frühjahr bis Herbst. Wegen ungünstiger Witterungsverhältnisse konnten allerdings in 2009 nicht alle Flächen in Deutschland abgedeckt werden. Für einen Flächenanteil von 9% des Bundesgebietes musste ins Folgejahr 2010 ausgewichen werden (BKG, 2012).

#### 4.1.3 CORINE Land Cover 2006 (25 ha MKF)

Ein weiterer mitverwendeter Vektor-Datensatz beim „Backdating“ war die auf herkömmliche Art mittels GIS-gestützter visueller Interpretation erstellte Datenbasis von CORINE Land Cover 2006 (CLC2006) für Deutschland (Keil et al., 2010a). Die Mindestkartierfläche bei diesem Datensatz entsprach dem auf europäischer Ebene verwendeten Wert von 25 ha. CLC2006 wurde vor allem als zusätzlicher Hilfsdatensatz verwendet, um als grobere Vergleichskartierung beim „Look and Feel“ Eindruck der Backdating-Produkte zu dienen.

#### 4.1.4 Satellitendaten Image2006 Frühjahr & Sommer (IRS-P6 LISS-III / SPOT)

Die Satellitenbildgrundlage für das Backdating auf das Jahr 2006 besteht zunächst aus den Daten von IMAGE2006, wie sie bei der herkömmlichen Erzeugung von CLC2006 mit der Mindestkartierfläche von 25 ha bzw. bei Änderungen von 5 ha benutzt wurden. Die Datenbasis IMAGE2006 besteht dabei aus einer Sommerüberdeckung und zusätzlich aus einer Frühjahrsüberdeckung, um eine bessere Interpretationsgrundlage insbesondere bei der Differenzierung von Ackerland und Grünland in der Landwirtschaft zu haben.

Der Aufbau der Datenbasis IMAGE2006 erfolgte für alle beteiligten Mitgliedsländer zentral durch die ESA, finanziell abgedeckt durch EU-Mittel. Wegen der Ausfallprobleme von Landsat-7 ETM+ und der nur eingeschränkten Nutzbarkeit der Landsat-7 Daten wurden zur Abdeckung für den Referenzzeitraum 2005 bis 2007 die Daten des indischen Satelliten IRS-P6 LISS-III sowie von SPOT-4 HRVIR und SPOT-5 HRG genutzt. Sie wurden im Auftrag der ESA zentral am DLR-Institut „Methoden der Fernerkundung“ (IMF), dem Schwesterinstitut des DFD im „Earth Observation Center“ (EOC), orthorektifiziert (Müller et al., 2007) und den beteiligten Staaten in einer räumlichen Auflösung von 20 m multispektral in der jeweils gewünschten nationalen Projektion ausgeliefert. In Deutschland wurde dabei die Gauß-Krüger-Projektion verwendet.

Da die Streifenbreite von IRS-P6 LISS-III 140 km beträgt (im Vergleich von ca. 180 km bei Landsat), bei den SPOT-Sensoren sogar nur 60 km, ist die Datenbasis von IMAGE 2006 wesentlich inhomogener als zum Beispiel die Datenbasis von IMAGE 2000 für die Ableitung von CLC2000 (beruhend auf Landsat-7 ETM+ und Landsat-5 TM Daten).

#### 4.1.5 Satellitendaten Landsat-5 Sommer

Um für eine möglichst weitgehende automatische Prozessierung auf eine homogenere Datengrundlage aufbauen zu können, wurde neben der Datenbasis IMAGE2006 aus IRS-P6 LISS-III und SPOT-Daten eine weitere Datenbasis aufgebaut, die aus Daten von Landsat-5 TM besteht. Die NASA und der US Geological Survey reagierten nach dem Teilausfall von Landsat-7 (Ausfall des „Scan Line Correctors (SLC) im Mai 2003; NASA, 2011) mit einer verstärkten Aufzeichnung und Prozessierung der Landsat-5 Thematic Mapper Daten. Allerdings finden sich im Archiv des US Geological Survey fast nur Daten aus 2006 für die Sommermonate. Die Landsat-Daten sind bei USGS frei verfügbar und können in einer bereits in guter Qualität orthorektifizierten Form aus dem Landsat-Archiv von USGS heruntergeladen werden. Für die Datenrecherche empfiehlt sich die Nutzung von GLOVIS, dem „Globalen Visualisierungssystem“ von USGS (USGS, 2014). Die Landsat-Daten sind in einer Pixel-Auflösung von 30 m mal 30 m verfügbar und liegen im UTM-System der jeweilig gültigen USGS-Zone vor, in Deutschland der UTM-Zone 32.

Neben der Landsat Datenbasis zum Status 2006 wurde auch eine Landsat Datenbasis zum Jahr 2009 aufgebaut, die aber nicht direkt in die Prozessierung einging, sondern in speziellen Situationen für Vergleichszwecke mit dem DLM-DE2009 und den anderen Satellitendaten genutzt wurde. Eine Tabelle mit den Spezifikationen der verwendeten Satellitendaten ist der Tabelle 4 zu entnehmen.

#### 4.1.6 Satellitendaten IRS-P6 AWiFS 2005 / 2006 multisaisonal

Bei der Ermittlung der Änderungsflächen zwischen 2006 und 2009 spielen Veränderungen innerhalb der landwirtschaftlichen Flächen eine größere Rolle, was insbesondere die Abgrenzung von Ackerland und Grünland zum Referenzjahr 2006 notwendig macht. Für diese Abgrenzung empfiehlt sich laut diverser Vorarbeiten (Metz, 2009; Keil et al, 2010) die Nutzung multi-saisonalen Satellitendaten. Informationen zur Phänologie bzw. der Vegetationsdynamik erleichtern es, die zeitweise durch hohe Bodenanteile charakterisierten Ackerflächen vom Grünland (mit geringerer Dynamik hinsichtlich der Bedeckung mit grüner Vegetation) zu trennen (siehe z. B. Keil et al, 2010c; Esch et al, 2014 a; Esch et al, 2014 b).

Tabelle 4: Spezifikationen der verwendeten Satellitensysteme (nach Beule et al., 2004, modifiziert)

Satellit	Sensor	Kanäle	Räuml. Auflösung (m)	Streifenbreite (km)	Wiederholungsrate (Tage)	Startdatum
Landsat-5	TM (Thematic Mapper)	VIS-B	30	185	16	03-1984
		VIS-G	30			
		VIS-R	30			
		NIR	30			
		SWIR	30			
		TIR	120			
		SWIR	30			
SPOT 4	HRVIR (High Resolution Visible and Infrared)	PAN	10	60	26 (1-4)	03-1998
		VIS-G	20			
		VIS-R	20			
		NIR	20			
		SWIR	20			
SPOT 5	HRG (High Resolution Geometric)	PAN (x2)	5 (2.5)	60	35 (1-4)	05-2002
		VIS-G	10			
		VIS-R	10			
		NIR	10			
		SWIR	20			
IRS-P6 (Resource-Sat 1)	LISS-III (Linear Imaging Self-Scanning System)	VIS-G	23.5	140	24	10-2003
		VIS-R	23.5			
		NIR	23.5			
		SWIR	70.5			
	AWiFS (Advanced Wide Field Sensor)	VIS-G	58	740	24	
		VIS-R	58			
		NIR	58			
		SWIR	58			

Dabei hat sich als ein geeigneter Kompromiss zwischen hoher zeitlicher Verfügbarkeit und noch ausreichender geometrischer Auflösung (von ca. 60 m mal 60 m) das indische System von IRS-P6 AWiFS herausgestellt. IRS-P6 (bzw. ResourceSat 1) trägt neben dem LISS-III Sensor, der Streifen mit einer Breite von 140 km bei seinen multispektralen Aufnahmen abdeckt, den AWiFS Sensor, der rechts und links von der Nadir-Linie jeweils ca. 360 km breite Streifen, also Streifen mit zusammen mehr als 700 km Breite, abdeckt. Wegen der starken Überlappungen bei den Aufnahmen sind die Chancen, wolkenfreie Bildbereiche zu verschiedenen Vegetationszeitpunkten (etwa 3 bis 6 Aufnahmen pro Jahr) zu erhalten, stark erhöht. Mit drei bis fünf Aufnahmezeitpunkten über die Vegetationsperiode kann die Verwendung der „phänologischen Signatur“,

abhängig von der Lage dieser Zeitpunkte, die Ackerland-Grünlandtrennung sehr unterstützen, wie es auch im EUROLAND Grasland-Subprojekt von Geoland2 gezeigt werden konnte (siehe auch Brodsky et al, 2012) und was auch für die Erstellung des pan-europäischen „High Resolution Grasland-Layer“ 2012 ausgenutzt wird (Zillmann et al., 2014).

Aufgrund von Voranalysen von sogenannten „Quicklooks“ (verkleinerten Satellitenbildszenen) der in Frage kommenden AWiFS Aufnahmen stellte es sich heraus, dass nicht für alle Regionen in Deutschland in 2006 allein geeignete auswertbare multi-saisonale Szenen (etwa zwei im Frühjahr, eine im Hochsommer, eine im Spätsommer) verfügbar waren. Daher wurden für die multi-saisonalen AWiFS Aufnahmen Szenen von zwei Jahren, 2005 und 2006, beschafft. Bei wolkenbedingten fehlenden Frühjahrsszenen in dem einen Jahr konnten Informationen zum Frühjahraspekt in dem anderen Jahr zu Hilfe genommen werden.

Da leider das Kontingent der ESA hinsichtlich eines Bezugs der AWiFS Datenbasis aus dem Copernicus (GMES) „Data Access Portfolio“ erschöpft war, wurden die für eine multi-saisonale Überdeckung von Deutschland in den Jahren 2005 und 2006 notwendigen 43 AWiFS Szenen aus Projektmitteln des vorliegenden Projekts beschafft.

#### 4.1.7 Soil Sealing Layer 2006 mit und ohne Abbaugelände / Baustellen

Ein weiterer vom UBA zur Verfügung gestellter Informationslayer, der in mehreren Varianten vorliegt, ist das Produkt „Soil Sealing“ zum Referenzjahr 2006 für Deutschland. Der Layer wurde mit Satellitendaten der IMAGE2006 Datenbasis (IRS-P6 LISS-III sowie SPOT Daten) erzeugt und charakterisiert die bebauten Flächen in den Mitgliedstaaten der Europäischen Umweltagentur mit ihrem Grad der Versiegelung zwischen 1% und 100%. Die ursprüngliche Pixelauflösung beträgt 20 m mal 20 m, daneben liegt ein gemittelter Versiegelungsgrad auf einem Gitter von 100 m mal 100 m vor.

Die erste Version des Soil Sealing Layer wurde im Rahmen des „GSE Fast Track Service“ erzeugt und ist über das Datenportal der EEA unter „EEA Fast Track Service Precursor on Land Monitoring – Degree of soil sealing“ (EEA, 2009; EEA, 2010) zu finden. Diese erste Version umfasst neben bebauten Flächen auch Abbaugelände und noch offene Baustellen, die ein ähnliches spektrales Verhalten wie bebauten Flächen aufweisen.

Neben dieser ersten Version des Soil Sealing Layer 2006 liegt am DFD eine weitere, revidierte Version vor. Dieses Produkt, bei der EEA als „Revised Soil Sealing 2006, degrees of sealing 20m and 100m“ bezeichnet, wurde im FP7-Projekt Geoland2 komplett überarbeitet, zusammen mit der Ableitung eines aktualisierten Versiegelungsgrads zum Jahr 2009, „Imperviousness 2009, degrees of imperviousness 20m and 100m“ (EEA, 2010; Gangkofner et al., 2010). Die mit dem Input der einzelnen Mitgliedsstaaten erzeugte überarbeitete Version enthält nicht mehr die Flächen von Abbaugeländen von Kies, Sand oder auch Braunkohle, da diese Flächen in Bezug auf das Abflussverhalten von Niederschlägen (zumindest in den meisten Fällen) nicht die Eigenschaften versiegelter Flächen aufweisen. In Bezug auf das thermische Verhalten ähneln sich die Eigenschaften eher.

Durch die zwei unterschiedlichen Spezifikationen der beiden Produktversionen ergeben sich Möglichkeiten, Informationen zur Verteilung von Abbaugeländen und größerer Baustellen zu extrahieren.

#### 4.1.8 Weitere regional vorhandene Daten

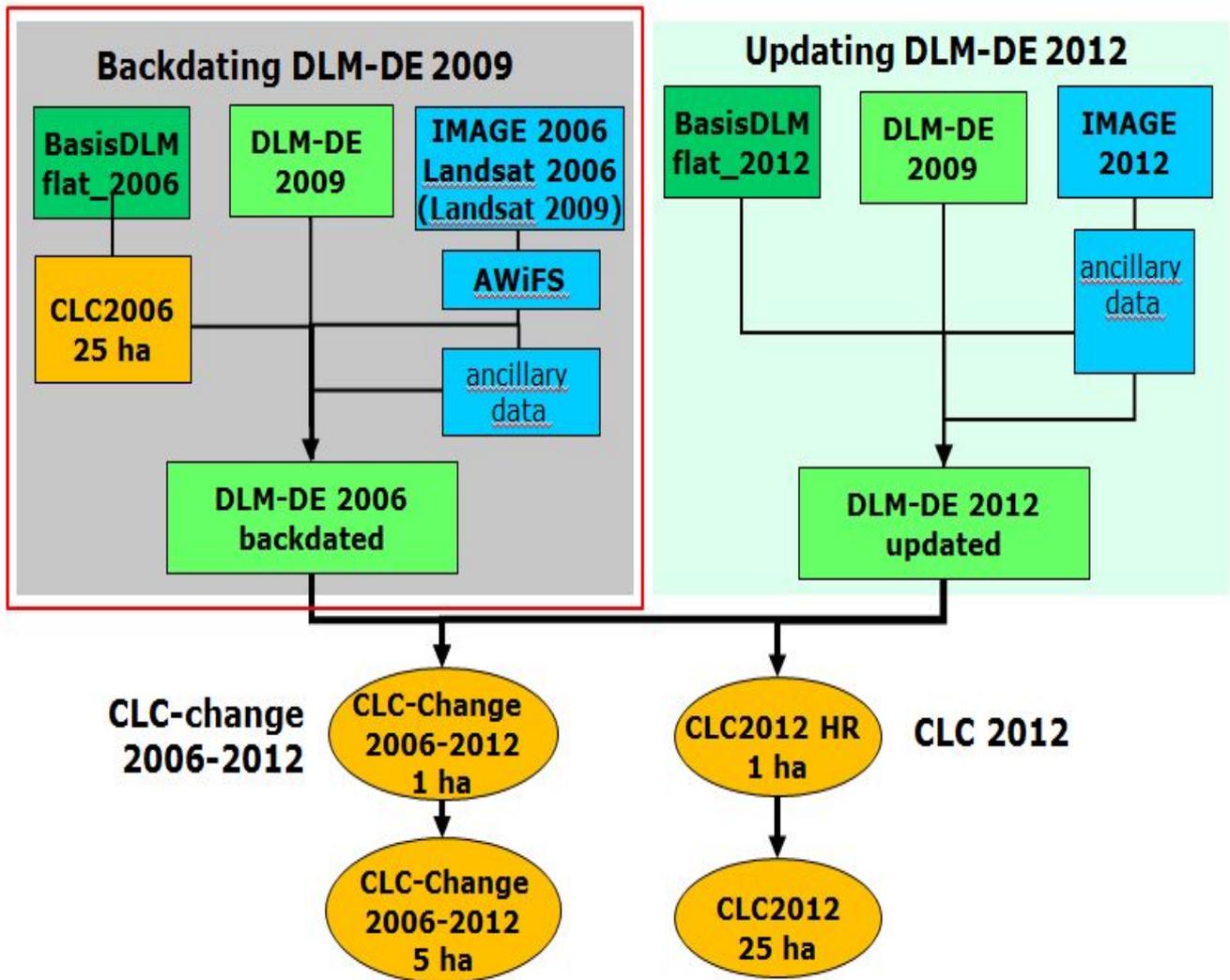
Als Teil der Geodienste-Entwicklungen der „GMES Service Elements“ war das Projekt „GSE Forest Monitoring“ unter der Federführung der GAF AG in München eingebunden, mit Dienstentwicklungen für den Bereich der Forstwirtschaft, aber auch unter Gesichtspunkten der Ökologie (GSE Forest Monitoring, 2010). Im Zusammenhang mit der Ableitung der Landbedeckung in Deutschland liegt eine Kartierung der Waldbedeckung nach den Kategorien Laubwald, Nadelwald und Mischwald, basierend auf Satellitendaten zum Stand von (im wesentlichen) 2005, für die neuen Bundesländer, für Schleswig-Holstein und für Teile von Baden-Württemberg vor. Die Daten wurden für das Projekt über Vermittlung des UBA von der Firma GAF A.G. zur Verfügung gestellt.

Die Daten zur Waldbedeckung aus dem GSE Forest Monitoring Projekt fanden im Wesentlichen Eingang in das „Backdating“ Projekt als zusätzliche Hilfsdaten, nach einigen methodischen Untersuchungen zur direkten Integration der Daten.

Eine Zusammenfassung der Datenströme und Verarbeitungsschritte (als Teil des Gesamtprojektes CLC2012) ist in Abbildung 8 dargestellt. Sichtbar werden die zwei Aufgaben: Die Aufgabe des Updating zur Beschreibung des CLC-Status im Jahr 2012, sowie des Backdating als Teilaufgabe zur Ableitung der Änderungen

„CLC-Change“ zwischen 2006 und 2012. Das Updating (rechter Datenstrom) wird wie eingangs erläutert durch das BKG durchgeführt.

Abbildung 8: Die zwei Teilaufgaben des Updating und Backdating bei der Erzeugung von CLC2012 und CLC-change (2006 – 2012) und die zugehörigen Datenströme. Die Teilaufgabe des Backdating (rote Umrandung) oblag dem DLR-DFD, die anderen Teilaufgaben des Updating und der Generalisierung liegen in der Verantwortung des BKG. Quelle: BKG Präsentation auf dem Kickoff Meeting „CLC Backdating“ am 27.9.2012, verändert.



## 4.2 Datenlage

### 4.2.1 Datenlage bei den LISS-III und Landsat-5 TM Datensätzen

Bezüglich der LISS-III Daten innerhalb der IMAGE2006 Datenbasis war natürlich für das europaweite CLC2006-Projekt angestrebt worden, die Frühjahrs- und die Sommerüberdeckung möglichst weitgehend im Referenzjahr 2006 zu erreichen, zusammen mit Aufnahmen von SPOT-4 und SPOT-5. Für Deutschland zeigte es sich aber, dass für eine möglichst wolkenfreie Überdeckung Szenen von den Jahren 2005, 2006 und 2007 notwendig waren. Wegen der größeren Streifenbreiten von 120 km gegenüber 60 km bei SPOT wurde im vorliegenden Projekt den LISS-Daten der Vorzug gegeben.

Für die Frühjahrsüberdeckung wurden 15 Szenen aus 2005, 8 Szenen aus 2006 und 23 Szenen aus 2007 verwendet, für die Sommerüberdeckung 15 Szenen aus 2005 und 29 Szenen aus 2006. Zusätzlich war für die Schließung von wolkenbedingten Datenlücken die Nutzung von Ausschnitten von 17 Spotszenen im Frühjahr und 14 Spotszenen im Sommer sowie 7 Landsat-Subszenen im Sommer notwendig. Soweit vorhanden, wurde bei der Nutzung der Daten für die Mosaikgenerierung im Frühjahrs- und Sommeraspekt möglichst die Szene, die dem 1. Juli 2006 am nächsten lag, benutzt. Wolken- und dunstbedingt konnte es aber vorkommen, dass benachbarte Szenen bis zu 2 Jahren auseinander lagen, was in der Umgebung von Abbauflächen wegen deren Dynamik Konsistenzprobleme mit sich bringen konnte.

Die Datenbasis von Landsat-5 Thematic Mapper wurde in Ergänzung zu den Sommerdaten von LISS-III aufgebaut, um insbesondere bei den Waldflächen größere homogene Bereiche (beruhend auf der Streifenbreite von 180 km) für die Unterteilung von Waldklassen zur Verfügung zu haben. Insgesamt wurden 90 bereits ortho-rektifizierte Landsat-Szenen aus dem Archiv des US Geological Survey heruntergeladen und zu mehrkanaligen Bildprodukten zusammengesetzt. In die Bildmosaik zur Sommerabdeckung von Deutschland gingen etwa 40 verschiedene Landsat-Szenen ein.

Eine Abschätzung der wolken-, wolkenschatten- und dunstbedingten Datenlücken in den verwendeten Mosaiken ergab für die Gesamtfläche Deutschlands folgende prozentualen Anteile bei den drei hochaufgelösten Satellitendatenüberdeckungen:

- Frühjahrsdaten von IMAGE2006 (primär LISS-III): ca. 0,66 % Datenlücken
- Sommerdaten von IMAGE2006 (primär LISS-III): ca. 0,83 % Datenlücken
- Sommerdaten von Landsat-5 TM: ca. 0,38 % Datenlücken

Im Frühjahr sorgten daneben auch Schneebedeckungen für Datenlücken, die ebenfalls in den Schätzwerten enthalten sind.

#### 4.2.2 Datenlage bei den multi-saisonalen AWiFS Daten

Hinsichtlich der multi-saisonalen Datenbasis von IRS AWiFS zum Referenzjahr 2006 war ursprünglich eine Abdeckung durch 4 bis 5 Perioden vom Beginn bis zum Ende des Vegetationszeitraums für das Jahr 2006 geplant. Es zeigte sich aber, dass für das Frühjahr 2006, insbesondere für den wichtigen frühen Vegetationszeitraum März/April sowie teilweise auch für den Mai, in vielen Bereichen Deutschlands kaum wolkenfreie Gebiete erfasst waren. Dafür waren in weiten Teilen Deutschlands wolkenfreie Abdeckungen sowohl für Mitte Juli als auch Anfang / Mitte September vorhanden. Ein Schwenk auf das Jahr 2005 hätte zwar eine hervorragende Abdeckung für den Zeitraum Anfang April, zum Großteil auch für Ende Mai, und dann auch eine fast wolkenfreie Abdeckung für den frühen bis mittleren September gebracht. Jedoch zeigte der Hochsommer (Mitte bis Ende Juli), der laut den Vorstudien bei Metz (2009) und Keil et al. (2010c) als ein Unterscheidungstermin für Ackerland / Grünland wichtig ist, für 2005 wetterbedingt quasi einen „Totalausfall“.

Daher wurde hinsichtlich der Datenabdeckung eine Kombination von geeigneten Zeiträumen in 2005 und 2006 angestrebt, unter der Prämisse, dass robuste, auch über 2 Jahre erfasste Maße der Vegetationsdynamik (und der temporalen Statistik) zum Einsatz kommen sollten.

Die letztendlich bestellten 43 AWiFS Szenen für 2005 (3 Perioden) und 2006 (4 Perioden) sind in der Abbildung 9 und der Abbildung 10 dargestellt.

Abbildung 9: Die ausgewählten Szenen IRS-P6 AWiFS für das Jahr 2005. Quelle: Euromap / GAF AG (Darstellung erzeugt 2012 bei Euromap GmbH).

