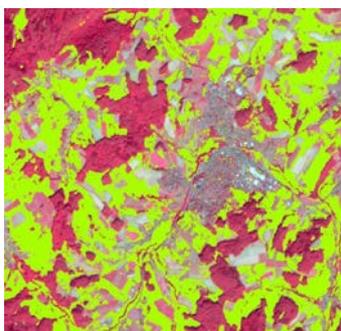
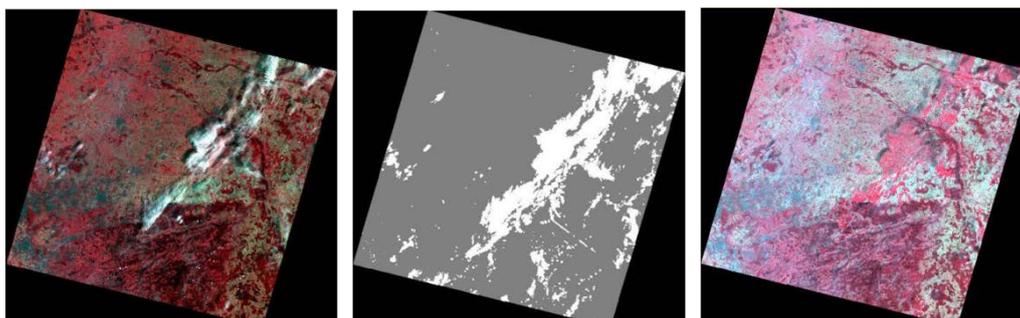


**Oliver Buck, Luca Kleinewillinghöfer,  
Alexandra Biscan, Sönke Müller, Andreas Völker  
und Carsten Haub**

# **Landnutzungsänderungen in Natura 2000-Gebieten**

**Methodenvergleich und Anwendungsbeispiele  
der Satelliten-Fernerkundung**



# **Landnutzungsänderungen in Natura 2000-Gebieten**

## **Methodenvergleich und Anwendungsbeispiele der Satelliten-Fernerkundung**

**Abschlussbericht des F+E-Vorhabens „Bedeutung und  
Auswirkungen Erneuerbarer Energien auf Natura 2000-  
Gebiete. Daten und Methoden der Satelliten-  
Fernerkundung" (FKZ 3515 82 3800)**

**Oliver Buck  
Luca Kleinewillinghöfer  
Alexandra Biscan  
Sönke Müller  
Andreas Völker  
Carsten Haub**

**Titelbild:** Das Zusammenspiel von Geländeinformationen und Bilddaten erlaubt die Ableitung von Grünland-Informationsprodukten (oben: © O. Buck; mittlere Bildreihe (alle drei Bilder): © LANDSAT5, Daten verfügbar über den U.S. Geological Survey; unten: Hintergrundbild, Copernicus Sentinel-2 Daten 2016)

**Adressen der Autorin und der Autoren:**

Oliver Buck	EFTAS Fernerkundung
Luca Kleinewillinghöfer	Technologietransfer GmbH
Alexandra Biscan	Oststr. 2-18
Sönke Müller	48145 Münster
Andreas Völker	E-Mail: Vorname.Nachname@eftas.com
Carsten Haub	

**Fachbetreuung im BfN:**

Götz Ellwanger	Fachgebiet II 2.2 „FFH-Richtlinie/Natura 2000“
Jessica Ferner	

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (FKZ: 3515 82 3800).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ ([www.dnl-online.de](http://www.dnl-online.de)).  
BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter <http://www.bfn.de/skripten.html> heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz  
Konstantinstr. 110  
53179 Bonn  
URL: [www.bfn.de](http://www.bfn.de)

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/deed.de>).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU).

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-327-0

DOI 10.19217/skr566

Bonn – Bad Godesberg 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>5</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>8</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>10</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>12</b>
<b>2 Stand der Forschung.....</b>	<b>13</b>
<b>3 Methodentests.....</b>	<b>15</b>
3.1 Datenbeschaffung und Import.....	15
3.1.1 Auswahl der Fernerkundungs- und Geofachdaten .....	16
3.1.2 Daten Download .....	18
3.2 Vorverarbeitung .....	19
3.2.1 Klassendefinition Acker- und Grünlandflächen.....	19
3.2.2 Acker- und Grünland Trainingsdaten .....	22
3.2.3 Acker- und Grünland Validierungsdaten .....	23
3.2.4 Grünland-Mahd Trainings- und Validierungsdaten .....	26
3.2.5 Vorverarbeitung Sentinel Daten .....	27
3.2.6 Vorverarbeitung Landsat Daten .....	32
3.3 Klassifikation.....	32
3.3.1 Support Vector Machine und Random Forest Klassifikation.....	32
3.3.2 SAR Zeitreihenanalyse .....	38
3.3.3 Indikatoren zur qualitativen Grünlandbewertung .....	38
3.4 Validierung.....	41
3.4.1 Klassische Validierung.....	41
3.4.2 Qualitativer Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit dem Copernicus Grasland High Resolution Grasland Layer .....	42
3.5 Auswertung.....	50
3.5.1 Flächenschätzung Acker- und Grasland Verteilung 1990-2016.....	50
3.5.2 Analyse der Habitatveränderungen 2006-2016 für die Zielarten Feldhamster und Mornellregenpfeifer.....	51
3.5.3 Vergleich Lebensraumtypenkartierung und Grasland-Klassifikation 2016.....	58
<b>4 Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>60</b>
4.1 Grünland und Ackerland Verteilung 1990-2016 .....	60

4.1.1	Acker-Grünland Verteilung 2016 .....	60
4.1.2	Acker-Grünland Verteilung 2006 .....	63
4.1.3	Acker-Grünland Verteilung 1990 .....	66
4.2	Qualitativer Vergleich mit Copernicus Grasland High Resolution Grasland Layer ..	68
4.3	Vergleichsanalyse LUCAS Flächenstatistik und Acker-Grasland-Produkte .....	70
4.4	Mahd-Detektion mit SAR-Zeitreihe.....	75
4.5	Ergebnisse der biophysikalischen optischen Indikatoren.....	77
4.6	Habitatveränderungen für die Zielarten Feldhamster und Mornellreg- pfeifer 2006-2016.....	82
4.7	Vergleich Lebensraumtypenkartierung der Länder und BfN Grasland-Klassifikation 2016.....	89
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>94</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick und Empfehlungen.....</b>	<b>96</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>98</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>103</b>
	Anhang 1 Fernerkundungsdaten: Übersicht und Bewertung.....	103
	Anhang 2 Geofachdaten: Übersicht und Bewertung.....	106
	Anhang 3 Datensteckbriefe Fernerkundungsdaten.....	109
	Anhang 4 Datensteckbriefe Geofachdaten .....	113
	Anhang 5 Bewertung Biotop- und LRT-Kartierungen der Bundesländer .....	118