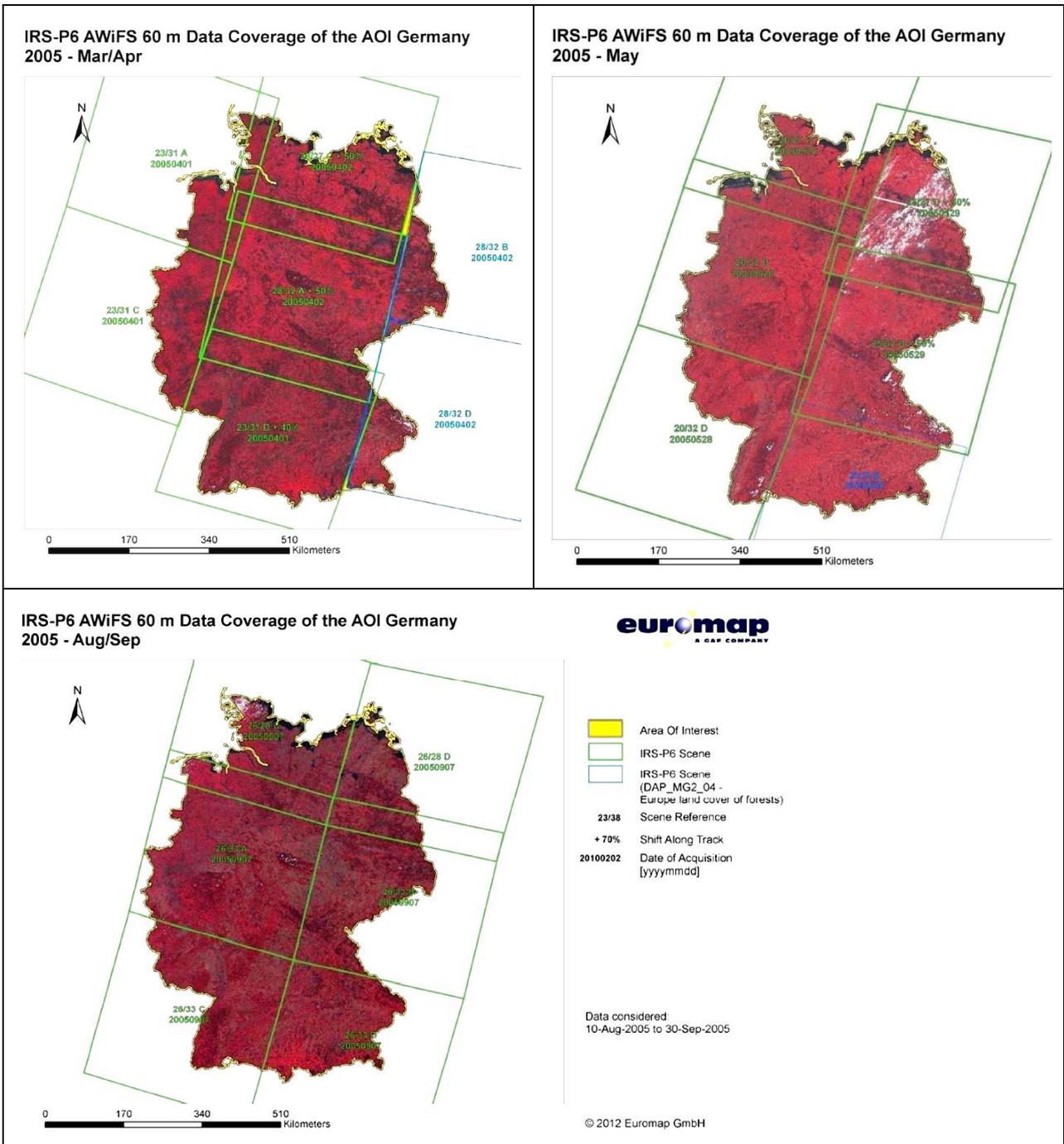
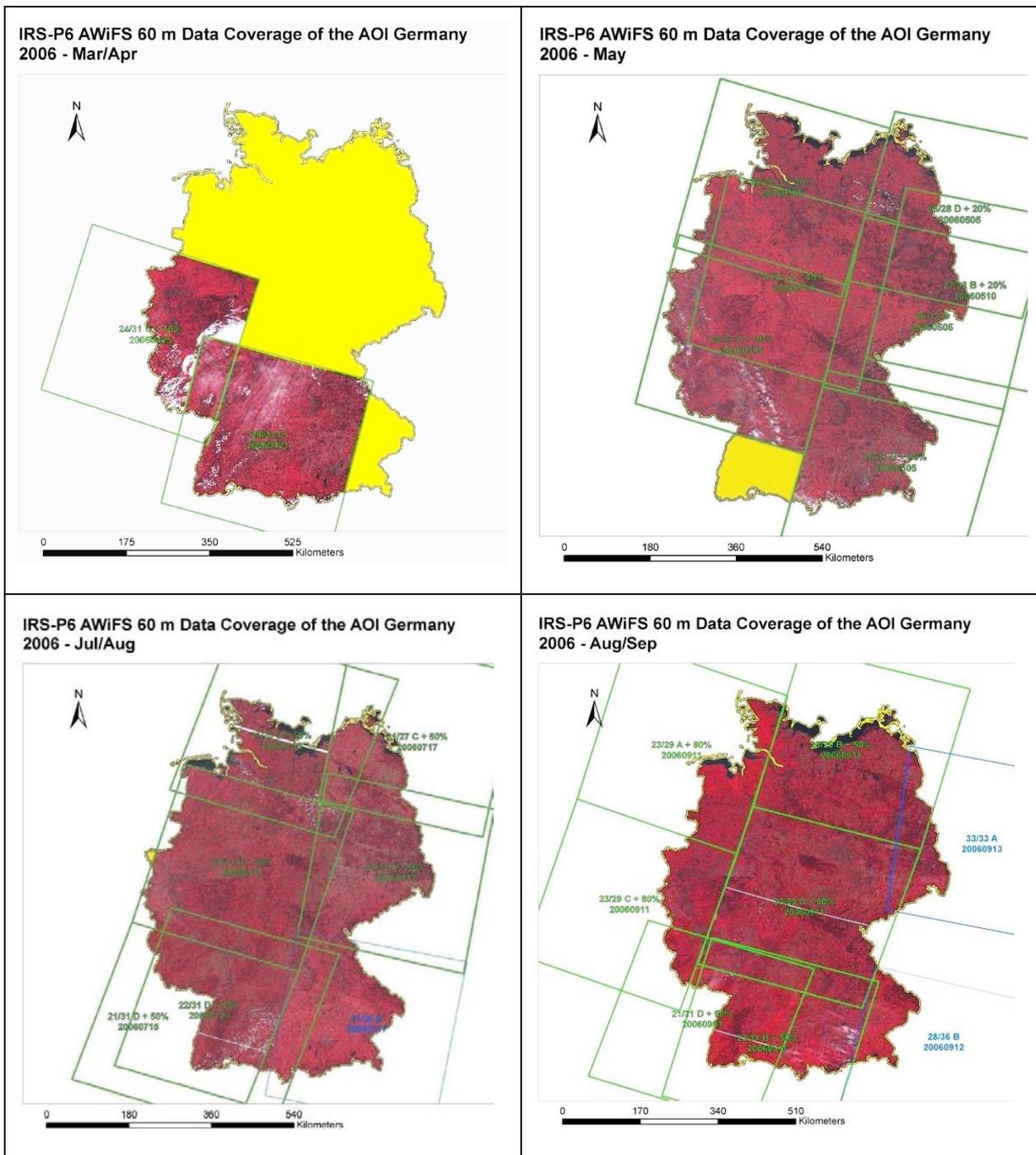


Abbildung 10: Die ausgewählten Szenen IRS-P6 AWiFS für das Jahr 2006. Quelle: Euromap / GAF AG (Darstellung erzeugt 2012 bei Euromap GmbH).



Dem Antrag (mit Unterstützung der EEA) bei der ESA, die IRS-P6 AWiFS Datenbasis im Copernicus (GMES) „Data Access Portfolio“ mit unterzubringen, konnte leider nicht positiv entsprochen werden. Die Datenbeschaffung wurde daher in das UBA-Projekt mit eingebunden.

Sechs der ausgewählten Szenen lagen bereits am DFD aus dem einem der „DAP-Kontingente“ aus dem Geoland2 Projekt vor (dem DAP\_MG2\_04, für den Task „European Land Cover of Forests“, genutzt in Geoland2 auch für Untersuchungen zur Erstellung eines HR Layers „Grassland“, in der Abbildung 9 und der Abbildung 10 in blau markierte Polygone). Daher wurden zunächst die 36 Szenen laut der Tabelle 5 bei der Firma EUROMAP bestellt.

Tabelle 5: Übersicht über die in der ersten Marge bestellten AWiFS Szenen.

Zeitfenster	Mission	Sensor	Pfad	Reihe	Subszene	Shift	Datum
2006 August / September	IRS-P6	AWiFS	21	31	D	50	20060901
			23	29	C	70	20060911
			23	29	B	50	20060911
			23	29	D	50	20060911
			23	34	B	50	20060911
2006 July / August	IRS-P6	AWiFS	21	26	D	50	20060715
			21	31	B	50	20060715
			21	31	D	50	20060715
			22	31	D	40	20060720
			31	27	C	50	20060717
			31	32	A	50	20060717
2006 May	IRS-P6	AWiFS	26	28	D	20	20050505
			26	33	B	0	20050505
			26	33	B	90	20050505
			27	32	B	20	20050505
			26	28	C	30	20050510
			26	33	A	40	20050505
			27	32	A	40	20050505
2006 March / April	IRS-P6	AWiFS	24	31	C	10	20060425
			28	33	C	0	20060421
2005 August / September	IRS-P6	AWiFS	26	28	C	0	20050907
			26	28	D	0	20050907
			26	33	A	0	20050907
			26	33	B	0	20050907
			26	33	C	0	20050907
			26	33	D	0	20050907

2005 May	IRS-P6	AWiFS	20	27	D	0	20050528
			20	32	B	0	20050528
			20	32	D	0	20050528
			25	27	D	50	20050529
			25	32	B	50	20050529
2005 March / April	IRS-P6	AWiFS	23	31	A	0	20050401
			23	31	C	0	20050401
			23	31	D	40	20050401
			28	27	C	50	20050402
			28	32	A	50	20050402

Im Verlauf des Projektes wurde aber klar, dass die Vorverarbeitungsschritte der Szenen aus dem DAP\_MG2\_04, insbesondere hinsichtlich der geometrischen Verarbeitung, Unterschiede gegenüber den anderen Daten aufwiesen, die eine Nachbearbeitung und einen beträchtlichen größeren Mehraufwand bei der kombinierten Auswertung zusammen mit anderen Datenebenen bedeutet hätte. Auch passten die teilweise mit einem Shift gegenüber den Standard-Quaterszenen vorliegenden Daten nicht mehr optimal zusammen. Daher wurden (nach Rücksprache mit dem UBA) zur Schaffung einer homogenen Datengrundlage diese Daten nochmals in der Form der Erstbestellung in Auftrag gegeben. Eine siebte Szene, die ursprünglich über frei verfügbare Landsat-Daten eines ähnlichen Datums ersetzt werden sollte, wurde aus Homogenitätsgründen ebenfalls mit aufgenommen.

Die ergänzende Datenbeschaffung ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tabelle 6: Übersicht über die in der zweiten Marge bestellten AWiFS Szenen.

Zeitfenster	Mission	Sensor	Pfad	Reihe	Subszene	Shift	Datum
2006 August / September	IRS-P6	AWiFS	23	29	A	80	20060911
			28	32	B	10	20060912
			28	32	D	10	20060912
2006 July	IRS-P6	AWiFS	31	32	C	50	20060717
2005 May	IRS-P6	AWiFS	25	32	D	30	20050529
2005 March / April	IRS-P6	AWiFS	28	32	B	10	20050402
			28	32	D	10	20050402

## 5 Methodische Vorgehensweise

### 5.1 Verwendete Software-Tools

- Bei der Datenprozessierung und der GIS-gestützten interaktiven Datenbearbeitung für das „Backdating“ wurden fünf verschiedene Systeme verwendet:
- **CATENA:** Das Prozessierungssystem CATENA für verschiedene Schritte der Vorverarbeitung von Satellitendaten wurde am Nachbarinstitut des DFD, dem Institut für Methoden der Fernerkundung (IMF), aufgebaut und wird dort betrieben. Das System wurde insbesondere für Orthorektifizierungen von Satellitendaten, vor allem der AWiFS Daten, eingesetzt.
- **ERDAS Imagine:** Für diverse Schrittfolgen der digitalen Bildverarbeitung wurde ERDAS Imagine in der Version 2011 verwendet. So wurden mittels ERDAS Imagine die Satellitenbildmosaike für Makroregionen erstellt, aber auch unter Nutzung des ERDAS Modellers Ableitungen von thematischen Informationslayern gebildet.
- **ArcGIS 10:** Die GIS-Software ESRI ArcGIS 10.0 bzw. 10.1 wurde für die GIS-bezogenen Arbeiten und für die manuellen Nachbearbeitungen der abgeleiteten Veränderungen gegenüber 2009 eingesetzt. Zum Zuge kamen dabei auch im Rahmen des Projekts entwickelte GIS-Modelle sowie Skripte, die in der Programmiersprache Python abgefasst wurden.
- **eCognition:** Für die Ableitung neuer Objektbegrenzungen aus den Fernerkundungsdaten mittels Segmentierung wurde die Bildverarbeitungssoftware „eCognition“ in der Version des eCognition Developer Version 64 eingesetzt. Es läßt eine gemeinsame Segmenterstellung mit paralleler Klassifizierung auf Objektebene zu. Dabei sind auch semantische Verknüpfungen von unterschiedlich feinen Segmentierungen möglich (Esch et al, 2008). Ein wichtiger Aspekt, der bei dem eCognition Developer genutzt wurde, ist die Vorgabe von einem „Segmentgerüst“, im Projekt die der Vektorgeometrie des ATKIS Basis-DLM (flacher Layer), welches dann anhand der benutzten Fernerkundungsprodukte verfeinert werden kann. Die abgeleiteten Segmente können wahlweise auch im ESRI Shape Vektorformat exportiert werden.
- **IDL:** Die „Interactive Description Language“ IDL (in der Version 7.1 bzw. 8.1) wurde verwendet zur Berechnung der zonalen Statistiken, unter Überlagerung der abgeleiteten thematischen Layer und der in Rasterdatensätze umgewandelten Polygonlayer.

### 5.2 Ansatz der Ermittlung hauptsächlichlicher Änderungsprozesse

Für die Ableitung des Backdating-Datensatzes zurück auf das Jahr 2006, ausgehend von dem DLM-DE 2009, sollten die wichtigsten Änderungsklassen bzw. die hauptsächlichlichen Änderungsprozesse in der Nomenklatur von CORINE Land Cover betrachtet werden. Für die Einstufung der Relevanz der Änderungsklassen eignet sich eine abgeleitete Statistik aus dem CLC2006\_Change Datensatz, der die Flächensummen der häufigsten Veränderungen enthält, die Änderungsklassen nach diesen Flächensummen sortiert und über die Bedeutung der Änderungen innerhalb der Gesamtverteilung Auskunft gibt.

In der Tabelle 7 sind die hauptsächlichlichen 46 Veränderungsprozesse in Deutschland zwischen 2000 und 2006 aufgeführt (Keil et al., 2010a), mit Flächensummen in ha sowie den prozentualen Anteilen an der Gesamtfläche der Änderungen.

Tabelle 7: Die dominierenden 46 Veränderungsklassen gemäß den „CLC\_Changes“ zwischen 2000 und 2006 in Deutschland (Quelle: Keil et al 2010a; zur Bedeutung der CLC-Klassen siehe die Abbildung 1).

**Legende:**

Intensivierung in der Landwirtschaft
Extensivierung in der Landwirtschaft
Aufforstung
Flächen mit Waldverlust
Urbanisierung/ Zunahme der Versiegelung
Neue Abbaufläche
Rekultivierung von Abbauflächen
Neue Wasserfläche
Sonstige Änderung

Rang Nr.	Übergang	Deutschland		
		Fläche [km²]	Anteil	Kumuliert
1	312 → 324	265,30	11,77%	11,77%
2	231 → 211	192,87	8,56%	20,33%
3	211 → 112	178,61	7,92%	28,25%
4	324 → 313	157,95	7,01%	35,26%
5	324 → 312	117,93	5,23%	40,49%
6	211 → 131	86,09	3,82%	44,31%
7	133 → 112	77,81	3,45%	47,76%
8	211 → 121	77,21	3,43%	51,18%
9	324 → 311	54,00	2,40%	53,58%
10	333 → 512	51,03	2,26%	55,84%
11	211 → 133	48,11	2,13%	57,98%
12	131 → 324	46,79	2,08%	60,05%
13	131 → 512	42,37	1,88%	61,93%
14	133 → 121	41,72	1,85%	63,78%
15	333 → 324	39,54	1,75%	65,54%
16	242 → 112	37,29	1,65%	67,19%
17	231 → 242	36,98	1,64%	68,83%
18	231 → 112	36,16	1,60%	70,44%
19	211 → 231	35,02	1,55%	71,99%
20	211 → 142	26,22	1,16%	73,15%
21	312 → 131	24,52	1,09%	74,24%
22	313 → 324	24,29	1,08%	75,32%
23	131 → 211	23,43	1,04%	76,36%
24	333 → 231	23,12	1,03%	77,38%
25	131 → 333	22,06	0,98%	78,36%
26	211 → 512	21,45	0,95%	79,31%
27	324 → 131	20,29	0,90%	80,21%
28	331 → 423	19,98	0,89%	81,10%
29	131 → 231	18,47	0,82%	81,92%
30	321 → 324	17,60	0,78%	82,70%
31	333 → 321	16,87	0,75%	83,45%
32	222 → 211	13,97	0,62%	84,07%
33	231 → 121	12,86	0,57%	84,64%
34	133 → 122	11,62	0,52%	85,16%
35	231 → 411	11,47	0,51%	85,66%
36	242 → 211	11,00	0,49%	86,15%
37	242 → 121	9,43	0,42%	86,57%
38	231 → 131	9,12	0,40%	86,98%
39	231 → 512	9,02	0,40%	87,38%
40	231 → 324	8,66	0,38%	87,76%
41	133 → 211	8,07	0,36%	88,12%
42	133 → 231	7,60	0,34%	88,46%
43	231 → 133	7,40	0,33%	88,78%
44	211 → 122	7,32	0,32%	89,11%
45	311 → 324	7,31	0,32%	89,43%
46	242 → 231	7,19	0,32%	89,75%

In der rechten Spalte ist auch der Prozentsatz der Kumulierung angegeben, die linke Spalte enthält den Rang hinsichtlich der Flächenanteile. Bei der Hinzuziehung von 46 „Änderungsklassen“ wurden 90% der CLC-Änderungen zwischen 2000 und 2006 abgedeckt. Bei einer Berücksichtigung von 27 Klassen würden bereits ca. 80% der CLC-Änderungen abgedeckt. In Absprache mit dem UBA wurde zu Projektbeginn entschieden, das „Backdating“ möglichst kosteneffizient durchzuführen, d.h. keine unnötige Mittel für Änderungsprozesse, die in der Summe kaum ins Gewicht fallen, zu verwenden.

Den Veränderungsklassen sind farblich 9 Änderungsprozessen zugeordnet. Bei der Betrachtung der ersten fünf Veränderungsklassen hängen 3 Klassen mit Änderungsprozessen auf den Waldflächen zusammen: Mit dem größten Anteil an der gesamten Veränderungsfläche liegt die Änderungsklasse mit dem Übergang 312 -> 324 an erster Stelle (Nadelwald wird zur Kategorie der Wald-Strauch-Übergangsstadien; zu den CLC-Klassen vergleiche Abbildung 1), eine Änderungsklasse, die mit den großflächigen Sturmwüfren zwischen 2000 und 2006 in Deutschland zusammenhängt. Auf Platz 2 rangiert die Änderungsklasse 231 -> 211, d.h. die Transformation von Ackerland zu Grünland in der Landwirtschaft. Es folgt die Übergangsklasse 211 -> 112, d.h. die Transformation von Ackerland zu nicht geschlossener Bebauung. Auf Rang 6 steht der Änderungsprozess 211-> 131, d. h. die Schaffung neuer Abbaufächen auf früherem Ackerland. Diese 6 Veränderungsklassen deckten im CLC2006\_Change Datensatz bereits gut 44% der Änderungsflächen ab. Dies weist darauf hin, dass ein „prozessorientiertes Vorgehen“, ausgehend von den hauptsächlichen Änderungsprozessen, im Hinblick auf ein möglichst weit gehendes automatisches Verfahren Sinn macht.

Eine umgestellte Reihenfolge dieser hauptsächlichen 46 Veränderungsklassen weist auf die Zielrichtung des verwendeten Verfahrens hin. Bei Gruppierung der beteiligten Übergangsklassen nach dem Status im Jahr 2006 lässt sich ablesen, welche für den Status in 2006 die beteiligten CLC-Klassen in 2009 sind, und in welcher Höhe diese Veränderungsklassen und Gruppen zu der Fläche aller Änderungen beitragen (die Informationen sind auf zwei Tabellen aufgeteilt, Tabelle 8 und Tabelle 9). Zusätzlich ist in der vierten Spalte der zugeordnete thematische Layer zum Status 2006 mit dem Kürzel der relevanten CLC-Klasse eingetragen, und zum Teil ist angedeutet, aus welcher Informationsebene diese thematische Rasterebene gewonnen werden soll.

Nach einer Ableitung der hauptsächlichen CLC-Klassen zum Status in 2006 (als Rasterinformation) kann dann, ausgehend von der Geometrie der DLM-DE2009 Polygone, festgestellt werden, welche Polygone Beiträge aus anderen CLC-Klassen gegenüber 2009 enthalten und damit Änderungsflächen zwischen 2006 und 2009 bilden können. Für die dazu notwendige Unterteilung der betroffenen Polygone sollen dann Segmentierungsverfahren eingesetzt werden, die auf Informationen aus der IMAGE2006 Datenbasis (mit 20 m Pixelauflösung) aufbauen.

Im Folgenden werden die verschiedenen Gruppen von Änderungsklassen näher beschrieben.

### 5.2.1 Die Gruppen von Änderungsklassen

Bei der Gruppe aller Änderungsklassen im Zusammenhang mit den Abbaufächen in 2006 (CLC-Klasse 131, siehe Tabelle 8), also mit den Übergängen 131 -> xxx, wird es so zunächst darum gehen, einen thematischen Layer der Abbaufäche mit ca. 1 ha Mindestkartierfläche abzuleiten. Mit den Versiegelungslayern, den „Soil Sealing Layern 2006“, einmal mit, einmal ohne die Flächen von Abbaugelieten und Baustellen, ist eine entsprechende Datengrundlage mit wesentlich besserem räumlichen Detaillierungsgrad als Basis der Verarbeitung vorhanden als es das herkömmliche CORINE Land Cover 2006 bietet.

Bei der Gruppe der Änderungsklassen im Zusammenhang mit dem Status von Baustellen (133) kann ebenfalls von den zwei Varianten des Versiegelungslayers profitiert werden.

Die landwirtschaftlichen Klassen 211 und 231 (Ackerland sowie Wiesen und Weiden) weisen im größeren Umfang Anteile an den Änderungsprozessen auf, sowohl innerhalb landwirtschaftlicher Flächen, als auch bei Übergängen hin zu urbaner Bebauung (wie bei den Übergängen 211 -> 121, 231 -> 112, siehe Tabelle 8 und Tabelle 9). Nach dem Ergebnis der Vorstudie (Keil et al., 2010 c, Metz, 2009) enthalten multi-saisonale Zeitreihen, z. B. auf der Basis von IRS-P6 AWiFS Daten, das Potential, die Abgrenzung von Ackerland zu Grünland zu einem großen Teil automatisch vorzunehmen. Die Dynamik der Wachstumsentwicklung inklusive des Erntestadiums zeigt sich recht gut in zeitlichen Beschreibungen des Vegetationsindex NDVI (Rouse et al., 1973). Nach einer entsprechenden Vorverarbeitung hinsichtlich einer passenden Geometrie der Satellitendaten und der Erstellung von multi-temporalen Ebenen in entsprechenden Mosaiken sollten Parameter der temporalen Statistik zu den Abgrenzungen von Ackerland und Grünland verhelfen.

Bei den Änderungsklassen im Zusammenhang mit der Waldverteilung und Waldentwicklung können zwei Gruppen von Änderungsprozessen ausgemacht werden (Tabelle 9).

Tabelle 8: Die 46 Veränderungsklassen gruppiert nach CLC-Klassen in 2006, Teil 1 (zur Bedeutung der CLC-Klassen siehe die Abbildung 1).

Prozess	2006	2009	2006 - thematische Rasterlayer	2006 - thematischer Rasterlayer - Bedeutung	Fläche km2 (2000-2006)	Anteil (2000-2006)	Kumuliert (2000-2006)
131 → 211	131	211	131 Layer	<b>Abbauflächen</b>	23,43	1,04%	6,80%
131 → 231	131	231	131 Layer		18,47	0,82%	
131 → 324	131	324	131 Layer		46,79	2,08%	
131 → 333	131	333	131 Layer		22,06	0,98%	
131 → 512	131	512	131 Layer		42,37	1,88%	
133 → 112	133	112	133 Layer	<b>Baustellen</b>	77,81	3,45%	6,52%
133 → 121	133	121	133 Layer		41,72	1,85%	
133 → 122	133	122	133 Layer		11,62	0,52%	
133 → 211	133	211	133 Layer		8,07	0,36%	
133 → 231	133	231	133 Layer		7,6	0,34%	
222 → 211	222	211	aufbereit. grober 222 Layer CLC	<b>Dauerkulturen Obstanbau</b>	13,97	0,62%	0,62%
333 → 231	333	231	aufbereit. grober 333 Layer CLC	<b>Flächen mit spärlicher Vegetation</b>	23,12	1,03%	5,79%
333 → 321	333	321	aufbereit. grober 333 Layer CLC		16,87	0,75%	
333 → 324	333	324	aufbereit. grober 333 Layer CLC		39,54	1,75%	
333 → 512	333	512	aufbereit. grober 333 Layer CLC		51,03	2,26%	
331 → 423	331	423	aufbereit. grober 331 Layer CLC	<b>Strände, Dünen, Sandflächen</b>	19,98	0,89%	0,89%
242 → 112	242	112	<i>(nicht relevant)</i>	<i>(nicht relevant bei 1 ha MKF, da meist dann 211 oder 231)</i>	37,29	1,65%	2,88%
242 → 121	242	121	<i>(nicht relevant)</i>		9,43	0,42%	
242 → 211	242	211	<i>(nicht relevant)</i>		11	0,49%	
242 → 231	242	231	<i>(nicht relevant)</i>		7,19	0,32%	

Tabelle 9: Die 46 Veränderungsklassen gruppiert nach CLC-Klassen in 2006, Teil 2  
(zur Bedeutung der CLC-Klassen siehe die Abbildung 1)

Prozess	2006	2009	2006 - thematischer Rasterlayer	2006 - thematischer Rasterlayer - Bedeutung	Fläche km2 (2000-2006)	Anteil (2000-2006)	Kumuliert (2000-2006)
211 → 112	211	112	211 Layer aus temp. Statistik	<b>Ackerland (nicht bewässert)</b>	178,61	7,92%	21,28%
211 → 121	211	121	211 Layer aus temp. Statistik		77,21	3,43%	
211 → 122	211	122	211 Layer aus temp. Statistik		7,32	0,32%	
211 → 131	211	131	211 Layer aus temp. Statistik		86,09	3,82%	
211 → 133	211	133	211 Layer aus temp. Statistik		48,11	2,13%	
211 → 142	211	142	211 Layer aus temp. Statistik		26,22	1,16%	
211 → 231	211	231	211 Layer aus temp. Statistik		35,02	1,55%	
211 → 512	211	512	211 Layer aus temp. Statistik		21,45	0,95%	
231 → 112	231	112	231 Layer aus temp. Statistik	<b>Grünland (Wiesen und Weiden)</b>	36,16	1,60%	14,39%
231 → 121	231	121	231 Layer aus temp. Statistik		12,86	0,57%	
231 → 131	231	131	231 Layer aus temp. Statistik		9,12	0,40%	
231 → 133	231	133	231 Layer aus temp. Statistik		7,4	0,33%	
231 → 211	231	211	231 Layer aus temp. Statistik		192,87	8,56%	
231 → 242	231	242	231 Layer aus temp. Statistik		36,98	1,64%	
231 → 324	231	324	231 Layer aus temp. Statistik		8,66	0,38%	
231 → 411	231	411	231 Layer aus temp. Statistik		11,47	0,51%	
231 → 512	231	512	231 Layer aus temp. Statistik		9,02	0,40%	
321 → 324	321	324	aufbereit. grober 321 Layer CLC	<b>Natürliches Grünland</b>	17,6	0,78%	0,78%
311 → 324	311	324	aufbereit. grober 311 Layer CLC	<b>Laubwald</b>	7,31	0,32%	0,32%
312 → 131	312	131	<i>(manuell in Waldmaske 06)</i>	<b>Nadelwald</b>	24,52	1,09%	12,86%
312 → 324	312	324	detaill. 324 / 312 Layer 2006		265,3	11,77%	
313 → 324	313	324	aufbereit. grober 313 Layer CLC	<b>Mischwald</b>	24,29	1,08%	1,08%
324 → 131	324	131	detaill. 324 / 312 Layer 2006	<b>Wald-Strauch-Übergangsstadien</b>	20,29	0,90%	15,54%
324 → 311	324	311	detaill. 324 / 312 Layer 2006		54	2,40%	
324 → 312	324	312	detaill. 324 / 312 Layer 2006		117,93	5,23%	
324 → 313	324	313	detaill. 324 / 312 Layer 2006		157,95	7,01%	

Die Veränderungsklasse mit dem größten einzelnen Beitrag, 312 → 324, weist mit 11% Anteil an den Änderungen auf den großen Umfang von Sturmwurfeschäden hin, die häufig den Nadelwald besonders heftig treffen. Hier wird es darum gehen, bei einem thematischen Layer einerseits die Feinverteilung von noch intakten älteren Nadelwaldbeständen (312) oder auch anderen Waldbeständen abzuleiten, sowie andererseits die auch in 2006 schon vorhandenen Wald-Strauch-Übergangsstadien (324) nach Ausräumung von Sturmwurfflächen oder nach Wiederaufforstungen bis zum Jahr 2006. Eine Hilfestellung wird dabei die aus den ATKIS-Daten (ATKIS Basis –DLM flacher Layer) ableitbare generelle Waldmaske spielen (vgl. Kapitel 2.1.1).

Eine andere umfangreiche Flächenentwicklung ist der Übergang von Wiederaufforstungsflächen, z. B. auf früheren Sturmwurfflächen, in die Kategorien der älteren Waldbestände. Zusammen machten die Übergänge 324 → 31x zwischen 2000 und 2006 bundesweit immerhin mehr als 14,5 % an den Änderungsflächen aus. In diesen Prozessen, die einen kontinuierlichen Übergang der Übergangsklasse 324 zu den Waldkategorien 311, 312, 313 bedeuten und nur bedingt klar trennbar sind, sind auch die bei dem herkömmlichen CLC2006 erfassten 324-Flächen mit zu berücksichtigen.

Eine Sonderrolle spielen Übergänge, die in 2006 in den CLC-Klassen 222 (Dauerkulturen Obstanbau), 331 (Strände, Dünen, Sandflächen), 333 (Flächen mit spärlicher Vegetation) und 321 (natürliches Grünland) ihren Ursprung haben (Tabelle 8). Diese Kategorien sind mit automatischen Verfahren nur schwierig von anderen CLC-Klassen zu unterscheiden, kommen aber meist eher regional vor. So kommt die Kategorie 333 insbesondere im Zusammenhang mit großräumigen Abbauflächen und den ersten Schritten bei der Renaturierung stillgelegter Abbauflächen vor, oder auch im Zusammenhang stillgelegter oder noch in Nutzung stehender militärischer Übungsflächen. Mit einem automatischen Ansatz sollten daher zunächst die entsprechenden Kategorien von CLC2006 (25 ha MKF) in Form entsprechender thematischer Rasterlayer in die Backdatingprozeduren einfließen. Bei den Schritten der manuellen Überprüfung und Verbesserung konnten dann auch in den Hauptregionen dieser Klassen in 2006 (so im Zusammenhang mit Obstanbauflächen 222) kleinere Teilflächen in der entsprechenden Umgebung noch mit in die Änderungslayer aufgenommen werden.

Bei den 46 umfangreichsten Änderungsflächen zwischen 2000 und 2006 spielen auch vier Übergänge, die ihren Ursprung auf den heterogenen landwirtschaftlichen Flächen 242 haben, eine Rolle, bei den Übergängen 242 → 112, 242 → 121, 242 → 211 und 242 → 231 (siehe Tabelle 9). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass diese Kategorien bei 25 ha MKF eine größere Rolle spielen, bei den ca. 1 ha MKF im Zusammenhang der DLM-DE2006\_Backdating Ableitung aber kaum. In kleinerem Umfang werden in DLM-DE2009 auch 242-Polygone ausgewiesen, meist dann in Zusammenhang eines engeräumigen Nebeneinanders von 222 und 231 oder auch 211. In der Tabelle wurde bei den entsprechenden Übergängen die Bemerkung „nicht relevant“ aufgenommen.

## 5.3 Vorverarbeitung der Daten

### 5.3.1 Aufteilung in sechs Makroregionen

Nach ersten kleinräumigen Untersuchungen zur Vorgehensweise im Projekt wurde die Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland in sechs Makroregionen als Prozessierungseinheiten eingeteilt, die jeweils Gruppierungen oder Einzelrepräsentationen von Bundesländern beinhalteten. Diese Einteilung war insofern eindeutig (und ohne zusätzliche Auftrennung von Polygonen möglich), da der Gesamtdatensatz des DLM-DE2009 für jedes Polygon eine Zuordnung zu einem Bundesland aufwies und auch das BDLM-DE\_flach (2006) einzeln für die Bundesländer vorlag. Die Aufteilung in die Makroregionen und deren Zusammensetzung ist der Abbildung 11 zu entnehmen.

Abbildung 11: Aufteilung der Fläche Deutschlands in sechs Makroregionen



### 5.3.2 Mosaikierung von IMAGE2006 Sommer- und Frühjahrsszenen

Die Frühjahr- und Sommerszenen der IMAGE2006 Datenbasis bilden eine der primären Datengrundlagen für die Ableitung des Landbedeckungsstatus zum Jahr 2006. Mit der geometrischen Auflösung um 23 m mal 23 m bzw. der Pixelgröße von 20 m mal 20 m sollen diese Daten vor allem die Basis der Segmentierung bilden, bzw. besser der Untersegmentierung von Polygonen aus DLM-DE 2009, für die potentielle Änderungen angezeigt werden.

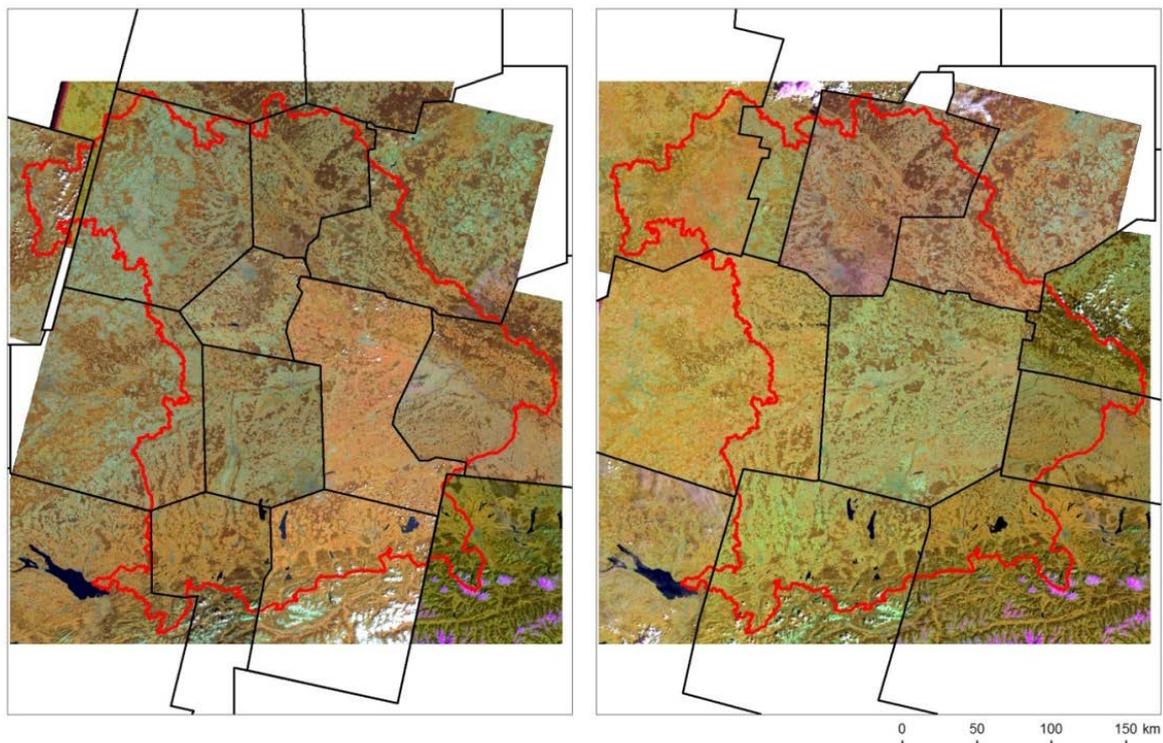
Im Sinne einer Vereinfachung der Prozessierung wurden dabei aus den zwei Abdeckungen im Frühjahr und Sommer für die sechs Makroregionen möglichst wolkenfreie Szenen herausgesucht und Bildmosaik in der Projektion von Gauß-Krüger Zone 3 erstellt. Die Mosaikierung erfolgte mit Routinen der ERDAS Imagine Software. Mittels zugeordneter Shapefiles, die die Abgrenzungen der verwendeten Szenenausschnitte dokumentierten, war dabei für jede Teilfläche des Mosaiks die eingegangene Szene erfasst. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden analog auch den Szenen die zugehörigen Wolkenmasken zugeordnet und ebenfalls zu einem Mosaik für die jeweilige Makroregion aufgebaut. Die Wolkenmasken resultierten aus verfügbaren Zwischenergebnissen aus dem CATENA System und beinhalteten neben Kenngrößen für die Wolkenpixel auch Werte für Wolkenschatten sowie Schneebedeckungen in den Frühjahrsszenen. Bei Bedarf wurde das jeweilige Wolkenmasken-Mosaik mittels Vergleich mit dem Bildmosaik und optimierten GIS-Routinen interaktiv verbessert.

Teilweise war es in einigen Makroregionen notwendig, neben der LISS-III Datengrundlage auch SPOT-Daten und vereinzelt Szenenausschnitte der Landsat-Datenbasis zum Auffüllen von Datenlücken zu verwenden.

### 5.3.3 Mosaikierung von Landsat Sommerdaten

Entsprechende Schritte beim Mosaikaufbau wie bei den IMAGE2006 Daten wurden zum Aufbau der Landsat-Bildmosaike und der zugehörigen Wolkenmasken durchgeführt. Beispiele von LISS-III und Landsat Mosaiken mit den überlagerten Grenzlinien sind zum Vergleich in Abbildung 12 für die Makroregion BY dargestellt.

Abbildung 12: Beispiel für Ergebnisse der Mosaikierung der LISS-III und Landsat-Daten, hier für Bayern. Die überlagerten Grenzlinien („Seamlines“) markieren die benutzten Ausschnitte für die jeweiligen Satellitendaten. Links: Mosaik der LISS-III Sommerdaten (IMAGE 2006); rechts: Mosaik der Landsat Sommerdaten. Quelle Satellitendaten © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III), USGS/NASA (Landsat).



Die Ableitung der Wolkenmasken aus den Landsat-Bilddaten wurde dabei vorab mit einer Open Source Software, dem Softwarepaket Fmask (Function of mask), erstellt. Fmask beruht auf einem Ansatz von Zhu & Woodcock (2012), die Software wurde für Daten der Landsat-Sensoren entwickelt, die neben den reflektiven Kanälen auch einen Thermalkanal beinhalten mit Informationen zu den Flächen mit Wolken, Wolkenschatten und Schnee. Der Code ist in der Software Matlab erstellt, die ausführbaren Programme (für Windows- und Linux-Systeme) sind aber auch ohne Matlab- Installation und -Lizenz verwendbar (siehe Google Code, 2014).

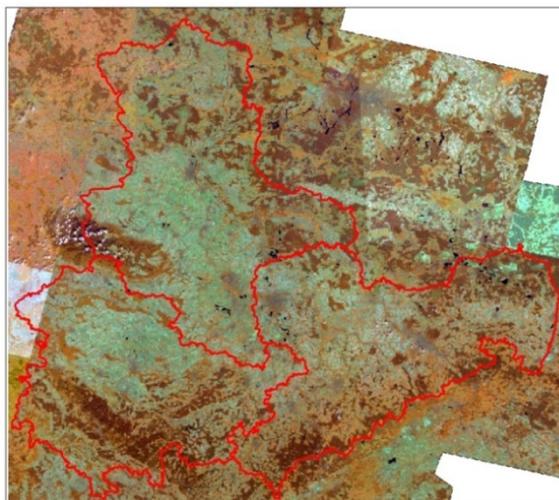
Die Tabelle 10 beinhaltet eine Aufstellung, welche Prozentanteile die wolkenbedingten Datenlücken für die einzelnen Regionen und die Abdeckungen mit LISS-III Frühjahr, LISS-III Sommer und Landsat Sommer ausmachen.

Die Abbildung 13 zeigt die drei Bildmosaie und einen zugehörigen Wolkenmasken-Layer (für das Frühjahr) für die Makroregion ST.

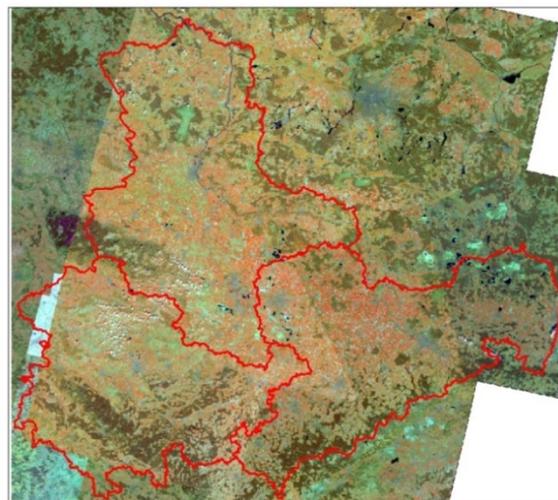
Tabelle 10: Prozentuale Anteile mit wolken- und schneebedeckten Datenlücken für die sechs Makroregionen, basierend auf den ermittelten Wolkenmasken

Makroregion	Wolkenbedeckung in %		
	LISS-III Frühjahr	LISS-III Sommer	Landsat 5 TM Sommer
SH (SH, HB, NI, HH)	0,03	0,64	0,00
MV (MV, BE, BB)	0,65	0,34	0,69
ST (ST, SN, TH)	0,29	0,21	0,33
NW (NW, RP, SL, HE)	0,03	0,70	0,71
BW	3,80	3,10	0,00
BY	0,87	0,60	0,34

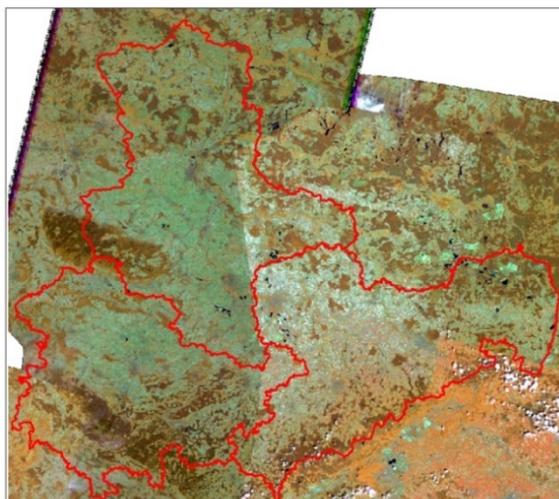
Abbildung 13: Überdeckung der Makroregion ST (Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt) mit den Satellitendaten von IMAGE2006 (LISS-III) und Landsat TM. Quelle Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III), USGS/NASA (Landsat).



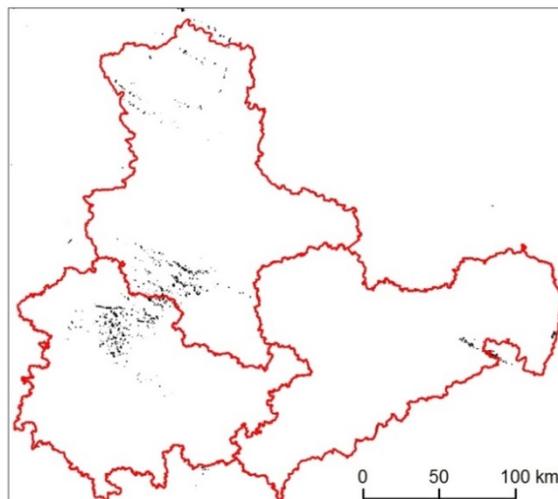
Mosaik - LISS-3 Sommer



Mosaik - LISS-3 Frühjahr



Mosaik - Landsat TM Sommer



LISS-3 Frühjahr CMF (Cloud Mask File)

### 5.3.4 Ortho-Rektifizierung der IRS-P6 AWiFS Daten

Für die geometrische und auch radiometrische Vorprozessierung der IRS-P6 AWiFS Daten stand als operationelles System die generische Prozesskette CATENA am DLR-Institut Methoden der Fernerkundung (IMF) zur Verfügung, die unter Nutzung diverser Meta-Daten sensorspezifische Verarbeitungen ermöglicht (Müller et al, 2012; Krauss et al, 2013).

Die IRS-P6 Daten waren von der Firma EUROMAP als systemkorrigierte Daten, im Status „Orthokit ready“, geliefert worden, in bahn-korrigierten Datenfiles in der Kartenprojektion „Lambert Conformal Conical“ mit dem Datum WGS-84. Die dabei mitgelieferten aufgezeichneten Bahn- und Lagedaten des Satelliten gehen dabei in eine Modellierung der Satellitenbildgeometrie ein, die unter Verwendung automatisch gesuchter Passpunkte und einem digitalen Geländemodell zu einer Orthorektifizierung der AWiFS-Daten genutzt werden und die Lagegeometrie dadurch entscheidend verbessern. Als geometrische Referenz kann dabei die weltweit vorhandene orthorektifizierte Landsat ETM+ PAN Bilddatenbasis verwendet werden, mit einer Auflösung von 0,45 Bogensekunden (etwa entsprechend der 15 m Pixelauflösung).

Um eine möglichst gute Anpassung im Vergleich zu den LISS-III Daten zu haben, wurde aber im Projekt die bereits orthorektifizierte IMAGE2006 Datenbasis (die LISS-III Daten von 2006) als Referenz verwendet. Als Geländemodell diente ein sogenanntes weltweite „Best of“ DEM, zusammengesetzt aus einem DEM beruhend auf den „Shuttle Radar Topographic Mission“ Daten des SRTM-X-Band, des SRTM-C-Band und regional vorhandenen anderen DEM-Daten zum Auffüllen von Datenlücken und außerhalb der SRTM-Abdeckungen (Müller et al., 2007). Die Ortho-Rektifizierung erfolgte zunächst – systembedingt – im UTM-Koordinatensystem. Danach wurden die Satellitenprodukte in die Gauß-Krüger-Projektion, Zone 3, mit dem Datum DHDN transferiert, in dem die DLM-DE Daten vorliegen. Für das Resampling wurde eine „Cubic Spline“ Interpolation verwendet.