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Schematische Prozesskette. ....	15
Abb. 2:	ESA Open Data Access Hub Web-Oberfläche. ....	18
Abb. 3:	Beispiel zur Stratifizierung der Trainingsdaten innerhalb einer Landsat-Kachel. ....	23
Abb. 4:	Übersicht der Stichprobenauswahl für 2016. ....	25
Abb. 5:	Beispiel eines verworfenen Validierungspunktes. ....	26
Abb. 6:	Übersicht der Testgebiete für die Mahd-Detektion. ....	27
Abb. 7:	Polygone der Wolkenmaske für Sentinel-2 Level-1C. ....	28
Abb. 8:	Sentinel-2 Level-2A BOA-Echtfarben-Darstellung. ....	29
Abb. 9:	Thematische Klassifikation der Szene aus Abb. 8 als Ausgabe von Sen2Cor. ....	29
Abb. 10:	Exemplarische Darstellung Level 3 Ergebnisse des Sen2Three Prozessors. ....	30
Abb. 11:	Ergebnis Kohärenzberechnung. ....	31
Abb. 12:	Beispielhafte Darstellung der linearen Interpolation. ....	32
Abb. 13:	Gebietsübersicht des für den RF und SVM Methodentest 2016 ausgewählten Testbereichs MW. ....	33
Abb. 14:	Bilddaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte der Sentinel-2 Granule 32 UMB (RGB Darstellung) (a-d), verwendeten Trainingsdaten (e) und SVM Klassifikationsergebnis (f) des ALIS Tools. ....	34
Abb. 15:	Visueller Vergleich der SVM Klassifikation und der RF Klassifikation. ....	35
Abb. 16:	RF Klassifikation der Klassen Obstbau und Weinbau überlagert mit ATKIS Informationen (Eltville am Rhein). ....	36
Abb. 17:	Ausschnitt der RF Test-Klassifikation (alle Code 2 Klassen). ....	37
Abb. 18:	Ausschnitt der RF Test-Klassifikation (nur Acker- und Graslandklassen). ....	37
Abb. 19:	Übersicht der Testgebiete für die ausgewählten Bildindikatoren. ....	39
Abb. 20:	Ergebnis der MASD-Berechnung im Testgebiet BW. ....	40
Abb. 21:	Ergebnis der Homogenitätsberechnung vom 28.03.2017 im Testgebiet BY. ....	40
Abb. 22:	Das QGIS „Thematic map validation“ Plugin zur Validierung von Klassifikationsergebnissen. ....	42
Abb. 23:	Lage der Testgebiete für den Vergleich der BfN Graslandklassifikation mit dem HRL Grasland. ....	43
Abb. 24:	Umriss des Testgebiets 2731, Neuhaus (Elbe). ....	44
Abb. 25:	Umriss des Testgebiets 3224, Westenholz. ....	45
Abb. 26:	Umriss des Testgebiets 4314, Lippetal. ....	46
Abb. 27:	Umriss des Testgebiets 4633, Artern (Unstrut). ....	47

Abb. 28	Umriss des Testgebiets 8232, Uffing am Staffelsee.....	48
Abb. 29:	Umriss des Testgebiets 8232, Zeiskam.....	49
Abb. 30:	Schematisierte Prozesskette der Landsat Klassifikation 1990 und 2006.....	50
Abb. 31:	Schematisierte Prozesskette der Sentinel-2 Klassifikation 2016.....	51
Abb. 32:	Beobachtungen des Mornellregenpfeifers in Deutschland .....	52
Abb. 33:	Übertragung der Mornellregenpfeifer-Beobachtungen aus ornitho.de auf die entsprechenden DTK Kachelregionen. ....	52
Abb. 34:	Vorkommensgebiete des Feldhamsters übertragen auf DTK Kachelgrenzen. ...	54
Abb. 35:	Übersicht der finalen Testregionen und der genutzten Landsat- Bilddatenabdeckung für die Klassifikation der Kulturarten in 2006.....	55
Abb. 36:	Landsat-5 Zeitreihe für 2006 am Beispiel der Kachel 194/024.....	56
Abb. 37:	Beispielhafte Darstellung der klassifizierten Acker- und Grasland- veränderungen .....	57
Abb. 38:	Lage der Evaluationsgebiete für den LRT/BfN Grasland-Klassifikations- vergleich.....	59
Abb. 39:	Ergebniskarte der Grasland- und Acker-Verteilung 2016.....	61
Abb. 40:	Räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler der Acker-Grünland-Klassifikation 2016. ....	62
Abb. 41:	Ergebniskarte der Grasland- und Acker-Verteilung 2006.....	64
Abb. 42:	Räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler der Acker-Grünland-Klassifikation 2006. ....	65
Abb. 43:	Ergebniskarte der Grasland- und Acker-Verteilung 1990.....	67
Abb. 44:	Räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler der Acker-Grünland-Klassifikation 1990. ....	68
Abb. 45:	Vergleich der LUCAS Grasland-Flächenschätzung mit den Ergebnissen der Satellitenbild Klassifikationen. ....	71
Abb. 46:	Bundesweiter Flächenanteil an Dauergrünland .....	71
Abb. 47:	Zusätzlich erfasstes Grünland auf einem Golfplatz gegenüber der InVeKoS- Grünland Datenlage. ....	73
Abb. 48:	Korrekte Klassifikation von Grünland, welches nicht im InVeKoS Fachsystem enthalten ist.....	73
Abb. 49:	Detektion gemähter Flächen als Ergebnis der Kohärenz-Berechnung 27.05.2017 - 02.06.2017 im Testgebiet SH. ....	76
Abb. 50:	Zeitreihe der NDVI-Werte für LRT 6510 und nicht-LRT Grünlandflächen.....	77

Abb. 51: Zeitreihe der IRECI-Werte für LRT 6510 und nicht-LRT Grünlandflächen. ....	78
Abb. 52: Vergleich der MASD-Werte für LRT 6510 und nicht-LRT Grünlandflächen.....	79
Abb. 53: Zeitreihe der Homogenitäts-Werte für LRT 6510 und nicht-LRT Grünland- flächen. ....	80
Abb. 54: Landsat 2006 Zeitreihe, Trainingsdaten und Wolkenbedeckung. ....	83
Abb. 55: Wichtige Zeitfenster (AW) zur Klassifikation landwirtschaftlicher Ackerkulturen am Beispiel des NRW-Einzugsgebietes der Rur. ....	84
Abb. 56: Ausschnitt der Kulturartenklassifikation 2006 und 2016 für das Verbreitungsgebiet des Feldhamsters. ....	85
Abb. 57: Gegenüberstellung von LRT6510-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Schwarzwald-Baar, BW).....	91
Abb. 58: Gegenüberstellung von LRT6410-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Spreewald, BB). ....	92
Abb. 59: Gegenüberstellung von LRT-Kartierung (LRT 6431, 6440) und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Spreewald, BB).....	92
Abb. 60: Gegenüberstellung von LRT6130-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Sauerland, NRW). ....	93
Abb. 61: Gegenüberstellung von LRT6210-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Sauerland, NRW). ....	93

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Vergleichswerte nationaler Grünland Klassifikationen. ....	13
Tab. 2:	Übersicht verwendeter Primärdaten-Quellen. ....	17
Tab. 3:	Definition der Klasse „Grasland“ . ....	19
Tab. 4:	Definition der Klasse „Ackerland“ . ....	20
Tab. 5:	Übersicht der Landbedeckungsklassen zur Satellitenbild-Klassifikation. ....	21
Tab. 6:	Trainings-Datenübersicht . ....	22
Tab. 7:	Übersicht der Referenzdatengrundlage. ....	25
Tab. 8:	Klassenschlüssel der Grünlandkartierung. ....	26
Tab. 9:	Trainingsdaten der Random Forest Testvarianten. ....	36
Tab. 10:	Übersicht der Validierungsergebnisse im Testgebiet MW für Grünland und Acker. ....	38
Tab. 11:	Übersicht der HRL/BfN Grasland Testgebiete. ....	44
Tab. 12:	Übersicht der Landsat-Szenen für das Referenzjahr 2006 (< 80 % Wolkenbedeckung). ....	55
Tab. 13:	Untersuchte Indikatoren zur Feldhamster und Mornellregenpfeifer Habitat-Analyse. ....	57
Tab. 14:	Testgebiete der Vergleichsanalyse LRT/Grasland-Klassifikation. ....	58
Tab. 15:	Produktsteckbrief Klassifikation 2016. ....	60
Tab. 16:	Validierungsergebnis der Grasland- und Ackerklassifikation 2016. ....	62
Tab. 17:	Produktsteckbrief Klassifikation 2006. ....	63
Tab. 18:	Validierungsergebnis der Grasland- und Ackerklassifikation 2006. ....	65
Tab. 19:	Produktsteckbrief Klassifikation 1990. ....	66
Tab. 20:	Validierungsergebnis der Grasland- und Ackerklassifikation 1990. ....	66
Tab. 21:	Übersicht der HRL-BfN Evaluationsergebnisse (Buck et al. 2018). ....	69
Tab. 22:	Übersicht der Klassifikationsgenauigkeiten der Graslandklassifikation 1990-2016. ....	71
Tab. 23:	Vergleich der landwirtschaftlichen Flächenanteile 2016 für Niedersachsen und Bremen. ....	72
Tab. 24:	Ergebnisse der Kohärenz-Untersuchung zur Detektion von Mahd-Ereignissen. ....	75
Tab. 25:	Unterscheidbarkeit von Grünland-LRT anhand biophysikalischer Indikatoren im Testgebiet BW . ....	81