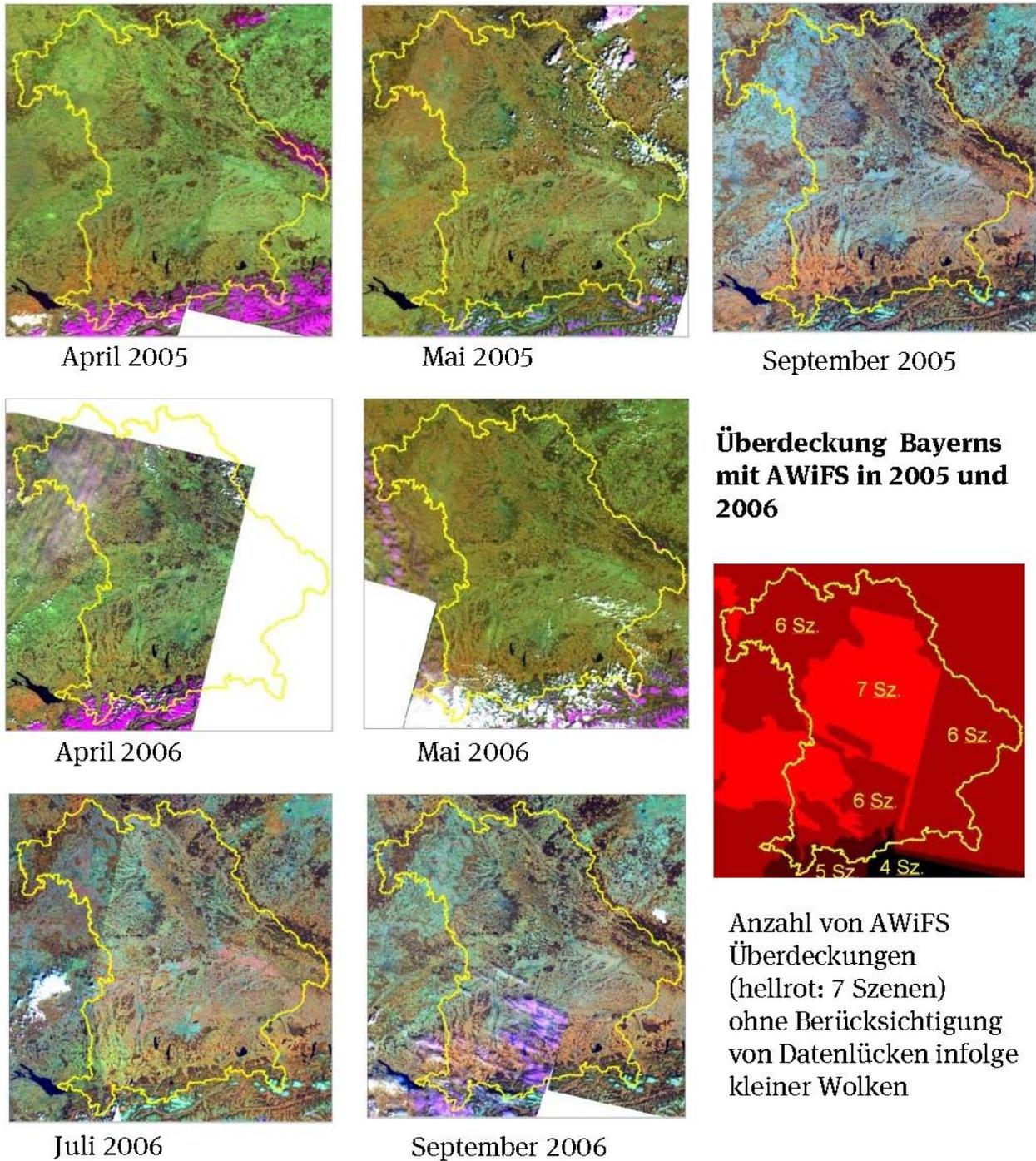
Die radiometrische Vorverarbeitung beinhaltet unter anderem auch eine Ableitung von Wolkenpixeln, Wolken-schattenpixeln, Pixeln der Schneebedeckung und der Wasserbedeckung, basierend auf dem Atmosphärenkorrekturprogramm ATCOR (Richter, 2008). Für die Daten wurde auch die in CATENA integrierte Atmosphärenkorrektur inklusive der Terrainkorrektur (mittels dem Modul ATCOR-3) durchgeführt, bei dem insbesondere für stark reliefierte Regionen mittels des DEM auch radiometrische Korrekturen durchgeführt werden (Richter et al, 2011). Eine Überprüfung ergab allerdings, dass die Terrainkorrektur häufig zu Überkorrekturen mit einhergehenden Artefakten führte. Daher wurden die AWiFS Daten nur in der geometrisch vorprozessierten Form und nicht als mit ATCOR-3 radiometrisch korrigierte Produkte benutzt. Bei der geplanten späteren Verwendung von spektralen Indizes (mit Ableitung von Ratios) für die Zeitreihen war zu erwarten, dass sich Effekte der Geländebeleuchtung größtenteils ausgleichen.

### 5.3.5 Erstellung multi-saisonaler AWiFS Mosaik

Analog zu den Bildmosaik der IMAGE2006 Daten und der Landsat-Daten wurden auch die der jeweiligen Aufnahmeperiode zugeordneten AWiFS Daten zu Bildmosaik zusammengesetzt. Eine zusätzlich erstellte 0-1-Maske pro Aufnahmemonat zeigte dabei wiederum an, ob gültige AWiFS Daten vorhanden waren, oder ob Datenlücken wegen nicht vorhandener Szenenüberdeckung oder aber in Folge von Wolken oder Wolken-schatten vorhanden waren.

Die Abbildung 14 zeigt beispielhaft eine Bildfolge der AWiFS Mosaik für die Makoregion BY (Bayern). Für den größten Teil von Bayern liegen, abgesehen von kleinräumigeren Wolkenlücken, 6 bis 7 Szenenüberdeckungen vor.

Abbildung 14: Überdeckung von Bayern mit multi-saisonalen AWiFS Daten. © ANTRIX, Euromap / GAF AG.



### 5.3.6 Ableitung temporaler Statistiken von AWiFS NDVI Zeitreihen

Aufbauend auf den mosaikierten AWiFS Aufnahmen wurde für jeden Aufnahmemonat der Vegetationsindex NDVI („Normalized Difference Vegetation Index“) berechnet (siehe z. B. Rouse et al., 1973).

Dabei ist der NDVI definiert als Kombination der Kanäle des nahen Infrarots und des Sichtbaren Rots (vgl. Tabelle 4):

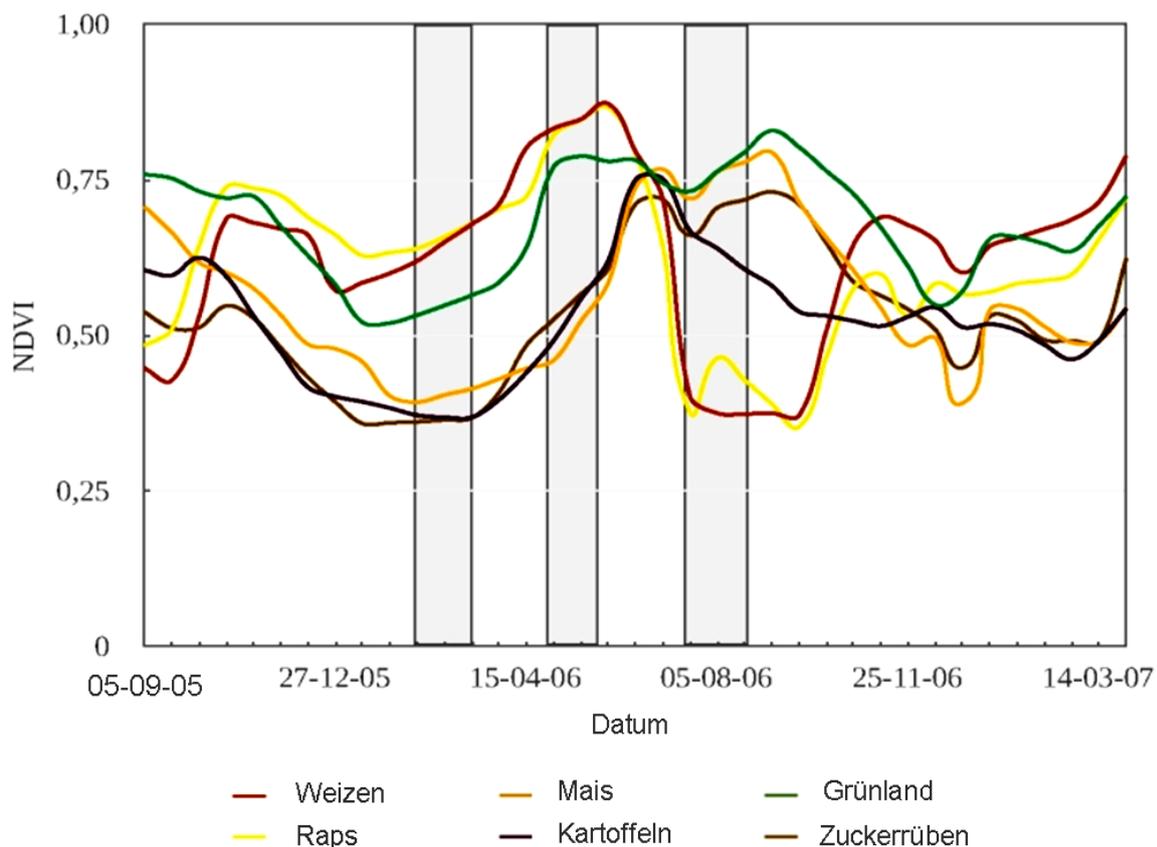
- $NDVI = (NIR - VIS-R) / (NIR + VIS-R)$ .

Die zeitliche Abfolge und Dynamik der NDVI-Werte pro Bildelement enthält charakteristische Informationen zur Beschreibung der Art der landwirtschaftlichen Nutzung, die insbesondere auch hinsichtlich der Trennung von Ackerland und Grünland genutzt werden kann. Aus Darstellungsgründen wurden die NDVI-Werte, die laut Formel Werte zwischen -1,0 und +1,0 annehmen können, auf das positive Intervall von 0 bis 200 normiert.

Ein erfolgreicher Einsatz von multi-saisonalen und auch multi-sensoralen Satellitendaten für Vegetationskartierungen wurde auch in Deutschland bereits in verschiedenen Projekten demonstriert, so bei Itzerott & Kaden (2006), Goessl et al. (2010), Feilhauer et al. (2012).

Im Rahmen der begleitenden Arbeiten zu CLC2006 (Metz, 2009; Keil et al, 2010c) waren in landwirtschaftlichen Untersuchungsgebieten in Mecklenburg-Vorpommern temporale NDVI-Signaturen des MODIS-Sensors untersucht worden, der täglich Aufzeichnungen macht, allerdings nur mit einer räumlichen Auflösung ab 250 m mal 250 m. Verschiedene Fruchtarten sowie auch Grünland wurden einbezogen. Bei den die Phänologie der Vegetation beschreibenden NDVI-Kurven auf MODIS basierend können Informationen bezüglich wichtiger Zeiträume zur Unterscheidung von Grünland und diversen Fruchtarten gezogen werden. So ist der späte Juli und der August gut geeignet zur Trennung von Getreidearten und Grasland, im April können Maisflächen und Grünland gut getrennt werden. Diese Zeitfenster sind auch für NDVI-Zeitreihen von AWiFS wichtig. Ein Beispiel aus Mecklenburg zeigt Abbildung 15.

Abbildung 15: Mittlere Phänologiekurven für Weizen, Raps, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben und Grünland mit möglichen Intervallen für eine Grünlandabgrenzung (graue Bereiche) (Quelle: Metz, 2009, modifiziert)



Da die zeitliche Abdeckung mit AWiFS Daten über die Regionen Deutschlands und auch im Vergleich der Jahre 2005 und 2006 unterschiedlich war, ist es notwendig, möglichst robuste Kennzahlen zur Charakterisierung der unterschiedlichen Dynamik von Ackerflächen und Grünland zu wählen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die zeitlichen NDVI-Änderungen von Grünland gegenüber den Zyklen bei Ackerland geringer sind, auch wenn größere Variationen infolge Grasschnitt zu erwarten sind. Auch sollte das mittlere NDVI-Niveau von Grünland (über den Zeitraum März / April bis September / Oktober) allgemein höher

liegen als das von den diversen Hauptfruchtarten auf Ackerflächen. Ein drittes Kriterium könnte die Lage des NDVI Minimums sein.

Zur Charakterisierung wurden insgesamt 5 Statistikparameter der Zeitreihen bestimmt, die auch über einen Zeitraum von zwei Jahren ihre Gültigkeit bezüglich der Trennung von Ackerland und Grünland behalten. Diese Parameter sind:

- Minimum,
- Maximum,
- Mittelwert,
- Standardabweichung,
- Wertebereich.

Zusammen mit einem sechsten Parameter, der die Anzahl gültiger NDVI-Werte angibt, wurden diese Layer in einem mehrkanaligen temporalen Statistik-Datensatz zusammengefasst. Eine Graphik zur Veranschaulichung dieser temporalen Statistik-Parameter ist in der Abbildung 16 zu finden.

Die Abbildung 17 zeigt das Ergebnis für die Makroregion MV, in der meist verwendeten Kanalkombination 1,3,4 (Minimum, Mittelwert, Standardabweichung) in RGB-Darstellung.

Dabei sind die dominierenden Ackerflächen in Mecklenburg-Vorpommern gut in Blautönen zu erkennen, die eine hohe Standardabweichung (auf Blau gelegt) als dominantem Kanal anzeigen; durchzogen werden diese von Grünlandflächen in gelblichen Tönen in den Urstromtälern. Die Waldflächen nördlich und südlich Berlins zeigen dunkelgelbe bis bräunliche Farbtöne. Die Anzahl verfügbarer wolkenfreier NDVI-Werte sinkt im NW von Brandenburg, infolge partieller Wolkenbedeckungen, auf den Wert 4, über große Flächen gehen aber 5 bzw. 6 gültige Werte in die temporale Statistik ein.

## **5.4 Ableitung thematischer Interimslayer**

### **5.4.1 Aufbereitung der Layer zur Bodenversiegelung 2006**

Wie erwähnt, liegt der Layer zur Bodenversiegelung in zwei Varianten vor, einmal als “EEA Fast Track Service Precursor on Land Monitoring – Degree of soil sealing” (EEA, 2010), der neben bebauten Flächen auch Abbaugelände und Baustellen umfasst, zum anderen in einer zweiten, überarbeiteten Form, als “Revised Soil Sealing 2006, degrees of sealing 20 m and 100 m”. Diese überarbeitete Form enthält nicht mehr die Abbaugelände. Voruntersuchungen zeigten, dass ein abgeleiteter Layer zur Bebauung, z. B. unter Nutzung eines Schwellwertes von  $\geq 70\%$  Grad der Versiegelung, keinen Vorteil gegenüber der Bebauungsmaske basierend auf dem Basis-DLM 2006 brachte. Als Zusatzlayer half der Layer zur Bodenversiegelung aber bei Situationen, in denen auf bereits ausgewiesenen Industrie- und Gewerbeflächen nur ein kleiner Teil bereits stärker versiegelt war und bis 2009 weitere versiegelte Flächen dazu kamen. Des Weiteren gingen die zwei Varianten des Versiegelungslayer in die Ableitung von Abbaugeländen und Baustellen ein.

### **5.4.2 Aufbereitung des Basis-DLM 2006 „ATKIS flacher Layer“**

Das ATKIS Basis-DLM flacher Layer 2006, auch als BDLM\_flach 2006 bezeichnet, lag bereits für die Bundesländer in Form von Polygon Shapefiles vor. In die direkte Prozessierung gingen nur die Polygone ein, die die bebauten Flächen und die Waldverteilung in 2006 beschrieben. Die anderen Polygone wurden für Vergleichszwecke und als Zusatzlayer bei den Schritten der manuellen Verbesserung der Änderungslayer mit zu Rate gezogen, unter Berücksichtigung, dass der dargestellte Status nicht mehr aktuell sein konnte.

Abbildung 16: Eingangsdaten und thematische Produkte der temporalen Statistik am Beispiel der Makroregion NW (Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Hessen). Der temporale Statistik-Datensatz wurde aus Zeitreihen monatlicher NDVI-Mosaiken aus AWiFS Satellitendaten aus den Jahren 2005 und 2006 erstellt. Der temporale Statistik Datensatz besteht aus sechs einzelnen thematischen Layern: Maximum, Minimum, Mittelwert, Standardabweichung, Wertebereich sowie der Anzahl gültiger NDVI-Szenen. © ANTRIX, Euromap / GAF AG (AWiFS).

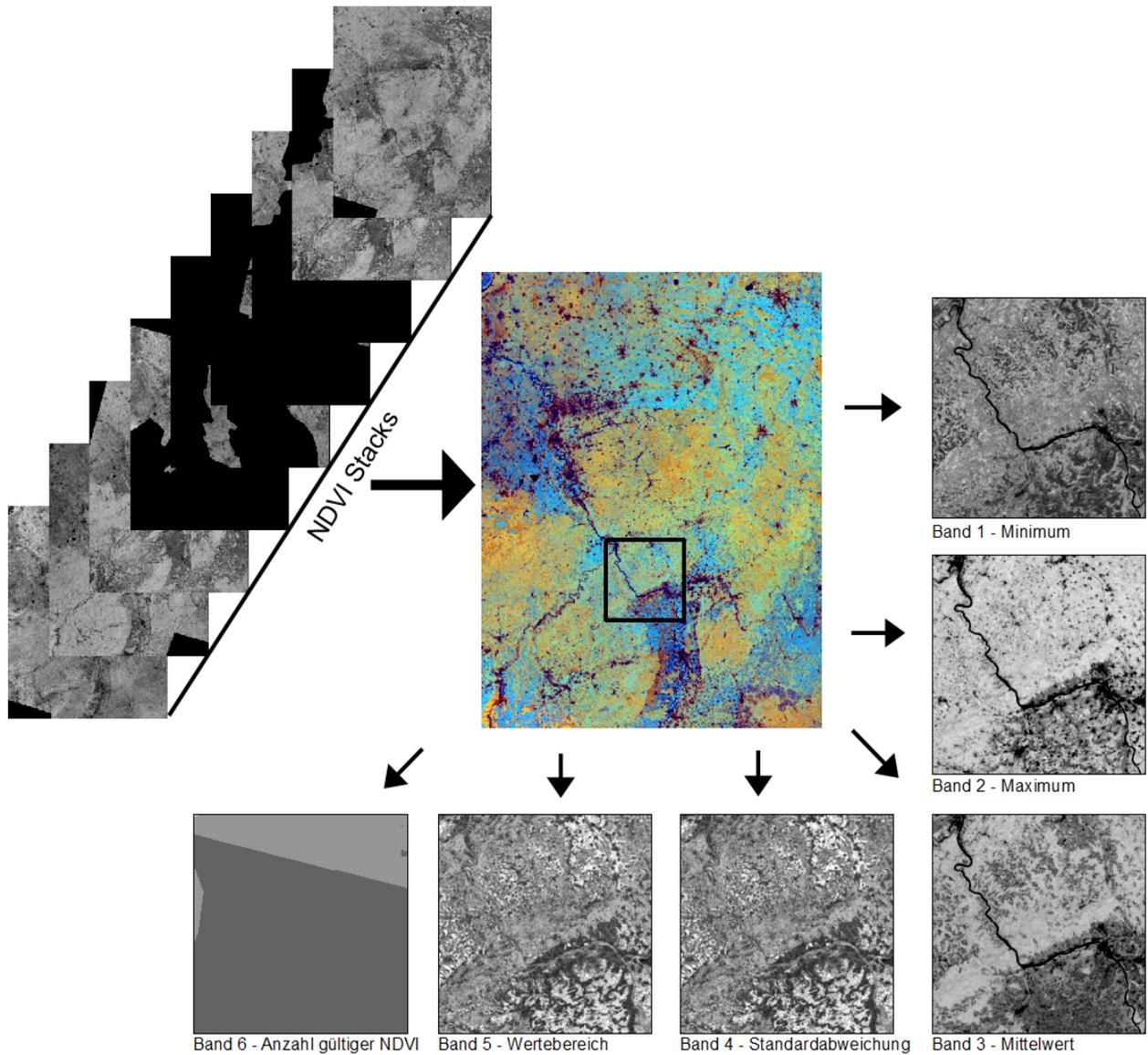
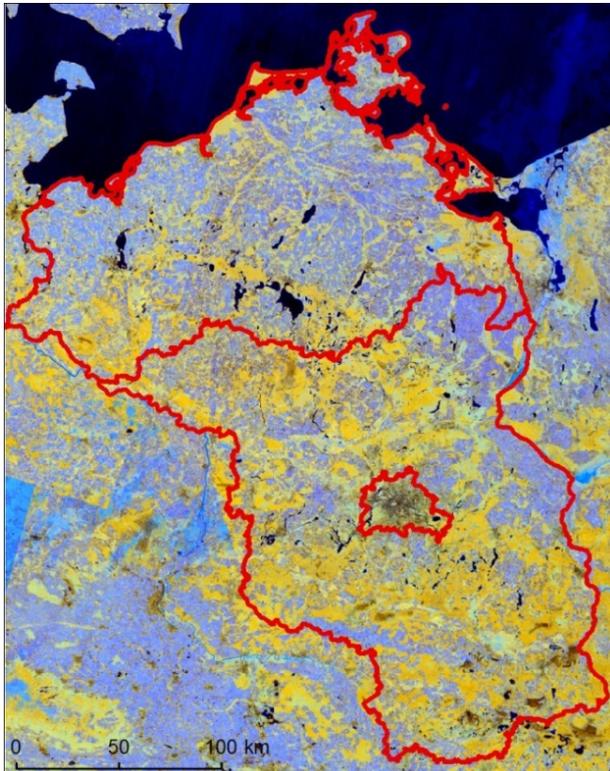
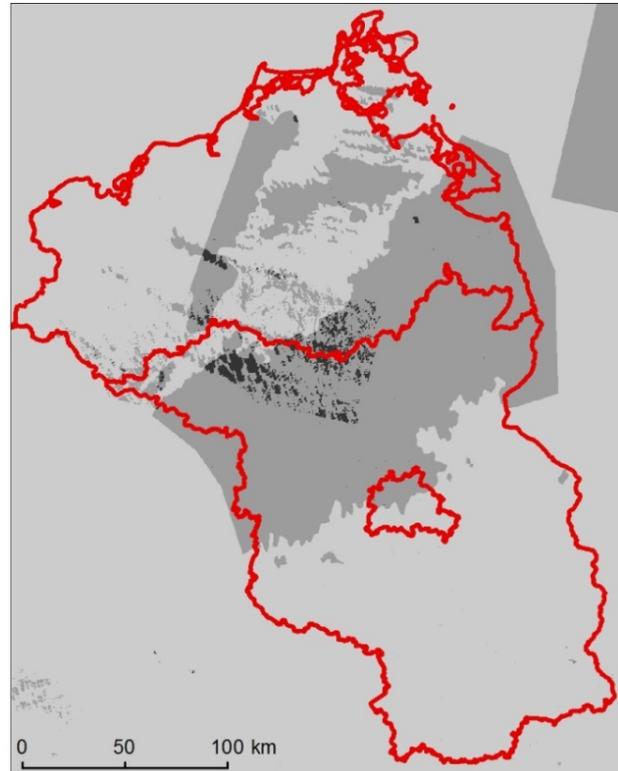


Abbildung 17: Darstellung temporaler Statistiken von AWiFS NDVI Zeitreihen am Beispiel der Makroregion MV. Links: Kombination von drei statistischen Parametern; rechts: Anzahl der verfügbaren wolkenfreien Abdeckungen. © ANTRIX, Euromap / GAF AG (AWiFS).



Temporale Statistik der AWiFS NDVI Zeitreihen

Band-Kombination: Band 1-3-4 (RGB) mit  
 Band 1 - Minimum  
 Band 3 - Mittelwert  
 Band 4 - Standardabweichung



Anzahl verfügbarer wolkenfreier AWiFS NDVI Abdeckungen



### 5.4.3 Layer zur Bebauung 2006 aus dem Basis-DLM 2006

Die Layer zur Bebauung in den einzelnen Bundesländern wurden aus dem BDLM\_flach 2006 aus den Polygonen gebildet, die bei den potentiellen CLC-Klassen (laut Attribut CLC\_BKG) mindestens eine der CLC-Kategorien 111, 112 oder 121, oder Kombinationen von ihnen mit anderen Klassen, enthielten. Die CLC-Klasse 122 (Straßen- und Schienennetz) war nicht im BDLM\_flach 2006 enthalten, da diese Kategorien ursprünglich in ATKIS aus Polylinien mit angegebenen Breiten in den Zusatzattributen bestanden. Der Bebauungslayer, auch „Urbanmaske“ genannt, wurde als Ausschlussfläche hinsichtlich der landwirtschaftlichen Flächen bei der Ackerland-/Grünlandtrennung eingesetzt.

### 5.4.4 Layer zur Waldbedeckung 2006 aus dem Basis-DLM 2006

Aus dem BDLM\_flach 2006 wurde ein weiterer Maskenlayer abgeleitet, die Waldmaske zum Stand 2006. Dafür wurden alle Polygone verwendet, die im Attribut CLC\_BKG mindestens eine der CLC-Kategorien 311, 312, 313 oder 324 aufwiesen, auch in Kombination mit anderen potentiellen Klassen. Die Waldmaske wurde ebenfalls als Ausschlussfläche hinsichtlich der landwirtschaftlichen Flächen bei der Ackerland-/Grünlandtrennung eingesetzt, sowie als Zusatzinformation bei der Ausweisung von Veränderungen bei den Waldklassen.

## 5.5 Ableitung thematischer Rasterlayer

### 5.5.1 Wassermaske (CLC 512)

Die Wassermaske, die prinzipiell die CLC-Klassen 511 und 512 enthalten könnte, ist in Bezug auf Änderungsklassen laut der Tabelle 8 und der Tabelle 9 interessant für die vier Übergänge 131 -> 512, 211 -> 512, 231 -> 512 und 333-> 512, allesamt Übergänge in den Status 512 (Wasserflächen) in 2009. Im Status 2006 ist eine Wassermaske insofern von Interesse, als abzuprüfen ist, ob nicht doch bereits eine Wasserfläche in 2006 vorgelegen hat, oder noch eine Abbaufäche 131 bzw. eine Sukzessionsfläche 333 auf ehemaligen Abbaufächen (vor der Flutung). Die Wassermaske wird auch als Ausschlussfläche bei der Klassifizierung von Acker- und Grünland eingearbeitet. Bei den abzuprüfenden Beiträgen in den potentiellen Änderungsflächen von DLM-DE2009 spielt die CLC-Klasse 512 keine Rolle.

Informationen zur Abgrenzung von Wasserflächen finden sich in verschiedenen Indizes, so im

- $NDVI = (NIR - VIS-R) / (NIR + VIS-R)$ ,

aber auch in verschiedenen „Wasser-Indizes“ oder „Wetness Indizes“. Ausgewählt wurde hier der „Modified Normalised Difference Water Index“ (MNDWI) nach Xu (2006). Dieser ist wie folgt definiert als Kombination des sichtbaren Grün-Kanals und dem mittlerem Infrarot-Kanal, wie z. B. dem Landsat TM Kanal 5, dem „Short Wave“- Kanal SWIR :

- $MNDWI(Xu) = (VIS-G - SWIR) / (VIS-G + SWIR)$ .

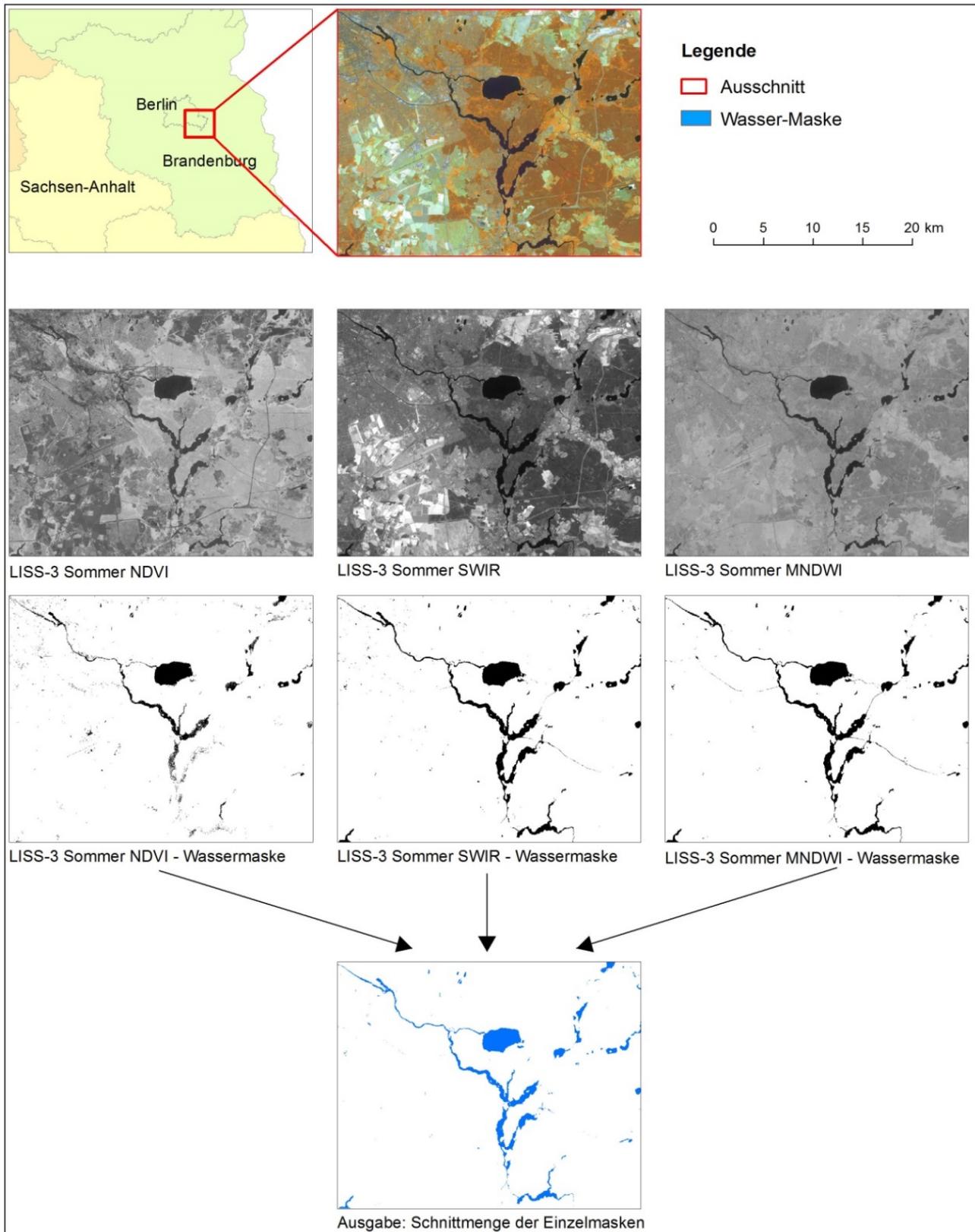
Indizes haben den Vorteil, dass sie per Schwellwertbestimmung zu einer Trennung von „Wasser“ und „Nicht-Wasser“ genutzt werden können.

Ein weiterer Indikator zur Abgrenzung von Wasserflächen ist der mittlere Infrarotkanal SWIR selbst (z. B. der Kanal 5 bei Landsat), allerdings wird dieser nicht in Relation zu einer Größe im Nenner (als Ratio) gesetzt. Dies bedingt, dass unterschiedliche Aufnahme- und Beleuchtungssituationen bei direkter Nutzung des mittleren Infrarotkanals zu Schwellwertbestimmungen von Wasserflächen berücksichtigt werden müssen. Dies wurde durch Aufteilung der Mosaik in die Streifen gleichzeitig aufgenommener Anteile durchgeführt, unter Verwendung der „Seamlines“ (der Grenzlinien) der Szenen. Bei Baden-Württemberg reichte es aus, bei der Verwendung von Landsat zur Schwellwertabgrenzung mit dem SWIR-Kanal eine Unterteilung in einen Westteil und einen Ostteil durchzuführen, getrennte Schwellwerte zu bestimmen und die abgeleiteten Wasserflächen später wieder zusammzusetzen. Andere Makroregionen erforderten eine stärkere Unterteilung.

Zur Ableitung der Wassermaske wurden alle drei Einzelmasken verwendet. Mittels Schwellwerten wurde jeweils versucht, alle Wasserflächen voll zu umfassen, mit zunächst Inkaufnahme von Überschätzungen. Mittels Verschneiden der Einzelmasken wurde dann die Schnittmenge als Wassermaske bestimmt. Diese Methodik hat den Vorteil, dass die Mischpixel im Uferbereich besser in die Bestimmung der Wasserflächen integriert werden können. Angeschlossen wurde allerdings noch eine interaktive Korrektur mit Auslösen oder zusätzlichem Einbringen von Wasserpixeln, die in ArcGIS unter Nutzung von für das Projekt erstellten Python-Skripten erfolgte.

Eine graphische Darstellung der Wassermaskenbestimmung ist in Abbildung 18 dargestellt.

Abbildung 18: Darstellung der Ableitung der Wassermaske 2006 auf der Basis von drei Indikator-Kanälen, abgeleitet aus IRS-P6 LISS-III Daten, anhand einer Beispielregion im Südosten Berlins. Quelle Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III).



### 5.5.2 Abbaugelände (CLC 131)

Die Abbaugelände (CLC-Klasse 131) in 2006 wurden nach einem recht komplexen Regelwerk bestimmt, unter Nutzung der beiden Soil Sealing Layer 2006, der Datenbasis DLM-DE2009, CLC2006 (25ha) sowie den einzelnen Landsat-Layern 2006 in GK3 Koordinaten. Die Prozessierung erfolgte im Wesentlichen in ERDAS Imagine, für die Modellierung wurde der „Graphic Modeller“ von ERDAS eingesetzt.

Folgende Bedingungen waren für eine Zuordnung zu 131 zu erfüllen:

- Bei einer Definition der Bebauungs- und Abbauflächenmaske aus den versiegelten Flächen (Version 1) wurden die Flächen ab 80% Versiegelungsgrad berücksichtigt.
- Die Abbauflächen müssen in der Differenzmaske von den Bebauungsmasken mit und ohne Abbauflächen & Baustellen liegen (ab Schwellwert 80% Versiegelung).
- Die potentiellen Abbauflächen müssen in ihrer Weiterentwicklung in 2009 ebenfalls der Klasse 131 angehören, oder aber einer potentiellen Renaturierungs- oder Rekultivierungsklasse, d. h. im DLM-DE2009 zu einer der Kategorien 131, 132, 331, 333, 321, 231, 211, 324, 512 gehören.
- Um die recht verschiedenartigen Ausprägungen von Braunkohletagebauten, die nicht alle hohe Versiegelungsgrade im Produkt „Soil Sealing Version 1“ hatten, besser mit einzubeziehen, wurden als Abbauflächen auch die groben Abgrenzungen in CLC2006 (25 ha MKF) zugelassen, aber unter Ausgrenzung von Bereichen mit höherem Vegetationsanteil und Wasserbedeckungen (mittels NDVI und Wasserindex in orthorektifizierten Landsat-Produkten).
- Die Einzelmasken (0-1-Masken) aus den einzelnen Landsat-Szenen wurden später zu einer Gesamtüberdeckung der Makroregionen überlagert.

### 5.5.3 Baustellen (CLC 133)

Die Baustellen (CLC-Kategorie 133) wurden in ähnlicher Weise aus der Differenz von „Soil Sealing Layer 2006“ mit und ohne Einbeziehen von Abbauflächen und Baustellen abgeleitet. Als zusätzliche Regel wurde die Bedingung aufgestellt, dass der Zustand im DLM-DE2009 der Klasse 133, oder aber den urbanen Klassen 111, 112, 121, 122 entsprach. Die zusätzliche Prozessierung von Landsat-Szenen war nicht notwendig. Zusätzlich wurden aber auch die Flächen einbezogen, die im CLC Change-Layer (2000 zu 2006) in 2006 die Klasse 133 auswiesen (die Mindestkartierfläche war hier 5 ha).

### 5.5.4 Ackerflächen (CLC 211)

Wie in Kapitel 5.3.6 bereits erläutert, wurden zur Abgrenzung von Ackerflächen und Grünlandflächen Parameter der temporalen Statistik zu den NDVI-Zeitreihen aus AWiFS verwendet. Die Abgrenzung zu anderen Landbedeckungen wurde dabei durch Einbeziehung der thematischen Interimslayer zum Status 2006, der Bebauungsmaske, der Waldmaske und der Wassermaske, erreicht.

Nach verschiedenen Tests wurden drei Statistikkanäle für das Regelwerk zur Beschreibung der Ackerland-Grünland-Trennung verwendet, die Kanäle „Minimum“, „Mittelwert“ und „Standardabweichung“ der temporalen Verteilung der NDVI-Werte pro Pixel.

Es wurden wiederum (wie bei Ableitung der Wassermasken) mittels Schwellwerten zunächst drei Einzelmasken für mögliche Abdeckungen der Ackerflächen aus diesen Kanälen gebildet, zunächst mit Überschätzungen der Ackerflächen, die dann über eine Verschneidung zu der Maske der Ackerflächen (als 0-1-Maske) führte.

### 5.5.5 Grünlandflächen (CLC 231)

Die drei Statistikkanäle „Minimum“, „Mittelwert“ und „Standardabweichung“ wurden entsprechend der zeitlichen NDVI-Verteilung auch für die Ableitung der Grünlandmaske verwendet. Zunächst wurden wieder geeignete Schwellwerte für die Einzelmasken gewählt und durch Kombination mittels Schnittmengenbildung dann die Maske für Grünland abgeleitet.

Ein Beispiel für die gewählten Schwellwerte für die Trennung von Ackerland und Grünland (hier für die Makroregion NW) ist in der Tabelle 11 dargestellt.

Um die landwirtschaftlich genutzten Flächen möglichst weitgehend mit der Ackermaske und der Grünlandmaske abzudecken, wurden die Schwellwerte für beide Kategorien relativ weit ausgelegt. Die Masken der Grünlandflächen umfassten dadurch auch große Teile der Waldflächen, die aber über die Waldmaske aus dem Basis-DLM 2006 ausgesondert wurden. Es verblieben auch Flächen, die laut dem jeweiligen Regelwerk sowohl für Ackerland als auch für Grünland in Frage kamen. Bei diesen Flächen wurde im Regelwerk für die Pixelzuordnung den Ackerflächen der Vorrang gegeben, basierend auf diversen Versuchsläufen. Zusätzlich wurden die Dauerkulturen Obstanbau – CLC-Kategorie 222 aus CLC2006 (mit 25 ha MKF) ausgespart, da diese in den Statistikwerten den Grünlandflächen ziemlich ähnelten.

Die Optimierung der Schwellwerte in mehreren Versuchsläufen erfolgte für jede Makroregion extra, mit dem bereits erworbenen „Vorwissen“ aus vorherigen Regionen. Dabei ist davon auszugehen, dass die zeitliche NDVI-Dynamik bei Ackerflächen und Grünland, z. B. bezüglich der Variationsbreite, in unterschiedlichen Landschaften (in Tiefebenen im Vergleich zu Mittelgebirgslandschaften) durchaus unterschiedlich ausfallen können. Gegenüber der Ausnutzung von Zeitpunkten des „Grün Werdens“ oder der „Gelbreife“ von bestimmten Feldfrüchten, die mit für phänologische Normkurven zur Identifizierung von Feldfrüchten eingesetzt werden können, aber erst nach diversen Anpassungsschritten (vergleiche Itzerott & Kaden, 2006), sind die verwendeten allgemeinen statistischen Kenngrößen wie Minimum, Mittelwert, Standardabweichung als robuster einzustufen. Den räumlichen Unterschieden sollte durch eine nachträgliche Überprüfung und Verbesserung der automatisch abgegrenzten Änderungsflächen zwischen Ackerland und Grünland Rechnung getragen werden.

**Tabelle 11: Regelwerk mit den verwendeten Schwellwerten zur Abgrenzung von Ackerland (CLC-Klasse 211) und Grünland (CLC-Klasse 231)**

CLC-Kategorie	Statistik-Parameter	Regel Einzelmasken
211	Minimum	≤ 144
	Mittelwert	≤ 161
	Standardabweichung	≥ 8
231	Minimum	> 138
	Mittelwert	≥ 150
	Standardabweichung	≤ 4

**5.5.6 Waldverteilung bezüglich der Waldklassen (CLC 311, 312, 313, 324)**

Die CORINE Land Cover Nomenklatur unterscheidet bezüglich der Waldflächen die folgenden vier CLC-Klassen:

- Laubwald (311)
- Nadelwald (312)
- Laub-Nadel-Mischwald (313)
- Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)

Nicht mit einbezogen sind dabei die baumbestandenen Flächen innerhalb städtischer Grünflächen (CLC-Klasse 141) im Umfeld von Kommunen, die auch hinsichtlich möglicher Veränderungsprozesse nicht betrachtet werden.

Für die Abgrenzung von Waldflächen gegen landwirtschaftliche Flächen, urbane Flächen und andere Landbedeckungen kann die Waldmaske aus dem ATKIS Basis-DLM (Flacher Layer) als befriedigende Ausgangsbasis hinsichtlich ihrer Aktualität genutzt werden. Für die innere Struktur hinsichtlich der Waldklassen ist aber eine Ableitung mit Hilfe der Satellitenbildinformation zum Referenzjahr 2006 notwendig.

Hinsichtlich der Änderungsprozesse des Waldwachstums, also der Änderungen von 324 zu den Klassen 31x (311, 312, 313), wurde die Ausgangslage in 2006 durch Kombination der CLC-Klassen 2006 (25 ha MKF) mit verfeinerten Informationen aus dem Änderungslayer CLC\_Change (von 2000 nach 2006, mit MKF 5 ha) bezüglich der Verteilung von 324 in 2006 gebildet.

Der andere Hauptprozess hinsichtlich interner Waldklassen-Änderungen ist der Prozess von Sturmschäden und / oder Bestandsentnahmen, gefolgt von Aufforstungen, mit noch vorhandener Verbreitung der Altbestände von 311, 312 und 313 in 2006, aber einem Status von Wald-Strauch-Übergangsstadien (324) in 2009. Eine automatische Erkennung der Änderungen von 2006 nach 2009 ist dabei primär nur für den Übergang von 312 zu 324 (so in Folge von Sturmschäden) möglich, da Laubwaldeinmischungen die Unterscheidung zu Wald-Strauch-Übergangsstadien stark erschweren. Laut den Änderungslayern zwischen 2000 und 2006 wiesen die Änderungen 312->324 gegenüber 313->324 einen etwa 10-fachen Flächenwert aus, gegenüber 311->324 einen fast 30-fachen Flächenwert, so dass eine Konzentration auf die Änderungen von 312 nach 324 auch vertretbar erscheint.

Bei Sturmschäden sind häufig auch zunächst die flach wurzelnden Fichtenbestände (der Klasse 312 zugehörig) betroffen. Ein großer Teil der Änderungen in Waldbeständen zwischen 2006 und 2009 gehen auf das Konto des Orkans Kyrill am 18. / 19. Januar 2007. Von diesem Orkan waren insbesondere Wälder in Nordrhein-Westfalen (insbesondere im Sauerland) und in Nordhessen betroffen, und dabei wiederum in erster Linie Fichtenbestände.

So stellt sich bei den Änderungen in den Waldflächen zu 324 in 2009 primär die Aufgabenstellung, eine Feinverteilung von (noch) Klasse 312 und (schon) Klasse 324 innerhalb der Gesamtbestände in 2006 abzuleiten, um die Flächen mit Änderungen 312-> 324 von den bereits in 2006 schon vorliegenden Wald-Strauch-Übergangsflächen (324) abzugrenzen.

Nach diversen Untersuchungen hat sich der mittlere Infrarotkanal SWIR in den LISS-III oder Landsat Sommermosaik als sehr empfindlich für die Abgrenzung intakter Nadelwald-Altbestände gegenüber Wald-Strauch-Übergangsflächen gezeigt. Dazu wurde für die Waldteilflächen der Klassen 324 und 312 aus dem DLM-DE 2009 deren Flächenverteilung in 2006 bestimmt, mittels Schwellwertverfahren auf Basis des SWIR-Kanals. Allerdings ist bei den Mosaiken dabei eine Voreinteilung nach den Aufnahmezeiten erforderlich, also eine Aufteilung der Mosaikflächen mit getrennten Schwellwertbildungen.

Als Beispiel zeigt die Abbildung 19 die Abgrenzung von intakten Nadelwaldbeständen (312) und Wald-Strauch-Übergangsstadien (324) von Waldgebieten aus dem Sauerland, Makroregion NW, die wahrscheinlich auch von Sturmwurfeschäden nach Kyrill betroffen waren.

Für die Erzeugung der thematischen Waldlayer ist es abschließend erforderlich, die verfeinerten Verteilungen der Klassen 312 und 324 mit den anderen Zwischenprodukten für die Klassen 311 und 313 (mit 25 ha und 5 ha MKF) zusammenzubringen und auch diese mit entsprechenden Verschneidungen auf verfeinerte thematische Rasterlayer zu bringen.

### 5.5.7 Nur regional verbreitete Landbedeckungen (CLC 222, 321, 331, 333)

Bei den am meisten verbreiteten 46 Änderungen, basierend auf dem Zeitraum 2000 bis 2006 (siehe Kap. 3.2), spielen einige Landbedeckungsklassen, die mit automatischen Verfahren nur schwer von anderen CLC-Klassen zu unterscheiden sind, eine Sonderrolle. Die entsprechenden Übergänge haben in den folgenden CLC-Klassen ihren Ursprung:

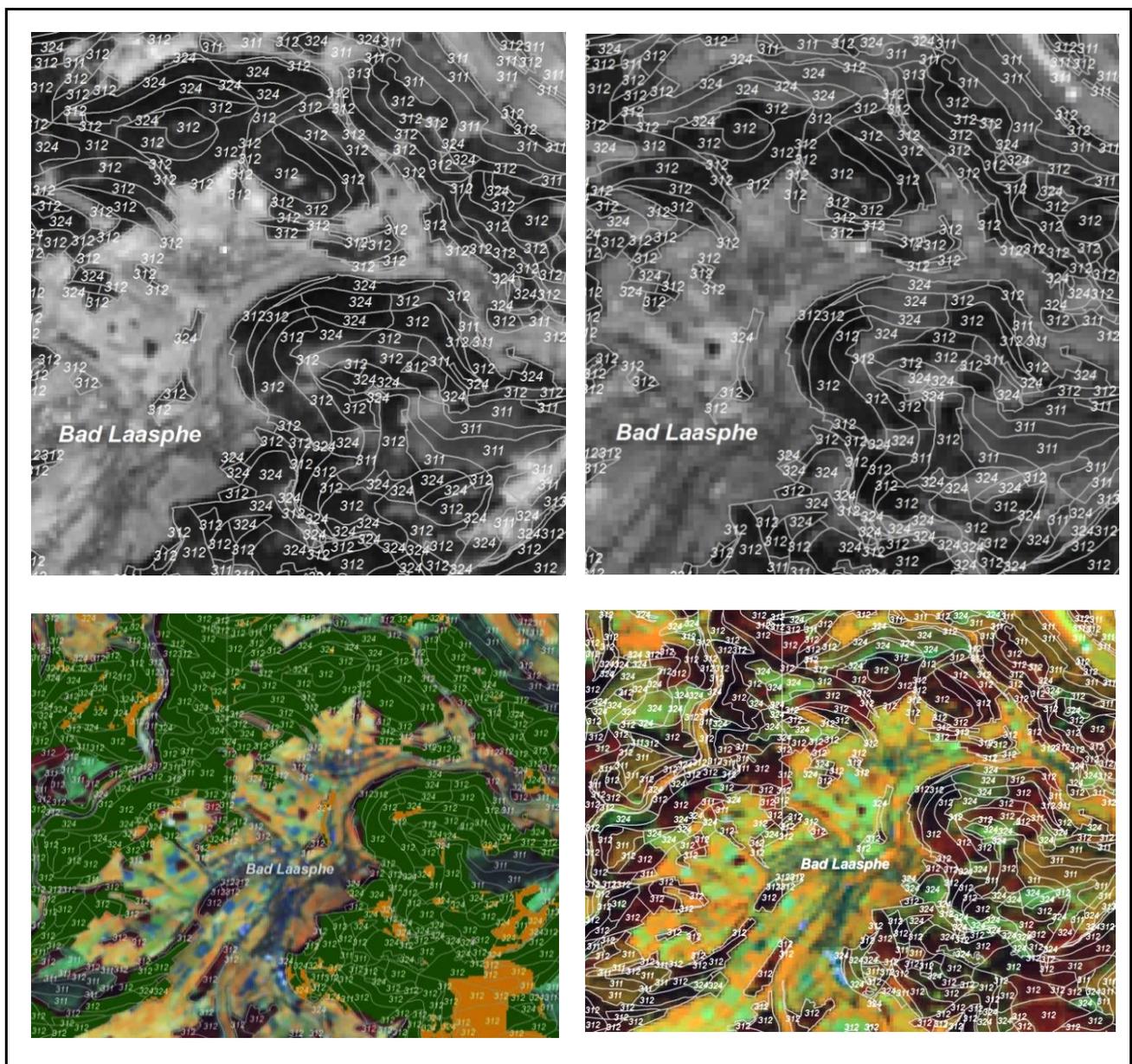
- Dauerkulturen Obstanbau (222)
- Strände, Dünen und Sandflächen (331)
- Flächen mit spärlicher Vegetation (333)
- Natürliches Grünland (321)

Meist kommen diese Landbedeckungskategorien eher regional vor, so die Dauerkulturen mit Obstanbau (222) häufig in klimabegünstigten Fußlagen von Mittelgebirgen, die Strände, Dünen und Sandflächen (331) primär im Küstenbereich an der Nordsee, oder die Flächen mit spärlicher Vegetation (333) insbesondere im Zusammenhang mit der Renaturierung stillgelegter Abbaufelder oder bezüglich Sukzessionsstadien auf ehemaligem militärischen Übungsgelände.

Um auf alle Fälle die großen Flächen dieser Klassen mit in die Polygone potentieller Änderungsflächen einbeziehen zu können, wurden die entsprechenden Polygone von CLC2006 (mit 25 ha MKF) direkt in thematische Rasterlayer, in der Form von 0-1-Masken, umgewandelt. Diese vier thematischen Layer haben damit

einen Stellenwert wie die anderen acht thematischen Rasterlayer, die auf der Basis höher aufgelöster satellitenbasierter Produkte ebenfalls als 0-1-Masken erstellt wurden, den Abbauflächen (131) und Baustellen (133), den Acker- und Grünlandflächen (211 und 231) sowie den vier Waldlayern (311, 312, 313, 324).