Tab. 26: Unterscheidbarkeit von Grünland-LRT anhand biophysikalischer Indikatoren im Testgebiet BY .....	82
Tab. 27: Übersicht der Landbedeckungsklassen für die Change Analyse 2006-2016. ....	83
Tab. 28: Konfusionsmatrix des Level2-Klassifikationsergebnisses der Landsat Daten 2006.....	86
Tab. 29: Konfusionsmatrix des Level2-Klassifikationsergebnisses der Sentinel-2 Daten 2016.....	87
Tab. 30: Schätzung der Landbedeckung/-nutzung für 2006 und 2016 innerhalb der Feldhamster und Mornell-Regenpfeifer Testgebiete.....	88
Tab. 31: Grünland-LRT-Vorkommen in den drei Untersuchungsgebieten .....	89
Tab. 32: Ergebnisse der Vergleichsanalyse zwischen LRT-Flächen der Länder und Grasland 2016 Klassifikation. ....	90
Tab. 33: Datenspezifikation Sentinel-2.....	109
Tab. 34: Datenspezifikation Sentinel-1.....	110
Tab. 35: Datenspezifikation Landsat-4/5. ....	111
Tab. 36: Datenspezifikation Digitale Orthophotos.....	112
Tab. 37: Datenspezifikation CORINE Land Cover (CLC) 1990 und 2006.....	113
Tab. 38: Datenspezifikation LUCAS.....	114
Tab. 39: Datenspezifikation DLM-DE (2009) und LBM-DE (2012).....	115
Tab. 40: Datenspezifikation Basis-DLM.....	116
Tab. 41: Datenspezifikation LPIS.....	117

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ALP	Alpine Biogeographische Region
API	Application Programming Interface
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
ATL	Atlantische Biogeographische Region
AWiFS	Advanced Wide Field Sensor
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BOA	Bottom-of-Atmosphäre
BW	Baden-Württemberg
CLC	CORINE Land Cover
DDA	Dachverband Deutscher Avifaunisten
DLM	Digitales Landschaftsmodell
DOP	Digitales Orthophoto
DTK	Digitale Topographische Karte
EEA	European Environment Agency
ESA	European Space Agency
FAO	Food and Agriculture Organization
FKZ	Förderkennzeichen
GIS	Geografisches Informationssystem
GRA	HRL Grasland
HE	Hessen
HR	High Resolution
HRL	High Resolution Layer
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
IRECI	Inverted Red-Edge Chlorophyll Index
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
JRC	Joint Research Centre
KON	Kontinentale Biogeographische Region
LANUV NRW	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein- Westfalen

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
LBM-DE	Landbedeckungsmodell für Deutschland
LISS	Linear Imaging Self Scanning Sensor
LPIS	Land-Parzellen-Informationssystem
LRT	Lebensraumtyp
LUCAS	Land Use and Land Cover Area frame Survey
MACCS	Multi-sensor Atmospheric Correction and Cloud Screening
MASD	Mean Absolute Spectral Dynamic
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared
OA	Overall Accuracy
PA	Producer Accuracy
QGIS	Quantum GIS
RF	Random Forest
RGB	Rot-Grün-Blau Farbmodus
SAR	Synthetic Aperture Radar
SH	Schleswig-Holstein
SVM	Support Vector Machine
SWIR	Short-Wavelength Infrared
TIR	Thermal Infrared
TOA	Top-of-Atmosphere
UA	User Accuracy
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator
VHR	Very High Resolution
WGS	World Geodetic System
WMS	Web Mapping Service

## 1 Einleitung

Durch den Anbau sogenannter Energiepflanzen für die Verstromung in Biogasanlagen kommt es zumindest regional zu einem starken Nutzungswandel, wobei u.a. Grünland in Ackerland umgewandelt wird. Zusätzlich steigt der Anteil von Energiepflanzen, insbesondere Mais, im Ackerbau stark an (BfN 2014; Nitsch et al. 2012; UBA 2018). Das Ausmaß ist vor allem im Bereich und Umfeld der Natura 2000-Gebiete nur unzureichend bekannt. Vor diesem Hintergrund wurde das UFOPLAN Vorhaben „Bedeutung und Auswirkungen Erneuerbarer Energien auf Natura 2000-Gebiete“ (FKZ: 3515 82 3800) initiiert und von der Firma EFTAS GmbH im Zeitraum 2016-2018 durchgeführt.

Eine besondere Herausforderung dieser Studie war es, verschiedene Methoden unter Berücksichtigung unterschiedlicher Ausgangsdaten über einen sehr langen Zeitraum zu vergleichen. Aus diesem Grund lag auf dem Aspekt der Vergleichbarkeit und Belastbarkeit der Methoden von Beginn an ein besonderes Augenmerk. Dies wird durch hohe Validierungsstandards und durch statistische Verfahren zur Gegenüberstellung von Klassifikationen sichergestellt.

Die folgenden Kernaspekte wurden in dieser Studie untersucht und werden im vorliegenden Bericht präsentiert:

- Stand der Forschung zu Daten und Methoden der Satelliten-Fernerkundung zur bundesweiten Detektion von Grünland und Ackerflächen
- Methodentests zur quantitativen und qualitativen Bewertung von Grünland-Standorten und Analyse der Veränderung der Grünland- und Ackeranteile im Zeitraum 1990-2016
- Anwendung der Methoden zur Bewertung von Landbedeckungsänderungen mit Relevanz für die beiden Zielarten Feldhamster (*Cricetus cricetus*) und Mornellregenpfeifer (*Charadrius morinellus*)
- Anwendung der Methoden zur Detektion und Unterscheidung von Grünland Lebensraumtypen innerhalb von Natura 2000 Gebieten

## 2 Stand der Forschung

Um den aktuellen Stand von Forschung und Technik zu erfassen, wurde eine Literaturrecherche bezüglich der fernerkundungsbasierten Klassifikation von Grünlandhabitaten und der Bestimmung von qualitativen Parametern durchgeführt (EFTAS GmbH 2018). Zur sicheren Unterscheidung von Grünland und Ackerbauflächen werden multitemporale Satellitendaten benötigt, welche seit einiger Zeit auch ausreichend und kostenfrei zur Verfügung stehen. Die aktuellen Ansätze untersuchen dabei unter anderem die Aspekte, wie viele Aufnahmen für die Klassifikation benötigt werden, welche Zeitfenster für die Auswahl am besten geeignet sind und welche Klassifikationsmethode und Merkmalsauswahl zielführend ist. Die Ansätze zur Erkennung von Grünland erreichen je nach Anwendung und verfügbaren Fernerkundungsdaten in der Regel Genauigkeiten von 85 % bis 90 % (Tab 1).