Abbildung 19: Ermittlung der Verteilung von Nadelwald (312, grün) und Wald-Strauch-Übergangsflächen (324, orange) zum Status 2006 (u. l.), unter Nutzung des mittleren Infrarotkanals (SWIR) von LISS-III Frühjahr 2006 (o. l.). - Zum Vergleich ist rechts eine Landsat-Szene vom Sommer 2009 dargestellt, oben rechts mit dem SWIR Kanal, unten rechts mit den Kanälen 4,5,3 (RGB), Überlagerung: DLM-DE2009 für Wald. Region: Sauerland, Nordrhein-Westfalen. Änderungsflächen (aufgrund von Sturmschäden) treten insbesondere im nördlichen Bereich unterhalb des Bildrandes auf. Quellen: Satellitendaten © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III); Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de).



## 5.6 Integration der Informationen aus DLM-DE 2009, den Satellitendaten aus 2006 und den abgeleiteten thematischen Informationslayern

Durch die Erzeugung der 12 thematischen Rasterlayer, die die thematische Information zum Jahr 2006 tragen und jeweils einer CLC-Klasse entsprechen (siehe vorheriges Kapitel), sind die Teilnehmer-Klassen in 2006 an den hauptsächlichen Änderungen und deren räumliche Verteilung in 2006 ermittelt. Zur Modellierung des Backdating-Datensatzes bleiben folgende Aufgaben:

- Ermittlung der potentiell von Änderungen betroffenen Polygone im Gerüst der Geometrie von DLM-DE 2009,
- Feststellung, welche Polygone gänzlich (bzw. in entsprechender Dominanz) einen Übergang zu einer anderen CLC-Klasse in 2006 anzeigen,
- Unterteilung der Polygone, die in Teilbereichen von Änderungen zwischen 2006 und 2009 betroffen sind, mit Hilfe von Segmentierungsverfahren und unter Nutzung geeigneter hochauflösender Satellitendaten,
- Zuordnung der jeweiligen dominanten CLC-Klasse laut der thematischen Rasterlayer zu den ermittelten Untersegmenten.

Der Arbeitsablauf mit dem entsprechenden Datenfluss ist als Übersichtsgraphik in Abbildung 20 dargestellt, die Schritte der Prozessierung werden im Folgenden erläutert.

### 5.6.1 Identifizierung von DLM-DE 2009 Polygonen mit potentiellen Änderungen

In Anbetracht der großen Anzahl der Polygone im DLM-DE 2009 und im Hinblick auf eine angemessene Verarbeitungszeit hat sich gezeigt, dass für den Schritt der Segmentierung die Vorauswahl der potentiell von Änderungen betroffenen Polygone notwendig ist. Für Makroregionen mit einer großen Anzahl von Polygonen ist statt der Arbeitseinheit der Makroregion auch eine Aufteilung in zwei oder drei Untereinheiten nötig.

Für die eindeutige Identifizierung der Polygone im Eingangsdatensatz des DLM-DE 2009 wurde ein zusätzliches Attribut eingeführt, die „DLR User ID“, bezeichnet als „DLR\_UID“. Diese DLR\_UID soll es ermöglichen, auch bei der Aufteilung der Polygone eine Zurückverfolgung auf die ursprünglichen Polygone zu gestatten. Die DLR\_UID wurde als („unsigned“) 32-Bit Variable eingeführt, als zunächst laufende Nummer, die aber mit dem Wert 100 multipliziert wurde. Damit wurden theoretisch 99 Unterteilungen pro Eingangspolygon gestattet, die dann statt der glatten 100er Werte in Subsegmenten jeweils um 1er Werte hochzählen.

Für die Vorauswahl dieser Polygone ist pro Polygon jeweils der prozentuale Anteil an den CLC-Klassen aus den zwölf thematischen Rasterlayern (in der Folge auch „thematische Informationslayer“ genannt) zu ermitteln, im Vergleich zu der CLC-Klasse im Status von 2009. Für diese Berechnung der „zonalen Statistik“ wurde eine Kombination von Verfahren gewählt, die zur Reduzierung der Rechenzeit zunächst die Vektordaten der DLM-DE 2009 Subsets in Rasterdaten umwandelt, in genau den gleichen Ausschnitten, in denen die thematischen Layer vorlagen. Als Pixelwert wurde dabei die DLR\_UID verwendet. Die Umwandlung in Rasterdaten erfolgte unter ArcGIS.

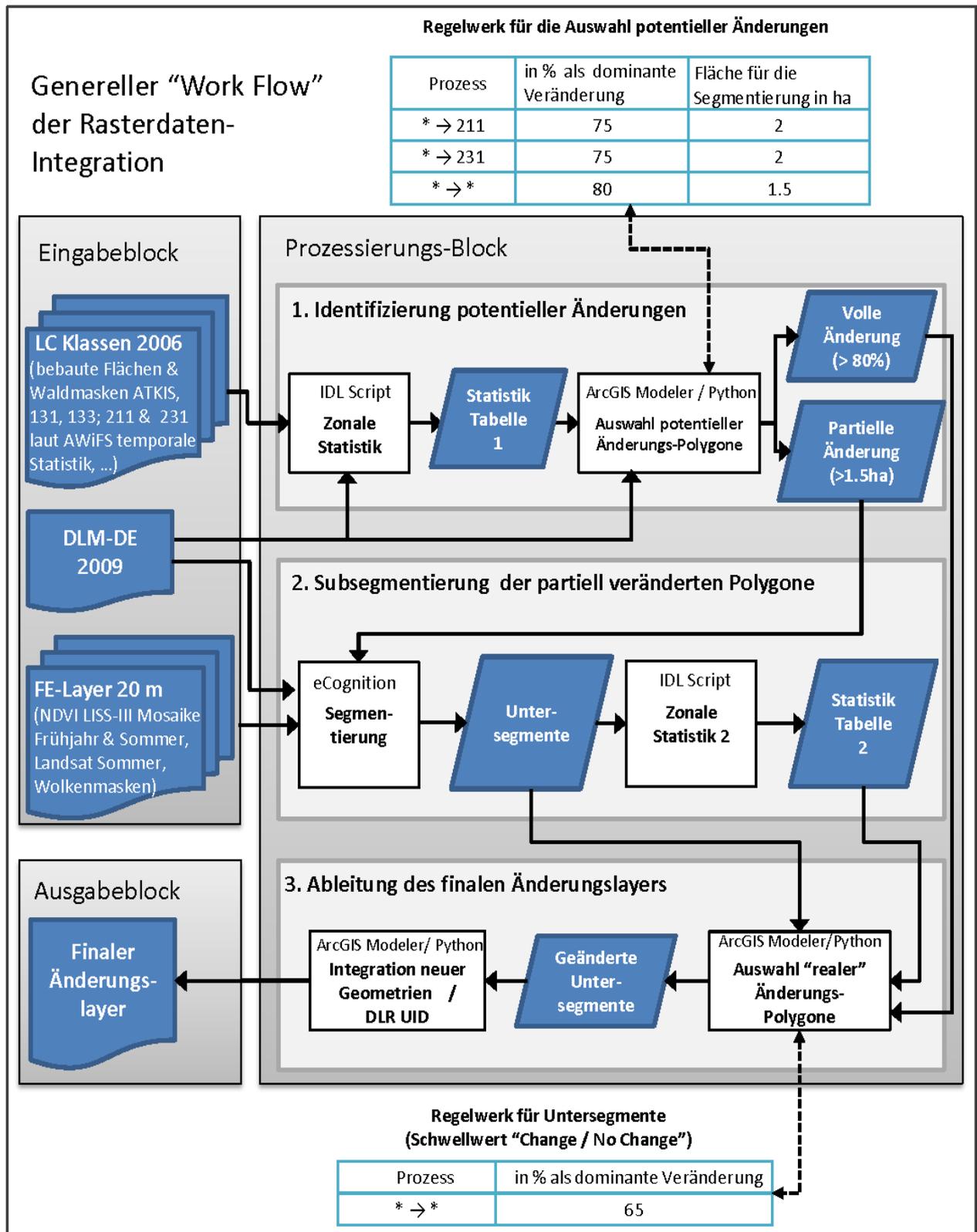
Für die Ermittlung der zonalen Statistik wurde ein IDL-Skript erstellt, mit dem Input der gerasterten DLM-DE 2009 Subsets und der DLR\_UID als Pixelwert sowie der ebenfalls als Rasterdaten vorliegenden 12 thematischen Informationslayern (als 0-1 Masken). Als Ausgabe der zonalen Statistik diente jeweils eine Tabelle im dbf-Format.

Für die Auswertung dieser Tabelle zur Markierung der Polygone mit potentiellen Änderungen kam ein Python-Skript unter ArcGIS zum Einsatz. Die ausgewählten Polygone wurden dabei in zwei Gruppen bezüglich der Art der Änderungen eingeteilt (vergleiche Abbildung 20):

- in Änderungspolygone mit dominanter Änderung, bei der die Geometrie erhalten bleibt, hier dominiert eine neue CLC-Klasse bei mindestens 80% Flächenanteil (bzw. 75% in landwirtschaftlichen Klassen),
- und in potentielle Änderungspolygone mit partiellen Änderungen (mit neuen Anteilen ab 1,5 ha Größe), in denen eine Aufteilung des Polygons für die verschiedenen Beiträge notwendig wird.

An diesen ersten Prozessierungsblock (Polygonauswahl) schließt sich die Segmentierung an.

Abbildung 20: Verarbeitungsablauf bei der Integration von Satellitenbilddaten, thematischen Rasterebenen und den Inputdaten der DLM-DE 2009 Vektordatenbasis



### 5.6.2 Segmentierung / Untersegmentierung der betroffenen DLM-DE 2009 Polygone

Die zur Segmentierung verwendete eCognition Software bietet die Möglichkeit, mehrere Hierarchien von Segmentierungen in unterschiedlichen Auflösungsebenen („Multi-Resolution Segmentation“) durchzuführen (Esch et al., 2008) und auch eine schon vorhandene erste Ebene von Segmenten als Basis (z. B. nach Importierung von Polygon-Shapefiles) durch Verknüpfung mit entsprechenden Rasterlayern weiter zu unterteilen. Diese Option wurde im Projekt genutzt, um die ausgewählten DLM-DE2009 Polygone mit den verfügbaren Satellitendaten in 20 m Auflösung zusammenzubringen.

Für jede Makroregion standen jeweils drei Mosaik zur Verfügung:

- Mosaik Sommeraspekt LISS-III mit Wolkenmasken,
- Mosaik Frühjahrsaspekt LISS-III mit Wolkenmasken,
- Mosaik Sommeraspekt Landsat-5 Thematic Mapper mit Wolkenmasken.

Nach diversen Voruntersuchungen wurde ein Regelwerk gewählt, das in einer bestimmten Hierarchie jeweils auf abgeleiteten NDVI –Werten im Sommeraspekt und im Frühjahrsaspekt zur Abgrenzung spektral unterschiedlicher Einheiten der Landbedeckung aufsetzt.

- Erster Schritt: Integration der als potentiell von Änderungen betroffenen Polygone von DLM-DE 2009 (->Segmentebene 1),
- Zweiter Schritt: Untersegmentierung der Segment-Ebene 1 mittels NDVI LISS-III Sommer Daten (->Segmentebene 2), Merker für Datenlücken aus Wolkenmaske 1,
- Dritter Schritt: Untersegmentierung der Segment-Ebene 2 mittels NDVI LISS-III Frühjahr Daten (->Segmentebene 3), Merker für Datenlücken aus Wolkenmaske 2,
- Vierter Schritt: Untersegmentierung der Bereiche aus Datenlücken aus Wolkenmaske 1 und Wolkenmaske 2 mittels NDVI Landsat 5 Sommer-Daten (->Segmentebene 4),
- Fünfter Schritt: Ausgabe der Untersegmente im Shape-Format.

Die Untersegmente beruhen also auf den IMAGE2006-Daten sowie den Landsat-Daten in den Mosaiken, die thematische Information muss aber noch in diese Untersegmente integriert werden, wieder auf Basis der 12 thematischen Informationslayer.

Ein zweites Mal wird die Ermittlung der zonalen Statistik (in Form des IDL-Scripts) eingesetzt, wiederum auf zuvor in Rasterdatensätze umgewandelte Untersegmente. Die Flächen der Untersegmente bekommen dabei ihre neue DLR\_UID, die als Ableger der ursprünglichen DLR\_UID durch Hochzählung von jeweils 1 erzeugt wird (siehe Kapitel 3.6.1).

### 5.6.3 Auswertung der zonalen Statistiken zur Klassenzuordnung und Ausgabe der Änderungspolygone

Unter Einsatz des Python-Skriptes (unter ArcGIS) wird nun auf die Statistik-Tabelle 2 mit den Einheiten aus der Untersegmentierung zugegriffen und für jede Einheit unter Nutzung von Majoritätskriterien bestimmt, ob ein Änderungspolygon und zu welcher CLC-Klasse es für das Jahr 2006 vorliegt. Hinsichtlich der Untersegmente wurde ein Schwellenwert von 65% beim Flächenanteil als Kriterium für eine reale Änderung zugrunde gelegt. Die entsprechende CLC-Klasse wird in einem Attribut CLC\_ST06 aufgenommen.

Für die Teilflächen, die nach Unterteilung der potentiellen Änderungspolygone keiner realen Änderung zugeordnet werden, wird der Status im Attribut CLC\_ST06 auf „0“ gesetzt, auch diese Teilfläche wird mit einem eindeutigen Attribut DLR\_UID versehen. Der Grund ist, dass auch diese Teilflächen mit den abgeleiteten partiellen Änderungsflächen zusammen später in den Datensatz CLC2006\_Backdating einfließen.

Die neuen Untergrenzen der betroffenen Polygone aus den Mosaik-Daten resultieren zunächst in treppenförmigen Linienführungen. Entsprechende Glättungsalgorithmen in ArcGIS, die sich an den Geometrien der in der Nachbarschaft liegenden Polylinien-Bereiche der Ausgangspolygonen orientieren, führen dann aber dazu, dass in den meisten Fällen nur die neuen Linien aus den Segmentierungen die ursprünglichen Pixelgrenzen erkennen lassen (siehe Abbildung 21).

Ein Ergebnisbeispiel der Änderungserfassung mit den potentiellen Polygonen und denen des resultierenden Endergebnisses zeigt Abbildung 22.

Abbildung 21: Einarbeitung der thematischen Informationslayer in die Untersegmente und resultierende geglättete Polygone für den Veränderungslayer. Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie ([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

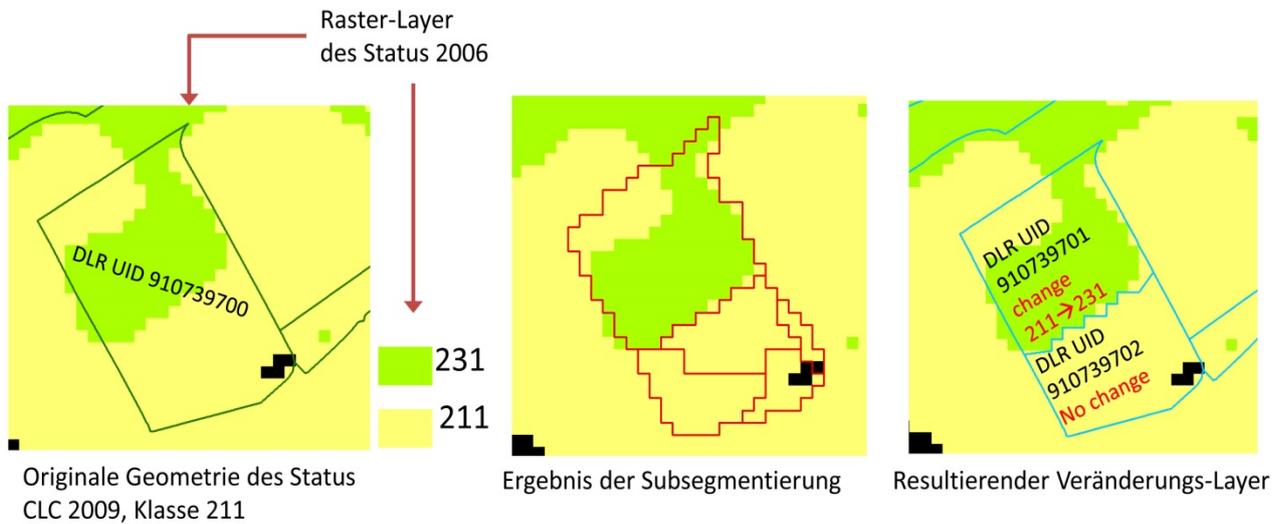
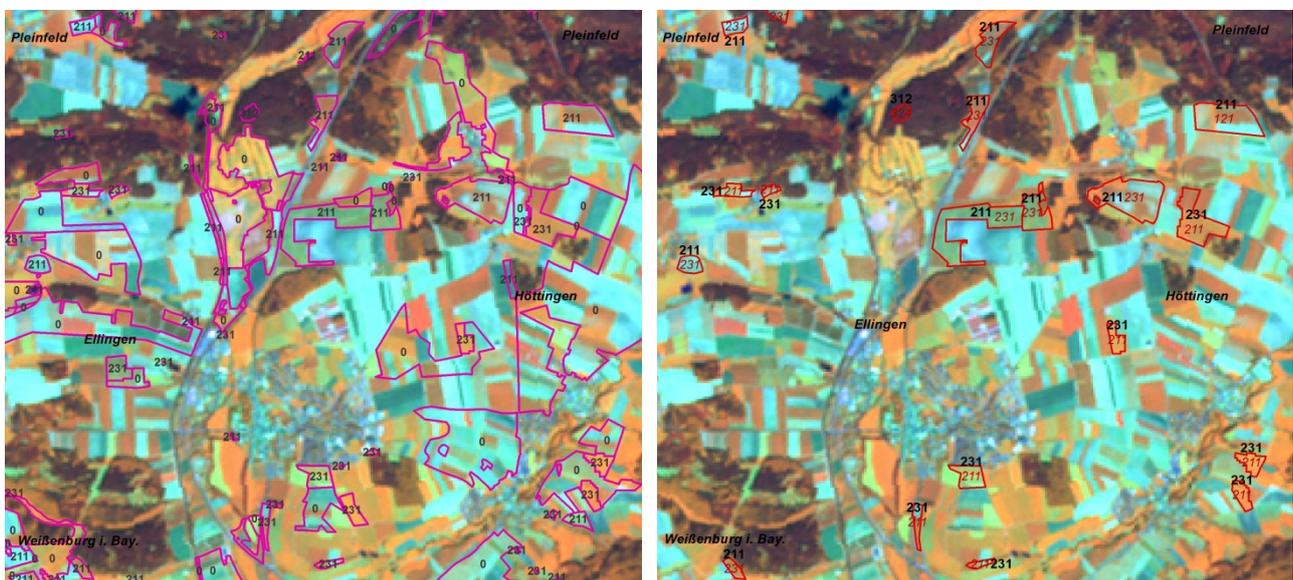


Abbildung 22: Beispiel für ein Ergebnis der Änderungserfassung – links inklusive potentieller Änderungsflächen mit Teilen ohne Änderung (CLC\_ST06 = 0), rechts das Endergebnis (in schwarz: Status in 2006; in rot kursiv: Status in 2009), Hintergrund: LISS-III Sommerszene. Quellen: Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III). Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie ([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).



## 5.7 Plausibilitätschecks und Verbesserung der Änderungspolygone

Die automatische Verarbeitung zur Abgrenzung von Änderungspolygonen im Vergleich zum DLM-DE 2009 führt zu einem Änderungslayer, der infolge der partiellen Änderungsflächen auch die zugehörigen anderen Teilpolygone enthält (diese sind flächenmäßig oft weit größer als die eigentlichen Änderungsflächen). Daneben resultieren aber auch eine Menge kleiner Polygone unter 1 ha, die zum Teil durch geringe Unterschiede in den aus dem Basis-DLM\_flach 2006 abgeleiteten Waldmaske und Bebauungsmaske zu den entsprechenden Einheiten in 2009 hervorgerufen sind, z. B. wegen der im Datensatz Basis-DLM\_flach 2006 nicht als

Flächenpolygone enthaltenen Straßen und Eisenbahnlinien. Häufig resultieren längere lineare Objekte begleitend zu den „Lücken“ der Straßen, die als Straßenbegleitgrün den CLC-Klassen 231 oder 324 in 2009 zugeordnet sind. Dies machte notwendig, vor weiteren Plausibilitätschecks und Veränderungen an den Änderungspolygonen diese hinsichtlich ihrer Flächengröße und ihrer Form zu überprüfen und entsprechend zu kennzeichnen.

Insgesamt wurde die Strategie verfolgt, bei den Checks die ursprünglich erhaltenen Änderungspolygone in einem Attribut in diversen Kategorien zu charakterisieren, aber diese zu erhalten und erst in einer letzten Stufe nach bestimmten Kriterien auszusortieren.

### **Automatische Kennzeichnungen:**

Zunächst wurden in einem Attribut „CH\_SWITCH“ kleine Polygone mit Flächen unter 0,5 ha sowie zwischen 0,5 ha und 1,0 ha durch Kennziffern markiert, um diese zunächst von Plausibilitätschecks auszuklamern.

Weitere Markierungen in „CH\_SWITCH“ wurden für mehrere Kategorien länglicher Objekte vergeben. Dazu wurde ein Formparameter „rat\_area\_1“ als Ratio von der Polygonfläche zu seinem Umfang gebildet und nach diversen Tests als Schwellwert festgelegt, dass alle Polygone mit  $\text{rat\_area\_1} < 20$  als „schmale Objekte“ behandelt wurden. Weitere Einstufungen der schmalen Objekte bezogen sich auf ihre Flächenwerte, zwischen 1 ha und 2 ha, zwischen 2 ha und 3 ha, bis zu Größen von über 8 ha. Die großflächigen als schmal markierten Polygone von über 5 ha bestanden häufig aus einer breiteren Teilfläche mit einem Lineamentartigen schmalen Fortsatz. Diese Art der Polygone wurde überprüft und wenn nötig auch aufgeteilt.

Durch die Markierung (ohne Entfernung aus dem Datensatz) standen die kleinflächigen und die schmalen Polygone in komplizierten Änderungssituationen auch weiter zur Verfügung, um sie in geeigneter Form bei entsprechenden Nachbarschaften mit zur Beschreibung der Änderungsprozesse einzubeziehen.

Formell konnten weiterhin die Polygone speziell markiert werden, deren CLC-Kategorie für 2006 im Attribut CLC\_ST06 auf „0“ standen oder die identisch mit dem CLC-Status in 2009 (Attribut „CLC\_UPD13“) waren (als Teilfläche ohne Änderung).

Alle weiteren Polygone erhielten zunächst einen temporären „CH\_SWITCH“ Wert von 88, um alle so markierten Polygone dann diversen Prüfungen oder manuellen Änderungen zu unterziehen und je nach Resultat dann den Wert von CH\_SWITCH anzupassen.

### **Plausibilitätsprüfungen:**

Im Folgenden wird eine Reihe von ermittelten Änderungskategorien aufgelistet, die im Zuge des automatischen Verarbeitungsansatzes entstehen und häufig keine echten Änderungen darstellen – eine Überprüfung und entsprechende Aktion ist aber, wie die Praxis gezeigt hat, notwendig (in der Kurzbeschreibung der Änderungskategorien steht der Status in 2006 links und der Status in 2009 rechts):

211-> 142 und 231 -> 142: Da Sport- und Freizeitflächen (CLC-Klasse 142) meist in keiner der Masken wie Bebauungsmaske und Waldmaske von 2006 enthalten sind, werden deren Flächen von der Schwellwertklassifizierung von Ackerland und Grünland (211 und 231) mit erfasst und dadurch falsche Änderungen hervorgerufen. So werden z. B. Segelflugplätze als Teil von 142 in 2006 naturgemäß der Klasse 231 zugeordnet, es liegt dann keine Änderungsfläche vor. Um den Änderungsprozess der Neubildung von Golfplätzen auf landwirtschaftlichen Flächen zu erfassen, ist aber ein Check mittels Zoom und eventuell Zusatzinformation aus Webdiensten notwendig.

211-> 242 und 231 -> 242: Durch die Einbeziehung eines möglichen Änderungsprozesses 231 -> 242 (Rang 17 in Tabelle 7), dem aber keine abgeleitete 242-Kategorie in 2006 entspricht, werden diverse Änderungsflächen angezeigt, die meist keine echten Änderungen beinhalten. Zum geringen Teil zeigen sich aber in den zugeordneten 231 Flächen eine dominante Grünlandnutzung, die dann einer echten Änderung entspricht (in DLM-DE 2009 kommt bei den 1 ha Mindestkartierfläche die heterogene landwirtschaftliche Klasse 242 nur in geringem Ausmaß vor).

xxx-> 512: Angezeigte Änderungen von diversen CLC-Klassen in 2006 zu Wasserflächen beruhen meist auf nicht als Teil der Wasserflächen ausgewiesenen Mischpixeln in der Wassermaske, so dass diese Bereiche als Untersegmente und Änderungen eingegangen sind. Eine Überprüfung mittels einer Vergrößerung, kombiniert mit einer Überlagerung auf den IMAGE2006 Daten, ist aber erforderlich, da als Abbaugelände oder auch als Ackerflächen in 2006 ausgewiesene Polygone eine Änderung zu Baggerseen mit sich bringen

können. Eine andere Form der Änderungen kann die Wiedervernässung von Wiesenflächen oder Sumpfbieten sein.

222 -> 211 und 222 -> 231: Die Transformation von Dauerkulturen mit Obstanbau zu Ackerflächen wurde bei der automatischen Erfassung direkt von den 222-Flächen der CLC2006-Kartierung (25 ha MKF) abgeleitet. Diese grobe Erfassung in 2006 muss überprüft werden auf Basis der Satellitendaten von 2006 und eventuellen Zusatzdaten. Bei regionaler Vorgehensweise können dabei auch benachbarte Polygone außerhalb der Erfassung in CLC2006 (25 ha MKF) berücksichtigt werden, die eventuell fälschlich den Status Grünland in 2006 anzeigen.

### **Weitere Überprüfungen und Korrekturen:**

Bei den abgeleiteten Änderungsflächen in der Landwirtschaft, mit der Zuordnung der Acker- und Grünlandflächen in 2006 (Austauschprozesse 211<=> 231) hat sich herausgestellt, dass eine ganzflächige Überprüfung notwendig ist, um die angezeigten Änderungen als echt / nicht echt zu markieren. In Sondersituationen hinsichtlich der Landschaftsausprägung können die gesetzten Schwellwerte zur Abgrenzung 211 / 231 zu Fehlzuordnungen führen. Dazu hat sich die Markierung und Exportierung dieser Typen von Änderungsflächen (211 -> 231 und 231 -> 211) und deren getrennte Überprüfung bewährt. Diese Änderungspolygone in der Landwirtschaft wurden durch ein systematisches Abfahren in Maßstabsbereichen von 1:30000 bis 1:40000 kontrolliert und entsprechend markiert, unter Zuhilfenahme von definierten Prüfstreifen. In diesem Prüfschritt wurden auch bei Bedarf Polygone mit unterschiedlichen ähnlich großen Anteilen von 231 und 211 manuell aufgeteilt und neu zugeordnet.

In die Gesamtentscheidung, ob eine angezeigte Änderungsfläche als echte oder als keine Änderung markiert wurde, ging einmal die Hintergrundinformation der temporalen AWiFS Statistik ein, aber daneben auch die drei hochaufgelösten Satellitenbildszenen in der Kanalkombination (NIR, SWIR, V-R) in RGB-Darstellung, also die LISS-III Sommer-Daten, LISS-III Frühjahr-Daten und Landsat Sommer-Daten. Nach Bedarf wurde auch mit weiteren Informationsebenen aus dem Internet, wie dem Google Earth Archiv, verglichen. Die Abbildung 23 zeigt die genutzten GIS-Ebenen bei der Überprüfung der Veränderungslayer in der Landwirtschaft.

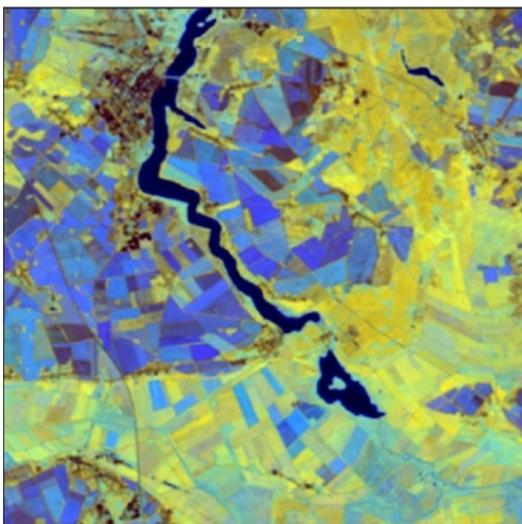
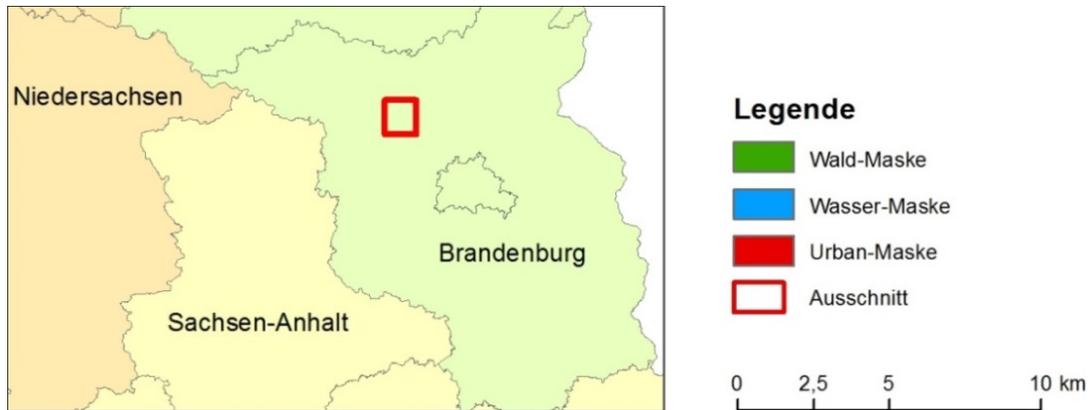
Eine Häufung von scheinbaren Änderungen 211 -> 231 oder auch 231 -> 211 kann auch begründet sein in einer unbefriedigenden damaligen Datenlage 2009 hinsichtlich der Ackerland-Grünland-Trennung, so dass es wegen nicht ausreichenden multi-saisonalen Überdeckungen zu Überschätzungen oder Unterschätzungen von Grasland oder auch Ackerland zum Referenzjahr 2009 gekommen war und damit zu scheinbaren Änderungsflächen zwischen 2006 und 2009. Bei solchen möglichen Situationen ist es dann eher wichtig, den Status in 2006 gut zu bestimmen im Hinblick auf den Vergleich mit dem Status in 2012.

Fehler bei der automatischen Erfassung der Verteilung der Klassen 211 und 231 und damit auch fehlerhafte Änderungsflächen gegenüber dem DLM-DE2009 traten häufiger bei Wiesenflächen in Flussauen auf. Dies liegt häufig darin begründet, dass periodenweise, meist im Frühjahr, Hochwasserstände die temporalen Kennlinien im NDVI des AWiFS empfindlich stören und dann insbesondere der Wertebereich (und die Standardabweichung) in die Größenordnungen wie bei Ackerflächen übergeht.

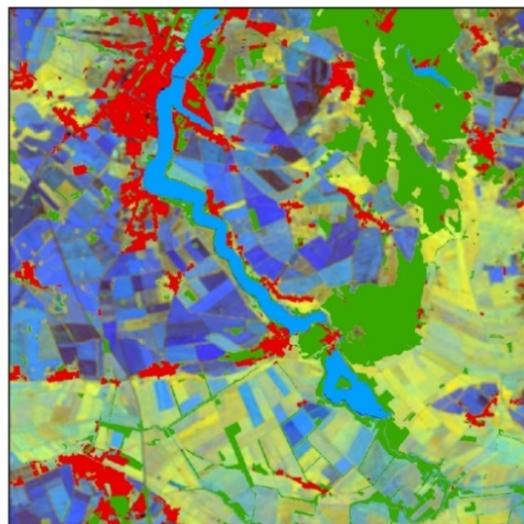
Ein Beispiel, dass große Einflüsse in den temporalen Statistiken der Überschwemmungsbereiche in den Flussauen der Havel zeigt, ist in Abbildung 24 dargestellt. Erst bei der vergleichenden Überprüfung anhand der LISS-III-Szenen (Frühjahr / Sommer) sowie der Landsat-Szene wird die Störung der temporalen NDVI-Statistik sichtbar. Diese würde Fehlzuweisungen zu Ackerland hervorrufen. Die Änderungspolygone begrenzt auf landwirtschaftliche Flächen wurden nach der Markierung echter / nicht echter Änderungspolygone nachträglich wieder mit den Gesamtänderungsflächen mittels der Software ArcGIS (Update-Funktion) zusammengefügt.

Bei anderen Änderungsklassen, z. B. im Umfeld der Änderungsprozesse im Wald oder auch bei Abbaugebieten, wurden die Checks zunächst für die flächenmäßig größten Änderungspolygone durchgeführt, dann herunter bis etwa 5 ha oder auch 3 ha Fläche. Teilweise wurden diese Checks auch kombiniert mit Überprüfungen bestimmter Regionen mit Anzeichen für Fehlzuordnungen.

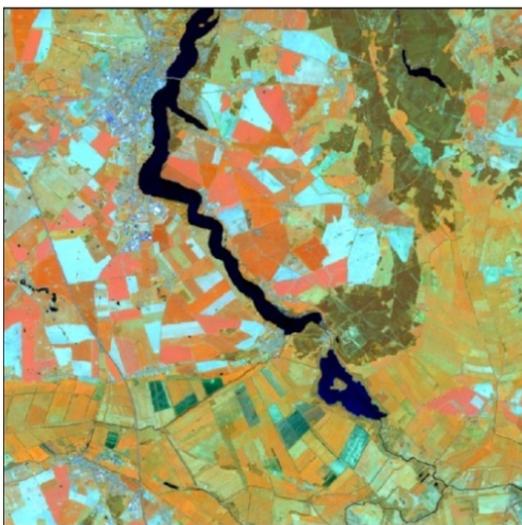
Abbildung 23: Datengrundlage für die manuelle Verbesserung der generierten Veränderungsflächen am Beispiel eines Ausschnitts der Makroregion MV (Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg): Temporale Statistik der AWiFS NDVI Zeitreihen; diese mit Wald-, Wasser, Urban-Maske überlagert; Satellitendaten von LISS-III (Frühjahr und Sommer). Quelle Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III).



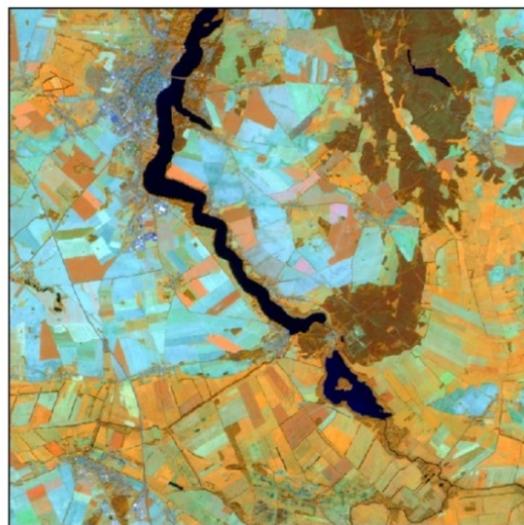
Temporale Statistik (AWiFS NDVI Zeitreihe)



Temporale Statistik mit Überlagerung der Waldmaske, Wassermaske und Urbanmaske

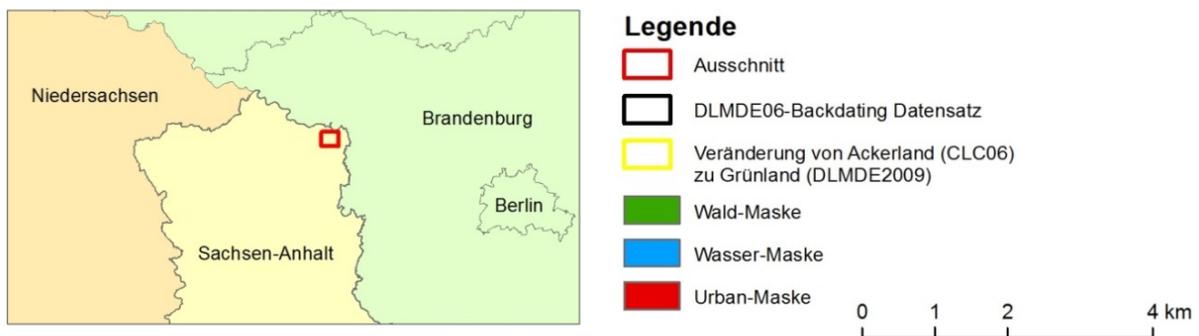


Mosaik - LISS-3 Frühjahr

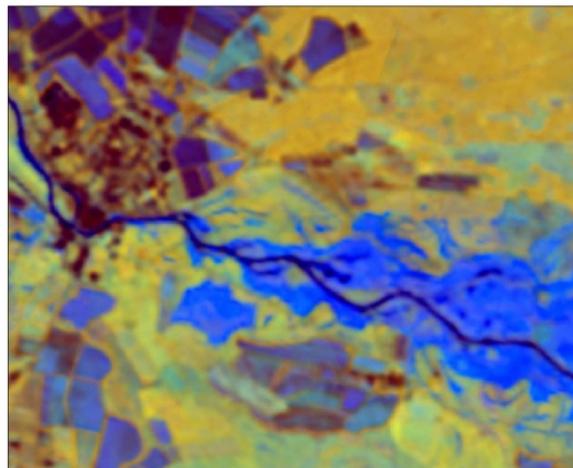


Mosaik - LISS-3 Sommer

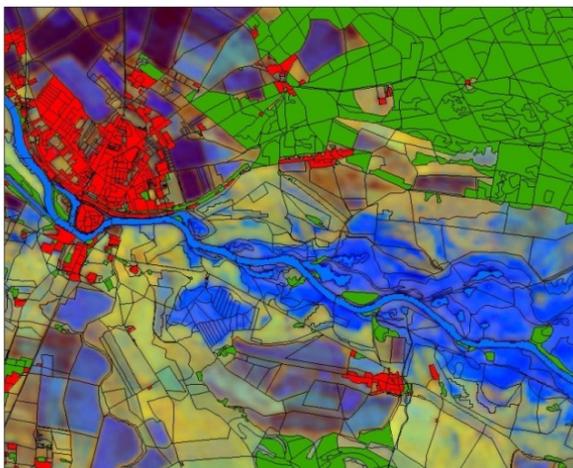
Abbildung 24: Veränderungen von Ackerland (CLC 211) in 2006 zu Grünland (CLC 231) in 2009 an einem Beispiel im Gebiet der Hansestadt Havelberg in der Makroregion ST: Daten von LISS-III (Sommer, o. l.); Temporale Statistik der AWiFS NDVI Zeitreihen (o.r.); diese (u. l.) überlagert mit Wald-, Wasser, Urbanmaske und dem Datensatz DLM-DE2006\_Backdating, (u. r.) mit markierten Änderungen von Ackerland zu Grünland. - Man beachte die blau erscheinenden Grünlandflächen im Havelgebiet, die wahrscheinlich vom Frühjahrshochwasser mit entsprechenden temporalen Veränderungen des NDVI resultieren und fälschlicherweise Ackerland anzeigen könnten. Quellen: Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III, AWiFS). Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de).



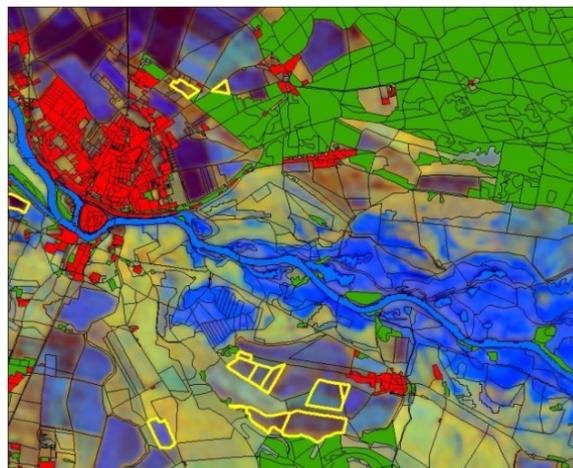
Mosaik LISS-3 Sommer



Temporale Statistik (AWiFS NDVI Zeitreihe)



Temporale Statistik mit Überlagerung der Waldmaske, Wassermaske und Urbanmaske und den DLMDE06-Backdating Datensatz



Temporale Statistik mit Überlagerung der Wald-, Wasser- und Urbanmaske und den DLMDE06-Backdating Datensatz. Gelb markiert: Veränderung von Ackerland (2006) zu Grünland (2009)

Bei den verschiedenen intensiven Inspektionen der einzelnen Gruppen von Änderungsklassen, die außer den vorsortierten zu kleinen und den schmalen Polygonen zunächst im Attribut CH\_SWITCH mit „88“ markiert worden waren, wurden diese sukzessive mit Zahlencodes zu echten oder nicht echten Änderungen versehen. Ein neues Attribut „CLC06\_IM“ wurde genutzt, um den verbesserten Status in 2006 festzuhalten, bei echter Änderung wurde es mit dem abgeleiteten Änderungsstatus in 2006 oder einem anderen festgestellten belegt, bei keiner Änderung wurde der Status von 2009 (aus dem Attribut CLC\_UPD13) übernommen.

Basierend auf diesen überprüften Polygonen, wurden dann einmal die Änderungen gegenüber 2009 abgeleitet, und zum anderen die ganz oder teilweise hinsichtlich der Geometrie oder der thematischen Zuordnung behandelten Polygone mittels mehrerer GIS-Schritte mit der DLM-DE2009 Datenbasis zusammengebracht und die Datenbasis DLM-DE\_2006\_Backdating erzeugt.

## 6 Beispiele von Ergebnisprodukten

Nach Abschluss der Überprüfungen und manuellen Verbesserungen der Änderungsflächen zum Stand 2006 (gegenüber der Datenbasis DLM-DE 2009) ergaben sich für die Makroregionen Anteile der Änderungsflächen an der Gesamtfläche zwischen ca. 2 % und 3 % (Tabelle 12). Dabei wurden in den Küstenregionen die Flächen der Meeresgewässer und Gezeitenzonen (CLC-Klassen 423, 521, 522, 523) nicht in die Bilanzierung mit einbezogen. Der relativ hohe Anteil an Änderungen in der Makroregion SH (Schleswig-Holstein und Niedersachsen sowie Hamburg und Bremen) resultiert vor allem aus ermittelten Änderungen auf den landwirtschaftlichen Flächen (mit Änderungen in beiden Richtungen).

Tabelle 12: Anteil der Änderungsflächen im CLC2006\_Backdating Datensatz an der Gesamtfläche der jeweiligen Makroregionen.

Makroregion	Gesamtfläche		Veränderungen (Change)		
	Gesamtfläche (km <sup>2</sup> )	Anzahl Polygone	Anteil Änderungen (Fläche in km <sup>2</sup> )	Flächenanteil Änderungen (%)	Change (Anzahl Polygone)
BW (BW)	35752,0	2024336	691,40	1,93	25431
BY (BY)	70725,0	1524160	1652,6	2,34	42712
MV (MV, BB, BE)	53714,5	1187757	1357,3	2,53	19564
NW (NW, SL, RP, HE)	77678,4	3592470	1636,4	2,11	53080
SH (SH, HH, NI, HB)	63741,2	1992042	1994,2	3,13	51597
ST (ST, SN, TH)	55279,0	1695683	1101,5	1,99	22916

Für einige Typen von Änderungen sollen in der Folge einige Ergebnisse von Änderungsflächen gegenüber dem Stand von DLM-DE 2009 gezeigt werden.

Die Abbildung 25 zeigt eine Region im Südosten von Baden-Württemberg mit Änderungsflächen in der Landwirtschaft. Dargestellt sind jeweils Überlagerungen der Polygongrenzen auf den Satellitendatenprodukten von 2006 und 2009, mit den Labeln der Änderungsklassen laut CLC. Das Bild rechts unten zeigt im Hintergrund die drei Statistik-Kanäle der temporalen NDVI-Statistik (Minimum, Mittelwert, Standardabweichung) in RGB-Präsentation.

In einem weiteren Beispiel sind für eine Teilregion in Nordrhein-Westfalen Änderungspolygone im Wald im Zusammenhang mit dem Orkan Kyrill im Januar 2007 dargestellt, der damals große Flächen im Sauerland, aber auch im angrenzenden Nordhessen verwüstet hat (Abbildung 26). Andere Änderungsflächen sind infolge von Übergängen von Aufforstungen (Klasse 324) in die älteren Waldklassen (311, 312, 313) entstanden, etwa auf früheren Sturmwurfflächen der 1980er und frühen 1990er Jahren.

Abbildung 25: Ergebnis bei der Abgrenzung von Änderungen in der Landwirtschaft, Region Aulendorf, Landkreis Ravensburg. Zu den CLC-Klassen siehe Abbildung 1. Quelle Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III, AWiFS); USGS/NASA (Landsat).