Tab 1: Vergleichswerte nationaler Grünland Klassifikationen.

Algorithmus	Sensordaten	Genauigkeit		Literatur
		PA (%)	UA (%)	
Random Forest	Landsat-8 Zeitreihe für Deutschland	86,0	81,0	(Mack et al. 2017)
C5.0 tree classifier	IRS P6 LISS und AWiFS Zeitreihe für Deutschland	85,7	87,3	(Esch et al. 2014)
Random Forest	Landsat 8 Zeitreihe für Frankreich	64,6 (natürliches Grasland) 90,1 (Intensiv-Grünland)	-	(Inglada et al. 2017)
Random Forest	Sentinel-2, Landsat-8 Zeitreihe	79,5	72,0	(Griffiths, Nendel, und Hostert 2019)

PA: Producer Accuracy (Produzentengenauigkeit); UA: User Accuracy (Nutzergenauigkeit)

Fast alle Klassifikationsverfahren arbeiten dabei mit überwachten Methoden, bei denen die Klassifikationsmodelle unter Nutzung von repräsentativen Trainingsdaten erstellt werden. In Abhängigkeit der Datenverfügbarkeit werden dabei Trainingsdaten manuell z. B. über Geländebegehungen erhoben (Franke et al. 2012), oder aus bestehenden Datensätzen abgeleitet (Zillmann et al. 2014). Sogenannte Support Vector Machine (SVM) und Random Forest (RF) Verfahren gehören zu den aktuell meist genutzten und performantesten Klassifikationsverfahren in verschiedenen Implementierungen (Khatami et al. 2016).

SVM-Ansätze tendieren zu besseren Klassifikationsergebnissen bei kleinen Trainingsdatensätzen, während RF-Ansätze gleichwertig gute Ergebnisse für große Trainingsdatensätze erzielen (Thanh Noi und Kappas, 2017). RF-Algorithmen sind dagegen einfacher konfigurierbar und benötigen weniger Rechenperformanz. Dies ist insbesondere von Vorteil bei der Analyse langer Zeitreihen (Inglada et al. 2017; Pelletier et al. 2016).

Bezüglich der Detektion qualitativer Grünland-Parameter gibt es Ansätze zur Bestimmung der Anzahl der durchgeführten Mahden, woraus sich die Nutzungsintensität ableiten lässt (Franke et al., 2012, Schuster et al., 2015). Ebenso können unter Verwendung von Vegetationsindizes (z. B. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) oder Normalized Red-

Edge Vegetation Index (NDVI RE-R)) einzelne Mahd-Zeitpunkte, sowie beispielsweise die naturschutzfachlich relevante Erst-Mahd bestimmt werden. Darüber hinaus wird versucht, weitere biophysikalische Parameter abzuleiten, wie z. B. die Beweidungsintensität, den Biomasseanteil, den Wasseranteil der Pflanzen und die Höhe des Bestandes. Radardaten eignen sich hier besonders, um die Struktur von Grünland zu erfassen.

Die Bodenfeuchte hingegen kann nur mit sogenannten aktiven Sensor-Systemen (z. B. Synthetic Aperture Radar, kurz SAR), bei denen aktiv ein Signal vom Satelliten ausgesendet wird und bis in die Erdoberfläche eindringen kann, erfasst werden. Die Ableitung der Bodenfeuchte aus Radardaten basiert auf der Tatsache, dass das zurückgestreute Radarsignal sensitiv bezüglich der Bodenfeuchte reagiert. Jedoch spielt hier auch die Bodenbeschaffenheit und die Vegetationsbedeckung eine Rolle, so dass sich die Bodenfeuchte nicht direkt aus dem Radarsignal ableiten lässt. Hier werden multitemporale Ansätze verwendet, die auf der Erkennung von Änderungen über die Zeit beruhen. Allerdings stehen die zur Kalibrierung notwendigen Referenzdaten nicht flächendeckend für Deutschland und für alle geforderten Zeitpunkte zur Verfügung. Daher wurden keine weiteren Untersuchungen in dieser Studie umgesetzt.

Für die Erkennung einer Grünland-Mahd auf Basis von Radardaten können zwei Auswerteverfahren unterschieden werden. Das Intensitätsprodukt beschreibt die Stärke des zurückgestreuten und vom Sensor wieder empfangenen Radarsignals. Schuster u. a. 2015 nutzten eine Intensitätszeitreihe aus TerraSAR-X Radardaten mit Aufnahmen im Abstand von 11 Tagen, um Mahd-Termine im Grünland zwischen Juni und September zu bestimmen. Dabei wird von der Annahme ausgegangen, dass direkt nach einer Mahd die gemittelte Intensität der Rückstreuung für eine Grünlandfläche ansteigt und anschließend wieder abfällt. Dieses Verfahren wurde in dieser Studie nicht genutzt. Es wurde auf ein weiteres Verfahren aufgesetzt. Dieses beruht auf der Tatsache, dass Grünland nach einer Mahd eine höhere Kohärenz aufweist als davor (Tamm et al. 2016). Kohärenz ist ein multi-temporales Radarprodukt, das den Phasenunterschied zwischen zwei Aufnahmen beschreibt. Es handelt sich um eine sogenannte interferometrische Berechnung. Je kürzer der zeitliche Abstand zwischen den Aufnahmen, desto größer im Normalfall die durchschnittliche Kohärenz eines Bildpaares. Vegetationsbestandene Flächen haben auch über kürzere Zeiträume eine niedrige Kohärenz. Versiegelte Flächen und offene Böden weisen über längere Perioden hohe Kohärenzwerte auf.

Basierend auf dem aktuellen Stand der Forschung wurden die folgenden Verfahren und Methoden exemplarisch auf unterschiedlichen Testgebieten untersucht (Kapitel 3.3):

- SVM- und RF-Klassifikationen zur Bestimmung von Acker- und Graslandflächen (quantitative Analyse)
- Nutzung optischer Bildindikatoren zur qualitativen Bewertung von Grünlandflächen
- SAR Kohärenz-Zeitreihenanalyse zur Erkennung von Grünland Mahd-Ereignissen (qualitative Analyse).

Die quantitativen Analysen wurden anschließend unter Verwendung des RF- Klassifikationsverfahrens auf das gesamte Bundesgebiet ausgeweitet zur Ableitung von Acker- und Grasland-Verbreitungskarten für die Referenzjahre 1990, 2006 und 2016 (Kapitel 3.5).

### 3 Methodentests

Die Methodentests wurden anhand eines mehrstufigen Workflows (Abb. 1) durchgeführt. Dieser generalisierte Ablauf stellt die verschiedenen Arbeitsschritte dar zur Ableitung von Datenprodukten aus Fernerkundungsdaten. Für die Untersuchungen galten zudem folgende Vorgaben an die genutzten Daten und Verfahren:

- Möglichst hohe Verfügbarkeit für zukünftige Anwendungen z. B. durch Open-Source Lizenzmodelle
- Primäre Anwendbarkeit der Methoden auf die Satelliten-Sensoren Sentinel-1, 2 und Landsat 8
- Nutzung (mindestens landes-, idealerweise bundesweit) harmonisierter Eingangsdaten für Training und Validierung der Bild-Klassifikationen.

Die einzelnen Stufen dieses Workflows werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben und die Ergebnisse der verschiedenen Methodenvergleiche vorgestellt.

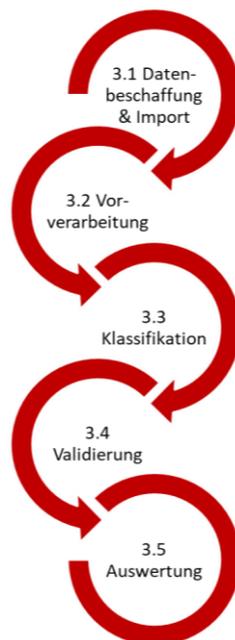


Abb. 1: Schematische Prozesskette.

#### 3.1 Datenbeschaffung und Import

Im Zuge der Datenbeschaffung und Analyse wurde eine umfassende Datenrecherche und Bewertung verfügbarer Satellitendaten und Geofachdaten durchgeführt (EFTAS GmbH 2017). Für die Auswahl der zu prüfenden Daten wurden ausschließlich Datenquellen untersucht, die für das BfN kostenfrei verfügbar sind und aus dem Zeitraum 1990-2016 stammen (für eine Übersicht siehe Anhang 1 und 2).

Durch die zunehmende Anzahl operativer Satelliten-Sensoren steigt die Verfügbarkeit

qualitativ hochwertiger aktueller Fernerkundungsdaten für das Monitoring von Acker- und Grünland-Veränderungen in Deutschland stetig an. Mit der Einführung der Sentinel Satellitenreihe der Europäischen Weltraumagentur (ESA) stehen seit Ende 2015 erstmals kostenfreie europäische Satellitendaten mit hoher zeitlicher Auflösung und Qualität für nationale Auswertungen zur Verfügung. Über Web-Schnittstellen können diese Daten zudem für automatisierte Verarbeitungsprozesse genutzt werden. Diese Daten stellten daher den Schwerpunkt in der Methodenentwicklung im Projekt dar, da ihre Verfügbarkeit auch langfristig als zentrale Komponente des europäischen Copernicus Programms gegeben ist.

Schwieriger gestaltete sich die Datenrecherche und Analyse archivierter Daten für den Zeitraum 1990-2015, also vor der Verfügbarkeit der Sentinel-Daten. Hier wurde sich in der Datenrecherche vor allem auf die Copernicus Datenprodukte der ESA (sogenannte Core Data Layers) fokussiert, sowie auf die kostenfreien Sensordaten der Landsat- und Terra-Aster Satelliten-Programme. Während die Landsat- und Terra-Aster-Daten auch in Form einheitlicher Datenformate und Standards über Web-Schnittstellen verfügbar sind, besteht die Mehrzahl der ESA Core Data Layer aus einer Sammlung unterschiedlicher Sensoren mit jeweils eigenen Metadatenformaten. Die Daten werden nur per ftp-Zugang zugänglich gemacht, ohne die Möglichkeit der räumlichen (z. B. Abdeckung für Deutschland) oder inhaltlichen (z. B. Sensor oder Aufnahme-Datum) Filterung. Die Datenablage auf den ftp-Servern der ESA ist lediglich innerhalb der einzelnen Layer einheitlich. Für die weitere Aufbereitung zur Klassifikation und Analyse wurde sich daher zunächst auf eine möglichst einheitliche Abdeckung durch nur einen Sensortyp je Referenzjahr beschränkt.

Neben den Satellitendaten waren weitere Geofachdaten für das Projektvorhaben notwendig. Für das Training und zur Validierung der Klassifikationsverfahren werden adäquate und qualitativ hochwertige Referenzdaten benötigt. Hier wurden bestehende nationale und internationale Geofachdaten analysiert. Neben einer ausreichenden inhaltlichen Detailschärfe ist hier vor allem die Aktualität der Referenzinformationen in Bezug auf den zu untersuchenden Zeitraum entscheidend. Dies für zurückliegende Zeiträume, vor allem für den ersten Zeitschnitt 1990, in einheitlicher und vergleichbarer Form zu gewährleisten, stellte eine besondere Herausforderung dar.

### **3.1.1 Auswahl der Fernerkundungs- und Geofachdaten**

Für die Eignung der verfügbaren Fernerkundungs- und Geofachdaten sind verschiedene Aspekte zu beachten. Zur Entwicklung einer übertragbaren und auf ganz Deutschland anwendbaren Prozesskette, also (teil)automatisierten Bildbearbeitung, spielen die folgenden Aspekte eine entscheidende Rolle:

- Daten-Lizenz und Verfügbarkeit für das BfN
- Verfügbarkeit in Bezug auf die Referenzzeiträume
- Fortführung der Datensätze und Verfügbarkeit für eine erneute Umsetzung der entwickelten Klassifikationsmethoden
- Datenqualität/Konsistenz: Vollständigkeit, angewandte Sensor/Datenmodelle, Genauigkeit
- Anwendbarkeit der Daten im Sinne einer einfachen Nutzung und Integration in teilautomatisierte Fernerkundungs-Prozessketten.

Die anhand dieser Kriterien in Betracht kommenden Bild- und Geofachdaten wurden umfangreich verglichen und bewertet (siehe Anhang 1 und 2). Die Bewertung der Bilddaten erfolgte über eine systematische Analyse der Daten, ihrer Datenmodelle, Lizenzen sowie Erfahrungen in der Datenbeschaffung.

Für die weitere Aufbereitung der Bilddaten zur Klassifikation und Analyse fokussierte man sich auf eine möglichst einheitliche Abdeckung durch nur einen einheitlichen Sensor-Typ je Referenzjahr. Nur dadurch lassen sich Teilprozesse einer komplexen Verarbeitung von Fernerkundungsdaten automatisieren und auch auf weitere Jahre und Regionen übertragen. Auf dieser Basis konnte eine Auswahl von Primärdaten-Quellen für die jeweiligen Referenzjahre identifiziert werden (Tab. 2). Ausgehend von anfänglich fünf Zeitschnitten (1990, 2000, 2006, 2012 und 2016) wurden aufgrund der Datenlage nur die Daten für die Jahre 1990, 2006 und 2016 zur Quantifizierung der Grünland- und Ackerveränderungen weiter aufbereitet und analysiert.

Für die Erstellung der Ackerbau- und Grünland-Verbreitungskarten wurde auf Bilddaten von Sentinel-2 und Landsat 4/5 zurückgegriffen (Tab. 2). Das Training der Klassifikationsmodelle erfolgte unter Nutzung der topographischen Landschaftsmodelle Basis-DLM (BKG 2016b), des LBM-DE (BKG 2016a) und des CLC-Systems (UBA 2016) sowie landwirtschaftlicher Anbauinformationen aus InVeKoS (EP 2013).

Neben den optischen Bilddaten von Sentinel-2 fanden auch die SAR-Daten des Sentinel-1-Systems Berücksichtigung bei den Untersuchungen zur Grünlandqualität. Hier wurden zusätzliche Gelände-Referenzinformationen erhoben zur Kalibrierung und Validierung der Methoden. Die Biotoptypen- und Lebensraumtypen-Fachinformationen der Länder konnten nur regional und begrenzt auf Testräume genutzt werden. Durch die Vielzahl der (landestypischen) Datenmodelle dieser Fachinformationen und die teilweise fehlende zeitliche Übereinstimmung zum notwendigen Referenzzeitraum der Satellitenbilddaten konnten sie nicht für die Erstellung bundesweiter Produkte genutzt werden. Eine Übersicht der Datenbewertung findet sich in Anhang 1-2.

Tab. 2: Übersicht verwendeter Primärdaten-Quellen.