---

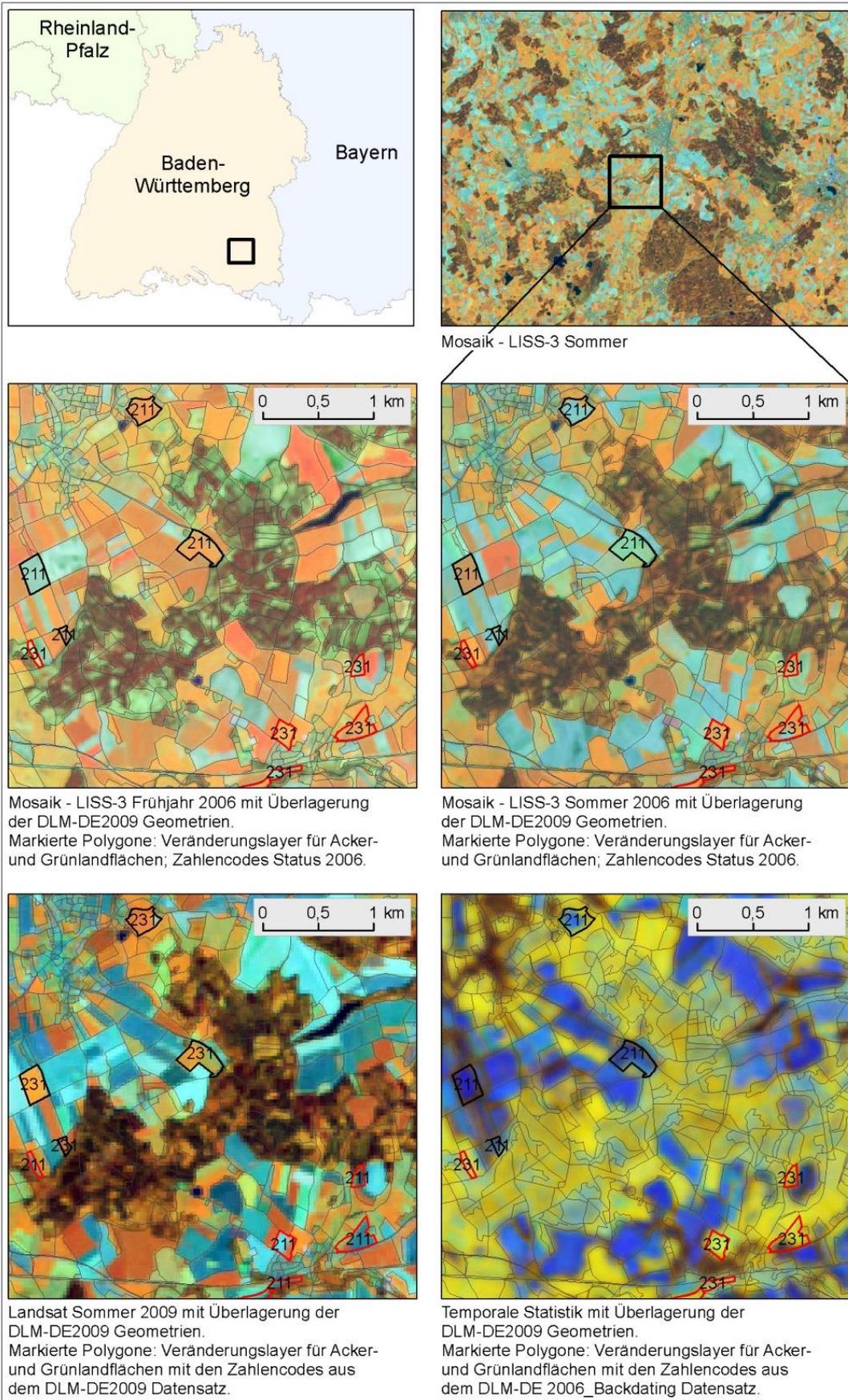
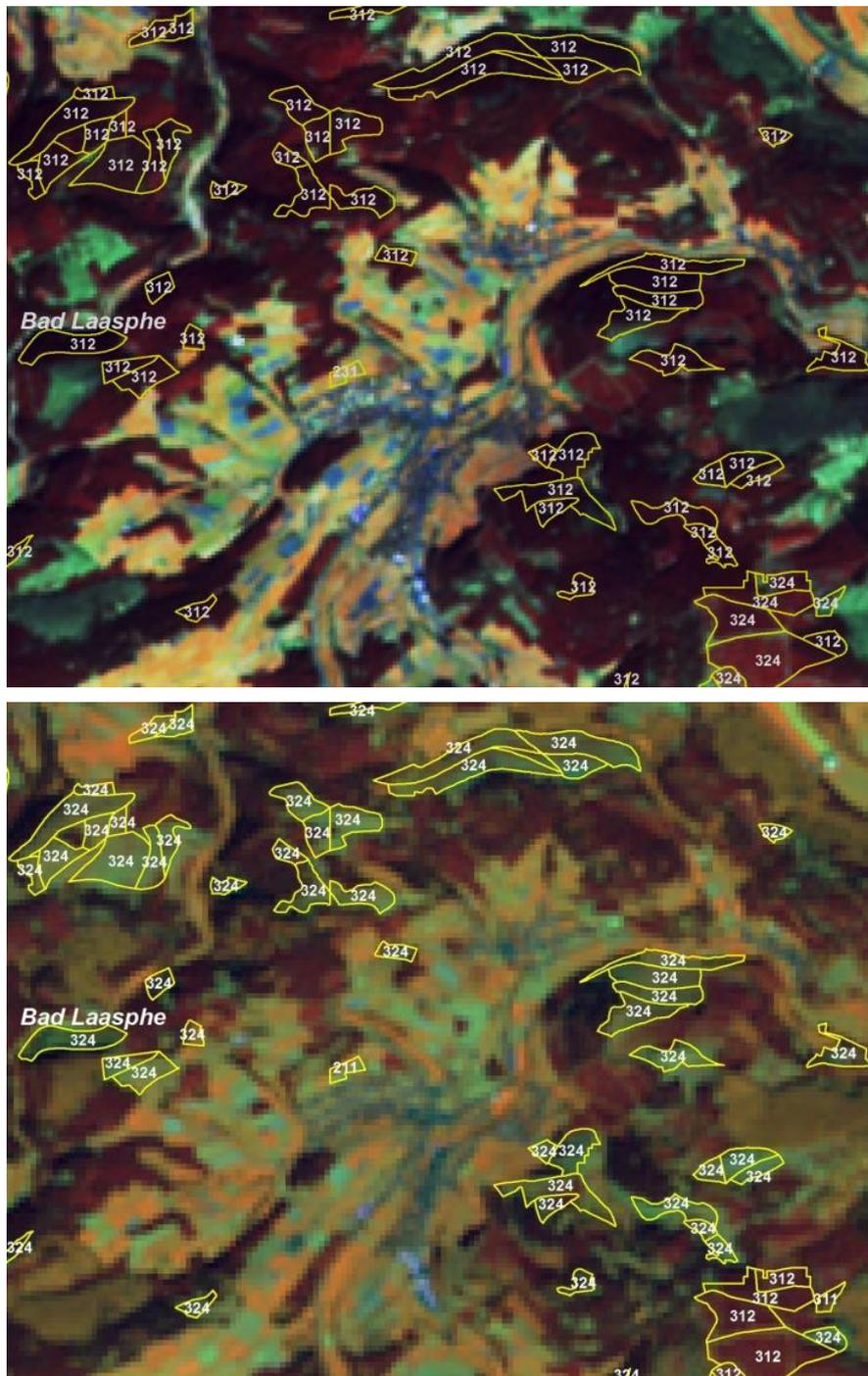


Abbildung 26: Beispiel für Änderungen innerhalb der Waldflächen aufgrund von Sturmschäden im Sauerland, mit der Transformation 312 -> 324 (Orkan Kyrill vom 18./19.1.2007). Oben: LISS-III Szene von 2006 (Frühjahr) mit den Änderungsflächen im Status 2006, Unten: Landsat-Szene Sommer 2009 mit dem Status in 2009. Im südöstlichen Bereich wurden Änderungsflächen als Übergänge 324 -> 312 detektiert (Übergang von jungen Waldflächen zu Nadelwald). Zu den Zwischenschritten der Verarbeitung vergleiche Abbildung 19. Quellen: Satellitendaten: © ANTRIX, Euromap / GAF AG (LISS-III); USGS /NASA (Landsat). Geobasisdaten © Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (www.bkg.bund.de).





## 7 Datenqualitätsbetrachtungen

### Geometrie:

Bezüglich der Geometrie der Satellitendaten von 2006 als Eingangsdaten kann von einer Lagegenauigkeit von ca. einem Pixel ausgegangen werden, entsprechend ca. 20 m bei den LISS-III-Daten und ca. 30 m bei den Landsat-Daten.

Die AWiFS Daten mit einer Pixelauflösung von ca. 60 m wiesen zu den LISS-III-Daten eine Passgenauigkeit in der Größenordnung von meist unter oder bei 60 m auf, allerdings kamen teilweise auch bei den AWiFS Daten untereinander lokale Versätze von ca. 60 m oder geringfügig darüber vor. Die AWiFS Daten wurden über die Untersegmente auf Basis von LISS-III und Landsat-Daten mit den hochauflösenden Daten verknüpft und gingen nicht in die Abgrenzung unterschiedlicher Objekte bzw. Landbedeckungsformen ein. Damit steuerten die AWiFS Daten, die für die Unterteilung der landwirtschaftlichen Klassen genutzt wurden, primär die thematische Information bei. Bei kleinräumigen landwirtschaftlichen Flächen konnte es geometrie-bedingt und bezüglich der geometrischen Auflösung von 60 m zu Problemen kommen.

### Landwirtschaftliche Klassen:

Die Überprüfungen der abgeleiteten Änderungsflächen mit interaktiven Verbesserungen wurden nicht nur, wie zunächst vorgesehen, in bestimmten „Hot Spots“ von vermuteten Änderungsregionen wie bei großen Abbaugebieten und deren Renaturierungsstadien durchgeführt, sondern in abgestuften Formen (und vor allem bezüglich der größeren Änderungsflächen) für alle Änderungsklassen.

Bei den landwirtschaftlichen Klassen und ihrer räumlichen Verteilung (Ackerland 211 und Grünland 231) zeigte es sich, dass eine flächige Überprüfung notwendig war, wofür allerdings aus Zeitgründen ein Kompromiss-Maßstab von 1:30000 bis 1:40000 gewählt werden musste. Infolge der unterschiedlichen Variablen wie Bodenarten, Bodenfeuchte, Verteilung der Fruchtarten und Fruchtfolgen beschrieben die optimierten Schwellwerte auf Basis der temporalen Statistiken (AWiFS NDVI-Werte) nicht immer zutreffend die Abgrenzungen der jeweiligen Acker- und Grünlandflächen. Auch waren die abgeleiteten Statistik-Parameter Minimum, Mittelwert und Standardabweichung von der Repräsentativität der vorhandenen Zeitabschnitte in den AWiFS-Aufnahmen und auch von der lokalen lückenfreien oder lückenhaften Überdeckung durch 4 bis 7 Szenen abhängig. In der Gesamtheit der Nutzung von AWiFS Indikatoren und den drei Mosaik-Varianten von LISS-III (Frühjahr und Sommer) sowie Landsat (Sommer) war eine wesentliche Verbesserung der Zuordnung zu echten bzw. nicht echten Änderungen bei den landwirtschaftlichen Flächen möglich. Es ist anzunehmen, dass durch eine Verbesserung bei der saisonalen Überdeckung, z. B. durch Zeitreihen der zukünftigen Sentinel-2 Daten, auch die automatisch abgeleiteten Ackerland-Grünland-Trennung noch optimiert werden kann.

### Waldklassen und andere Klassen:

Die Änderungen in Waldgebieten (insbesondere von Sturmwurf und Windbruch betroffene Flächen) zeigten nicht immer eindeutige Übergänge (primär 312 -> 324), häufig waren stufenweise Schäden zu beobachten. Teilweise war auch ein Schadensfortschritt oder auch ein fortschreibendes Ausräumen der Bestände zwischen den Szenen von 2006 bzw. der erweiterten Perioden 2005 bis 2007 zu beobachten. Häufig sind vorgeschädigte oder teilweise aufgelichtete Bestände beim nächsten Sturmereignis mit als erstes betroffen. Die nicht immer klaren oder nachzuvollziehenden Geometrien durch die Untersegmentierungen wurden zum Teil durch manuelle Digitalisierungen und Auftrennungen verbessert, insbesondere bei großflächigen Polygonen. Hier half ein kombiniertes Vorgehen von Abarbeiten mittels „Durchklicken“ von großflächigen Änderungsflächen zu kleinflächigeren, und von Korrekturen auf der Basis von Schwerpunktgebieten bezüglich bestimmter Änderungen.

Auch bei Änderungen bezüglich urbaner Entwicklungen (Neubau von Wohngebieten, neue Industrie- und Gewerbeflächen) deutet sich bei der einen Szene (z. B. im Frühjahr 2006) eine Baustelle erst an, das Segment ist eventuell eher noch als Ackerfläche zu charakterisieren, bei der anderen Szene, im Sommer 2006, hat sich das Segment besser erkennbar zur Baustelle (CLC-Klasse 133) weiterentwickelt. Primär wurde versucht, bei verschiedenen Szenen um 2006 die Sommerszene 2006 als Referenzzeitraum zu verwenden. Bei automatisch den Übergängen 211 -> 121 zugeordneten Übergängen mit schon anteiliger Versiegelung wurde verstärkt die CLC-Klasse 133 als Übergangsklasse gewählt.

### **„Hot Spots“ von Veränderungen:**

Im regionalen Kontext wurden insbesondere bei Braunkohletagebauflächen in Nordrhein-Westfalen sowie in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg vor allem größere Abbaugelände und die umgebenden Renaturierungsflächen (oder auch Flutungsgebiete) überarbeitet, hier war die Einbeziehung der Umgebungsinformationen für eine möglichst einheitliche Einstufung notwendig. Ähnlich wurde bei der Charakterisierung des Status von Sukzessionsstadien in ehemaligen militärischen Übungsflächen vorgegangen (CLC-Klassen 333, 321, 324, 311, 312, 313).

Auch verschiedene größere Obstanbaugebiete mit teilweisen Umwandlungen in Ackerflächen von 2006 zu 2009 wurden im regionalen Kontext überarbeitet (z. B. im Raum Werder an der Havel, Brandenburg) und konnten dadurch verbessert werden. Eine besondere Situation stellten die großen Totholzflächen nach Borkenkäferbefall und Regenerationsstadien im Nationalpark Bayerischer Wald dar, für den auch eine regionale Überarbeitung notwendig war.

## 8 Literatur

- AdV (2012): Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem (ATKIS). <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Geotopographie/ATKIS/> (letzter Zugriff 3.8.2014).
- AdV (2013): AdV-Produkte - Landschafts- und Geländemodelle. <http://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Landschafts-und-Gelaendemodelle/> (letzter Zugriff 3.8.2014).
- Arnold, S. (2009a): Integration von Fernerkundungsdaten in nationale und europäische Geodateninfrastrukturen – Ableitung von CORINE Land Cover-Daten aus dem DLM-DE. PFG 2-2009, 123– 135.
- Arnold, S. (2009b): Digital Landscape Model DLM-DE – Deriving Land Cover Information by Integration of Topographic Reference Data With Remote Sensing Data. ISPRS Hannover Workshop 2009. [http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/1\\_4\\_7-w5/paper/Arnold-167.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/xxxviii/1_4_7-w5/paper/Arnold-167.pdf) (letzter Zugriff 3.7.2014).
- Arnold, S., Bock, M., Feigenspan, S. (2014): Digital Land Cover Model for Germany DLM DE – The “German Way”. In: Manakos, I. & Braun, M. (Ed.), Land use and land cover in Europe: practice and trends. Remote Sensing and Digital Image Processing Series, Volume 18, 2014. Springer, Dordrecht.
- Arozarena, A., Villa, G., Valcarcel, N., Peces, J. J., Domenech, E., Porcuna, A. (2006): New Concept on Land Cover/Land Use Information System in Spain. Design and Production. In: 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover, edited by M Braun (EARSeL, Bonn), 215-225.
- Beule, B., Backhaus, R., Bittner, M., Bock, M., Borg, E., Gege, P., Holzer-Popp, T., Kästner, M., Keil, M., Lemm, C., Neumann, A., Paliouras, E., Rossner, G., Roth, A., Strunz, G., Wissen, M. (2004): Anforderungsanalyse der Nutzung von satellitenbasierten Erdbeobachtungssystemen für die Umweltpolitik (SATUM). Projektbericht im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 32-2004, 120 S.
- BKG (2012): Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland - DLM-DE2009. Stand der Dokumentation: 30.03.2012. <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/dlm-de2009.pdf> (letzter Zugriff 25.7.2014).
- Bock, M., Keil, M., Strunz, G., Dietz, A., Eisfelder, C., Metz, A., & Rössig, C. (2008): Ergebnisse der Machbarkeitsstudie – Aktualisierung und Nutzung des DLM-DE für die Ableitung von CORINE Land Cover auf der Basis von Satellitendaten. Studie im Auftrag des BKG, DLR Oberpfaffenhofen, unveröffentlicht.
- BOSS4GMES (2011): Land Monitoring Services. <http://www.boss4gmes.eu> (letzter Zugriff 25.7.2014).
- Brodský, L., Poilvé, H., Vobora, V., Bichero, P., Soukup, T. (2012): Sensitivity analysis of temporal coverage for agricultural land detection from biophysical parameters at national scale. IGARSS 2012 conference, Munich, July 22 to July 27, 2012.
- Copernicus EU (2013): Copernicus Land Monitoring Services (GIO Land). <http://land.copernicus.eu/user-corner/land-use-cases> (letzter Zugriff 25.7.2014)
- Copernicus (2014): Copernicus Land Monitoring Services - Copernicus - The European Earth Observation Programme. <http://land.copernicus.eu> (letzter Zugriff 25.7.2014).
- Copernicus Programme (2014): Copernicus Land Monitoring Services – High Resolution Layers. <http://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers> (letzter Zugriff 25.7.2014).
- D-Copernicus (2013): GMES / Copernicus Deutschland - Dienste Landüberwachung. <http://www.d-gmes.de/landueberwachung> (letzter Zugriff 13.7.2014).
- DeCOVER 2 (2012): DeCOVER 2. <http://www.de-cover.de> (letzter Zugriff 13.7.2014).
- EEA (2009): GMES Fast Track Service Precursor on Land Monitoring 2006, High-resolution core land cover data – built-up areas incl. degree of soil sealing. Updated Delivery Report European Mosaic (EEA-FTSP-Sealing-Enhancement\_DeliveryReport-EuropeanMosaic Issue 1.0), Date Issued: 22.12.2009.
- EEA (2010): EEA Fast Track Service Precursor on Land Monitoring - Degree of soil sealing. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eea-fast-track-service-precursor-on-land-monitoring-degree-of-soil-sealing> (letzter Zugriff 13.7.2014).
- EEA (2012): EEA briefing – GMES land monitoring service. <http://www.eea.europa.eu/about-us/what/information-sharing-1/gio-land-briefing-1> (letzter Zugriff 13.7.2014).
- EFTAS (2012): Albedo News Newsletter, No. 1, 2012. [http://www.eftas.com/Downloads/Newsletter/ALBEDO\\_NEWS\\_2012\\_1.pdf](http://www.eftas.com/Downloads/Newsletter/ALBEDO_NEWS_2012_1.pdf) (letzter Zugriff 13.7.2014).

- Esch, T., Thiel, M., Bock, M., Roth, A., Dech, S. (2008): Improvement of Image Segmentation Accuracy based on Multi-Scale Optimization Procedure. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 5, No. 3, July 2008.
- Esch, T., Metz, A., Marconcini, M., Keil, M. (2014a): Differentiation of Crop Types and Grassland by Multi-scale Analysis of Seasonal Satellite Data. In: Manakos, I. & Braun, M. (Ed.), *Land Use and Land Cover Mapping in Europe - Practices and Trends. Remote Sensing and Digital Image Processing*, Volume 18, 2014, pp 329-339. Springer Dordrecht. ISBN: 978-94-007-7968-6 (Print) 978-94-007-7969-3 (Online).
- Esch, T., Metz, A., Marconcini, M., Keil, M. (2014b): Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*, 2014, 28, pp. 230-237.
- GMES-Geoland (2010a): GMES Land User Newsletter, Issue 12, July 2010. <http://www.gmes-geoland.info/news-events/newsletter.html> (letzter Zugriff 13.08.2014).
- GMES-Geoland (2010b): GMES Land User Newsletter, Issue 13, November 2010. <http://www.gmes-geoland.info/news-events/newsletter.html> (letzter Zugriff 13.08.2014).
- Feilhauer H., Stenzel S., Kübert C., Metz A., Conrad C., Ehlers M., Esch T., Klein D., Oldenburg C., Reinartz P., Schmidtlein S. (2012): RapidEye im Projekt MSAVE - Multisaisonale Fernerkundung für das Vegetationsmonitoring. In: Borg E, Daedelow H, Johnson R (Hrsg.): *RapidEye Science Archive (RESA) 'Vom Algorithmus zum Produkt'*. 4. RESA Workshop, Neustrelitz, S. 153-164.
- GSE Forest Monitoring (2010): Welcome to GSE Forest Monitoring. <http://www.gmes-forest.info/> (letzter Zugriff 25.7.2014).
- Gangkofner, U., Weichselbaum, J., Kuntz, S., Brodsky, L., Larsson, K., De Pasquale, V. (2010): Update of the European High-resolution Layer of Built-up Areas and Soil Sealing 2006 with Image2009 Data. In: R. Reuter (Editor), *Proceedings EARSeL Conference 2010, Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage*.
- Geoland2 (2010): geoland2 - Operational Monitoring Services for our Changing Environment. <http://www.gmes-geoland.info/home.html> (letzter Zugriff: 26.4.2014).
- Geoland2 (2012): geoland2 Portal. <http://www.geoland2.eu/index.jsp> (letzter Zugriff 25.7.2014).
- Goessl, A., Conrad, C., Metz, A., Esch, T., Konrad, C., Goettlicher, G., Dech, S. (2010): Mapping crop distribution in administrative districts of southwest Germany using multi-sensor remote sensing data – In: *Proceedings of SPIE Europe Remote Sensing, Toulouse 2010*.
- Google Code (2013): Fmask software - Automated clouds, cloud shadows, and snow masking for Landsat 4, 5, 7, and 8 images. <http://code.google.com/p/fmask/> (letzter Zugriff 29.7.2014).
- Itzerott, S. & Kaden, K. (2006): Ein neuer Algorithmus zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf Basis spektraler Normkurven – An algorithm to classify agricultural crops on the basis of spectral standard curves. - *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* 6/2006, p. 509-518, Stuttgart.
- Keil, M., Kiefl, R., Strunz, G. (2005): CORINE Land Cover 2000 - Europaweit harmonisierte Aktualisierung der Landnutzungsdaten für Deutschland. Abschlussbericht zum F+E Vorhaben UBA FKZ 201 12 209, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., DFD, Oberpfaffenhofen, Mai 2005.
- Keil, M., Bock, M., Esch, T., Metz, A., Nieland, S., Pfitzner, A. (2010a): CORINE Land Cover Aktualisierung 2006 für Deutschland. Abschlussbericht zu den F+E Vorhaben UBA FKZ 3707 12 200 und FKZ 3708 12 200. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum, Oberpfaffenhofen.
- Keil, M., Metz, A., Bock, M., Esch, T., Nieland, S., Feigenspan, S. (2010b): Flächenerhebung und -statistik in Corine Land Cover – Aktuelle Ergebnisse und Programmentwicklung. In: *Flächennutzungsmonitoring II: Konzepte – Indikatoren – Statistik*. IÖR Schriften Band 52, Rhombos-Verlag, Berlin.
- Keil, M., Metz, A., Nieland, S. (2010c): Begleitende Arbeiten zur Aktualisierung 2006 von CORINE Land Cover - Abschlussbericht zum UBA Auftrag Z6 - 00335 4218. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum Oberpfaffenhofen.

- Krauß, T., D'Angelo, P., Schneider, M., Gstaiger, V. (2013): The Fully Automatic Optical Processing System CATENA at DLR. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W1, ISPRS Hannover Workshop 2013, 21 – 24 May 2013, Hannover, Germany.
- Kuntz, S., Schmeer, E., Jochum, M., Smith, G. (2014): Towards an European Land Cover Monitoring Service and High-Resolution Layers. In: Manakos, I. & Braun, M. (Ed.), Land Use and Land Cover Mapping in Europe - Practices & Trends. Remote Sensing and Digital Image Processing Series, Volume 18, 2014, pp 43-52. Springer, Dordrecht. ISBN: 978-94-007-7968-6 (Print) 978-94-007-7969-3 (Online).
- Metz, A. (2009): Knowledge based update of DLM-DE with remote sensing and geo-data for deduction of a high resolution land use / land cover mapping using CORINE Land Cover. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden.
- Metz, A., M. Bock, M. Keil (2009): Semiautomatische Methoden zur Aktualisierung des DLM-DE aus Fernerkundungs- und Geodaten zur Ableitung einer hochauflösenden Kartierung der Bodenbedeckung gemäß CORINE Land Cover. Proceedings AGIT GIS-Konferenz in Salzburg, 8. - 10. Juli 2009.
- Mohaupt-Jahr, B., & Keil, M. (2004): The CLC 2000 project in Germany and environmental applications of land use information. In F. E. A. Germany (Ed.) Workshop CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and its use for Environmental Applications, 20–21 January 2004, Berlin.
- Müller, R., Krauß, T., Lehner, L., Reinartz, P. (2007): Automatic production of a European orthoimage coverage within the GMES land fast track service using SPOT 4/5 and IRS-P6 LISS III data. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens., Spat. Info. Sci. 36 (1/W51).
- Müller, R., Krauß, T., Schneider, M., Reinartz, P. (2012): Automated Georeferencing of Optical Satellite Data with Integrated Sensor Model Improvement. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS) 71(1), pp. 61–74.
- NASA (2011): Landsat 7 Science Data Users Handbook – 13.1 Geometric Performance. <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/sysper/> (Letzter Zugriff: 3.8.2014).
- Nieland, S. (2009): Entwicklung und Bewertung einer Methode zur automatisierten Generalisierung des DLM-DE auf den Zielmaßstab des CORINE Land Cover Datensatzes in Deutschland. Diplomarbeit, Universität Innsbruck.
- Nieland, S., Dietz, A., Bock, M., Keil, M., Heller, A. (2009): Untersuchungen zum Einfluss eines Methodenwechsels auf die Aktualisierung der Bodenbedeckung gemäß CORINE Land Cover in Deutschland. Proceedings AGIT GIS-Konferenz in Salzburg, 8. - 10. Juli 2009.
- Richter, R. (2008): Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide, Version 7.0 BETA).
- Richter, R. & Schläpfer, D. (2011): Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery, DLR report DLR-IB 565-02/11, Wessling, Germany, pp 202.
- Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. (1973): Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station.
- UBA [ed.] (2004): Workshop CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and its use for environmental applications, 20-21 January 2004, Berlin. UBA Texte 04/04.
- USGS (2014): GLOVIS: The USGS Global Visualization Viewer. <http://glovis.usgs.gov/> (letzter Zugriff 28.7.2014).
- Xu, H. (2006): Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing Vol. 27, No. 14, 20 July 2006, 3025–3033.
- Zhu, Z. & Woodcock, C. E (2012): Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. Remote Sensing of Environment 118 (2012) 83–94.
- Zillmann, E., Gonzalez, A., Montero Herrero, J. E., van Wolvelaer, J., Esch, T., Keil, M., Weichelt, H. and Garzón, A. M. (2014): Pan-European Grassland Mapping Using Seasonal Statistics From Multisensor Image Time Series. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Volume 7 (8) – Aug 1, 2014, pp 3461-3472.