Anwendung	Referenzjahr (Zeitraum)		
	2016 (2015-2017)	2006 (2004-2007)	1990 (1989-1991)
Training	Basis-DLM InVeKoS 2016 (nur regional)	CLC 2006 InVeKoS 2006 (nur regional) DLM-DE 09	CLC 1990 On-Screen
Validierung	LUCAS 2015 (angepasst) Basis-DLM Geländedaten	LUCAS 2006	On-Screen
Klassifikation	Sentinel-2 Sentinel-1	Landsat 4/5	Landsat 4/5

### 3.1.2 Daten Download

Für den Download von Sentinel-Daten stehen verschiedene Kanäle zur Verfügung. Primärer Daten-Provider ist die ESA. Diese betreibt über den Copernicus Open Access Hub (vormals SciHub genannt) eine offene Schnittstelle für den kostenfreien Bezug von Sentinel-Daten. Dabei sind verschiedene Daten-Zugriffsformen möglich:

- Open Data Access Hub: Über eine grafische Benutzeroberfläche können Sentinel-Daten recherchiert und per Download-Funktion bereitgestellt werden (Abb. 2)
- ESA API Hub: Programmier-Schnittstelle zum Zugriff und Download von Sentinel-Daten mit Hilfe automatisierter Skripte.

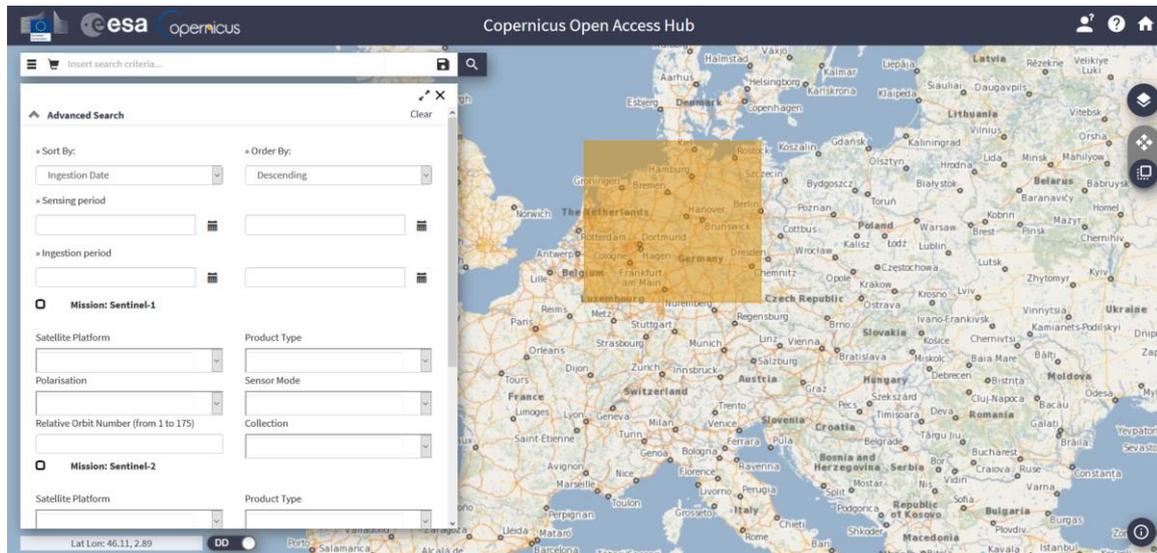


Abb. 2: ESA Open Data Access Hub Web-Oberfläche.

Für den automatisierten Daten Download wurde der EFTAS Sentinel-Loader genutzt, eine konsolenbasierte EFTAS-eigene Anwendung für den Download und die Vorverarbeitung von Sentinel-Daten über die ESA API. Die Anwendung wird über eine Kommandozeilenumgebung ausgeführt bzw. kann über Server-Skripte automatisiert werden inkl. weiterer Verarbeitungsschritte (z. B. Daten-Kachelung, Atmosphärenkorrektur).

Die Daten des Landsat Sensor Systems werden kostenfrei durch den United States Geological Survey (USGS), eine wissenschaftliche Behörde des Innenministeriums der Vereinigten Staaten von Amerika, bereitgestellt. Die Datenrecherche kann dabei z. B. über einen Karten-Client (<https://earthexplorer.usgs.gov>) durchgeführt werden. Für den massenhaften Download von Daten stehen gesonderte Portale und Werkzeuge zur Verfügung. Die Landsat 4/5 Daten für die Referenzjahre 1990 und 2006 wurden als „Surface Reflectance“ Produkte über das „LSDS Science Research and Development Center“ (LSRD, <https://espa.cr.usgs.gov/index/>) beschafft.

## 3.2 Vorverarbeitung

### 3.2.1 Klassendefinition Acker- und Grünlandflächen

Für die Klassifikation der Bilddaten wurde ein den Anforderungen angepasster Klassifikationschlüssel erstellt. Dieser setzt sich aus den Zielklassen Acker und Grünland sowie weiteren Landbedeckungs-Basisklassen zusammen.

Acker- und Grünlandflächen können ein hohes Maß an Heterogenität aufweisen, wodurch die Modellierung der Merkmalsverteilung erschwert wird. Neben den spektralen und Textur-Eigenschaften spielt z. B. die wachstumsbedingte Entwicklung der Ackerfrucht von deren Einsaat bis zur Ernte eine entscheidende Rolle zur Erkennung per Fernerkundung. Zur Abbildung ähnlicher phänologischer Entwicklungsphasen wurden die Ackerkulturen in die folgenden Hauptfruchtartengruppen unterteilt: Winter- und Sommergetreide, Hackfrüchte, Raps und Rübsen, Mais, sowie sonstiger Ackerbau.

Tab. 3: Definition der Klasse „Grasland“.

<b>Grasland</b>			
Hauptbestand:	<b>Gräser, krautige Pflanzen</b>	Anteil:	<b>≥ 75 %</b>
Nebenbestand:	<b>Bäume und Sträucher</b>	Anteil:	<b>&lt; 25 %</b>
<b>Generelle Beschreibung:</b>			
Pflanzengemeinschaften aus Gräsern, krautigen Pflanzen und Leguminosen auf trockenen bis feuchten Standorten.			
<b>Landbedeckung:</b>			
Der Pflanzenbestand setzt sich aus ein- und mehrjährigen Gräsern und Kräutern zusammen. Baum-, Strauchstrukturen < 25 %.			
<ul style="list-style-type: none"><li>• landwirtschaftlich genutzte grasbedeckte Flächen (Wiesen, Weiden, Mähweiden)</li><li>• Salzwiesen</li><li>• von grasartiger Bodendeckung dominierte Dünenbereiche</li><li>• subalpines bis nivales natürliches Grünland</li><li>• natürliches und naturnahes trockenes Grasland.</li></ul>			
<b>Landnutzung:</b>			
<ul style="list-style-type: none"><li>• Landwirtschaft: Beweidung und/oder Mahd, auch zur Offenhaltung regionaltypischer Landschaften. Die Nutzungsintensität reicht hierbei von intensiver Nutzung, d. h. i. d. R. wird mehr als zwei Mal (bis zu fünf Mal) im Jahr gemäht oder beweidet bis hin zu extensiv bewirtschaftetem mesophilem Grünland, vorwiegend 1-2-schürige Heuwiesen sowie langjährig extensiv bewirtschaftete Weiden</li><li>• Landwirtschaft: Grünfütterflächen auf Ackerflächen (z.B. Ackergras)</li><li>• Urbane und Freizeitnutzung: Gärten, Parks, Golfplätze, Zeltplätze, Kleingärten usw.</li></ul>			
<b>Ausschluss:</b>			
<ul style="list-style-type: none"><li>• Schilfbestände und von Sumpfpflanzen (Helophyten) dominierte Systeme</li><li>• Flächen mit mehr als 25 % Bäumen und/oder Sträuchern</li><li>• Weinbaugebiete, Obstplantagen (wenn diese mehr als 10 % Bäume oder Buschwerk enthalten)</li><li>• Nieder- und Hochmoore.</li></ul>			

Die Ausprägung von landwirtschaftlichen Grünlandflächen in Deutschland variiert stark und hängt im Wesentlichen von der Art des Grünland-Managements ab. Beispielhafte Nutzungsformen sind dabei:

- Mähwiesen: Nutzung zur Heu- oder Grünfütterproduktion mit i. d. R ein bis zwei Schnitten pro Jahr
- Mähweiden: Grünlandnutzung zur Heu- oder Grünfütterproduktion inkl. vor- oder nachgelagerter Beweidung
- Grünland für Silage-Produktion: mehrfacher Schnitt und Aufbringung von Dünger (organisch/mineralisch)
- Weide-Nutzung: durchgehende oder über Teilflächen rotierende Beweidung der Flächen mit Viehbeständen. Extensive bis intensive Nutzung.

Urbane oder für Sport- und Freizeitaktivitäten genutzte Grünlandflächen lassen sich aufgrund ihrer spektralen Eigenschaften nicht von landwirtschaftlichen Grünlandflächen unterscheiden, da sie über eine identische Landbedeckung und gemeinsame Pflanzenarten verfügen. Sie sind hochproduktiv und werden daher in der Regel regelmäßig gemäht.

Die folgenden Steckbriefe beschreiben die wesentlichen Eigenschaften der beiden Zielklassen „Grasland“ (Tab. 3) und „Ackerland“ (Tab. 4).

Tab. 4: Definition der Klasse „Ackerland“.

<b>Ackerland</b>			
Hauptbestand:	<b>Ackerpflanzen oder offener Boden</b>	Anteil:	<b>≥ 75 %</b>
Nebenbestand:	<b>Bäume und Sträucher</b>	Anteil:	<b>&lt; 25 %</b>
<b>Generelle Beschreibung:</b>			
Meist in Fruchtwechsel bewirtschaftete Flächen zum Anbau ackerbaulicher Hauptfruchtarten. Hierzu gehört auch die regenerative Brache.			
<b>Landbedeckung:</b>			
Meist in Fruchtwechsel bewirtschaftete Flächen zum Anbau der folgenden Hauptfruchtarten-Gruppen:			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wintergetreide (Winterroggen, Winterweizen, Wintergerste, Triticale)</li> <li>• Sommergetreide (Hafer, Sommergerste, Sommerroggen, Sommerweizen)</li> <li>• Hackfrüchte (Kartoffeln, Zuckerrüben, Futterrüben, Mais)</li> <li>• Öl- und Faserpflanzen (Raps, Rübsen, Sonnenblumen, Flachs, Hanf, usw.)</li> <li>• Sonstige Ackerbauflächen (Futterpflanzen, Feldgemüse, einjährige Sonderkulturen, Blumen, Flächen zum Anbau von Arznei-, Aroma- und Gewürzpflanzen, Tabak, Spargel, Erdbeeren). Sowohl Freilandanbau als auch unter Glas und Folie.</li> </ul>			
<b>Landnutzung:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Landwirtschaft im Fruchtwechsel.</li> </ul>			
<b>Ausschluss:</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleingartenanlagen/Schrebergärten</li> <li>• Stilllegungen (werden entsprechend der vorherrschenden Vegetation erfasst)</li> <li>• Wiesen/Weiden, naturnahes Grünland</li> <li>• Dauerkulturen (Obstbau, Baumschulen, Hopfenflächen, Weinbauflächen).</li> </ul>			

Tab. 5: Übersicht der Landbedeckungsklassen zur Satellitenbild-Klassifikation.

Code1	Level 1	Code 2	Level 2	Beschreibung/Ausprägung
1	Versiegelung	10		künstliche und oft versiegelte Oberflächen (Gebäude, versiegelte Infrastruktur), inkl. Gewächshäuser
2	Grasland	20	Grasland	Mähweiden, Weiden, Wiesen, Ackergras, urbane und Freizeit-Grasflächen
3	Ackerbau	31	Wintergetreide <sup>1</sup>	Winterroggen, Winterweizen, Wintergerste, Triticale
3		32	Sommergetreide <sup>1</sup>	Hafer, Sommergerste, Sommerroggen, Sommerweizen
3		33	Hackfrüchte	Kartoffeln, Zuckerrüben, Futterrüben
3		34	Mais	Körner- und Futtermais
3		35	Raps und Rübsen	Raps und Rübsen (als Ölpflanzen in Winterkultur)
3		36	Sonstige Ackerbauflächen	Stilllegungsflächen, Feldgemüse, einjährige Sonderkulturen, (Sonnen)blumen, Flachs, Hanf, Flächen zum Anbau von Arznei-, Aroma- und Gewürzpflanzen, Tabak, Spargel (im Freilandanbau), Leguminosen
3		37	Winter- und Sommergetreide <sup>1</sup>	kombinierte Definition aus Code 2, Klasse 31 und 32
4	Wald und Gehölze	40		Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Gehölze und Verbuschungen
5	Wasser	50		Stillgewässer, Fließgewässer, Meer, Gezeitenbereich
6	Marschen und Feuchtgebiete	60		Nieder- und Hochmoore
7 <sup>2</sup>	Offenboden	70		künstlich oder natürlich geschaffener Oberboden oder Felsen ohne Vegetation
8	Gletscher, Schnee	80		permanente Schnee- und Eisflächen
9	Dauerkulturen	91	Obstbau	Obstbau, Obst- und Baumschulen
9		92	Weinbau	Wein

<sup>1</sup> Winter- und Sommergetreide wurde nur für das Referenzjahr 2016 unterschieden, da die vorliegenden Trainings- und Referenzdaten keine Unterscheidung der beiden Getreide-Gruppen in 1990 und 2006 ermöglichten.

<sup>2</sup> Die Klasse „Offenboden“ wurde im Laufe der Methoden-Entwicklung nicht weiter genutzt und in Klasse 1 integriert.

### 3.2.2 Acker- und Grünland Trainingsdaten

Beim Training ist zu beachten, dass einige Klassen sehr selten vorkommen und entsprechend wenig Trainingsamples vorhanden sind. Ebenso sollte der Klassifikator keine Überanpassung (Overfitting) an die Lernstichprobe aufweisen. Die Klassifikation sollte anhand einer stratifizierten, proportionalen und zufälligen Lernstichprobe antrainiert werden können. Dabei kann die Lernstichprobe aus Ground-Truth-Daten einer Geländebegehung stammen, von einem erfahrenen Operateur manuell per Bildschirm-Auswertung erstellt, oder aus bestehenden Geofachdaten extrahiert worden sein.

Innerhalb des Vorhabens wurde ein kombinierter Ansatz aus automatischer Trainingsdaten-Extraktion aus bestehenden Geofachdaten und manueller Prüfung und Anpassung durch erfahrene Bildinterpreten durchgeführt. Dabei wurden für die verschiedenen Referenzjahre unterschiedliche Daten und Verfahren genutzt (Tab. 6).

Tab. 6: Trainings-Datenübersicht

	Referenzjahr (Zeitraum)		
	2016 (2015-2017)	2006 (2005-2007)	1990 (1989-1991)
Trainingsdaten	Basis-DLM 2016 InVeKoS 2016	CLC 2006 DLM-DE 2009 On-Screen	CLC 1990 On-Screen
Landbedeckungslevel für Training und Klassifikation	Level 1 Level 2	Level 1 Level 2 (für ausgewählte Regionen)	Level 1

Die Ableitung der Trainingsdaten 1990 erfolgte auf Basis der verfügbaren und national einheitlich vorliegenden Informationen zur Landbedeckung und -nutzung. Dabei wurden für die Landbedeckungsklassen die CLC 1990 Daten genutzt. Um das Problem der generalisierten Klassen innerhalb der CLC Daten mit einer Mindestkartierfläche von 25 ha zu minimieren, wurden die CLC Daten unter Zuhilfenahme der 1 ha DLM-DE 2009 Daten weiter verarbeitet:

- Verschneidung CLC 1990/DLM-DE 2009, einschließlich notwendiger semantischer und topologischer Prüfungen und ggf. Nachbearbeitungen
- Auswahl Flächen > 1 ha mit identischer Landbedeckung (Annahme: keine Veränderung, d. h. stabile Landbedeckung)
- Erstellung Trainingspunkt-Stichprobe: Stratifizierte und proportionale Zufallsverteilung (Zielgröße: 15000 Samples/Kachel) (Abb. 3).

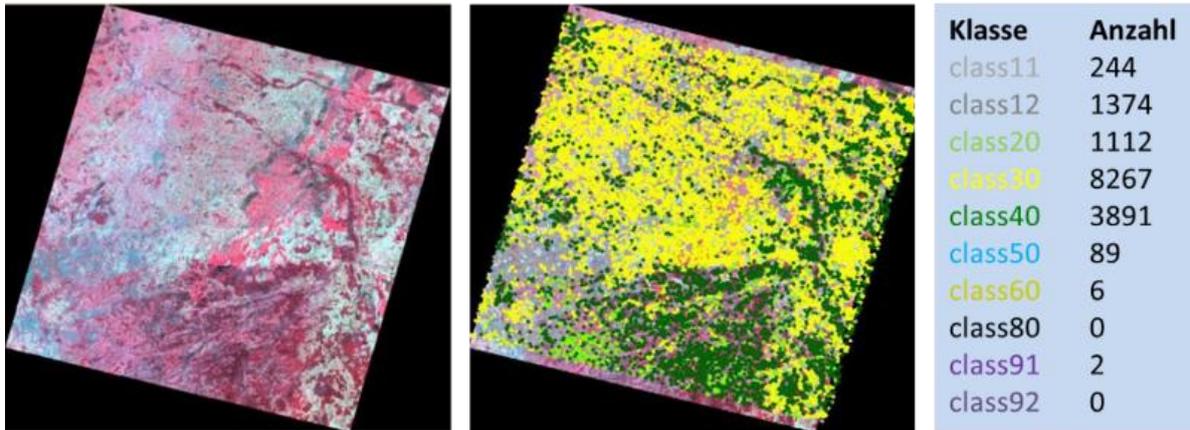


Abb. 3: Beispiel zur Stratifizierung der Trainingsdaten innerhalb einer Landsat-Kachel (Links, Landsat Szene 196024 vom 31.07.1990, Mitte: Verteilung Trainingspunkte, Rechts; Klassen-Verteilung). © LANDSAT5 Daten verfügbar über den U.S. Geological Survey.

Die Trainingsdaten 2006 wurden auf Basis der verfügbaren, einheitlich vorliegenden Informationen zu Landbedeckung und -nutzung aus CLC 2006 und DLM-DE 2009, sowie regional vorliegenden landwirtschaftlichen Referenzinformationen (InVeKoS) erstellt. Dabei wurden die folgenden Verarbeitungsschritte durchgeführt:

- Verschneidung von CLC 1990, DLM-DE 2009 und InVeKoS 2006, einschließlich notwendiger semantischer und topologischer Prüfungen und bei Bedarf Nachbearbeitungen
- Auswahl Flächen > 1 ha mit identischer Landbedeckung CLC und DLM-DE (Annahme: keine Veränderung)
- Auswahl Flächen > 0.5 ha InVeKoS
- Erstellung Trainingspunkt-Stichprobe: stratifizierte und proportionale Zufallsverteilung (Zielgröße: 15000 Samples/Kachel).

Grundlage der automatisierten Trainingsdatenselektion 2016 ist das ATKIS Basis DLM (in der Bereitstellung von 2016) sowie Agrar-Fachdaten aus dem InVeKoS Antragsjahr 2016, die anonymisiert für mehrere Bundesländer zur Verfügung standen. Im Zuge einer GIS Aufbereitung wurden die Geometrien und Sachdaten je Bundesland semantisch und topologische geprüft und bei Bedarf Korrekturen durchgeführt. Die Level-2-Klassen der Landbedeckung wurden dabei aus den anonymisierten InVekoS Daten abgeleitet. Eine regelbasierte Plausibilitätsprüfung sortierte anschließend anhand von spektralen Kriterien untypische Flächen der jeweiligen Klasse als Ausreißer aus.

### 3.2.3 Acker- und Grünland Validierungsdaten

Für die Validierung der Grünland- und Ackerprodukte wurde eine Referenzstichpunkt-Probe erstellt. Hierzu wurde primär auf das LUCAS-Verfahren des Europäischen Statistikamtes Eurostat zurückgegriffen (Eurostat 2017). LUCAS steht für „Land use and land cover area frame survey“. Die Datenerhebung findet im Feld statt und wird in ihrer jetzigen Form seit 2009 alle drei Jahre durchgeführt. Die Daten, die während der LUCAS-Kampagne erhoben werden, dienen zur Erstellung von Statistiken zur Landbedeckung und Landnutzung. Er-

gänzend werden anonymisierte InVeKoS-Agrarflächeninformationen und visuelle (Re-)Interpretationen der Satellitenbilder genutzt.

Aus den LUCAS 2015 Daten wurden die Punktinformationen zur Landbedeckung für Deutschland extrahiert und in die Zielklassen dieser Studie überführt. Für Deutschland ergibt sich daraus eine Gesamtzahl von mehr als 26.000 LUCAS-Punkten für alle Zielklassen. Aus dieser Gesamtzahl wurde eine zufällige Unterauswahl getroffen. Hierzu wurde eine Zielgröße von 150 Punkten je Zielklasse auf Bundeslandebene angestrebt, um eine ausreichend große Anzahl von Referenzpunkten in den häufigsten LUCAS Klassen (Acker, Grasland, Wald) zu erreichen und um auch nach dem Abzug der nicht geeigneten Punkte (z. B. durch Bildfehler), einen Standardfehler von unter 4 % für die Nutzergenauigkeit der Hauptklassen auf Bundeslandebene zu erhalten. Zusätzlich wurden noch LUCAS-Punkte aus den Klassen Feuchtgebiete, Offenboden, Versiegelung, Wasser und Dauerkulturen gezogen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass für den Großteil der selteneren Klassen, wie z. B. Dauerkulturen, in keinem Bundesland 150 LUCAS-Punkte verfügbar waren. Die Bundesländer Brandenburg und Berlin, Schleswig-Holstein und Hamburg, Niedersachsen und Bremen sowie Rheinland-Pfalz und Saarland wurden jeweils zusammengefasst. Für Bayern wurden aus den Klassen Grünland, Acker und Wald jeweils 300 Punkte ausgewählt, um eine ausreichende Punktdichte für das flächengrößte Bundesland zu erreichen (Abb. 4). Zur Aktualisierung der LUCAS 2015 Daten auf das notwendige Referenzjahr 2016 wurden die Landbedeckungsinformationen aus den verfügbaren InVeKoS 2016 Daten verwendet, sofern diese in ihrer Lage mit den ausgewählten Punkten übereinstimmten. Für alle nicht durch die InVeKoS Referenz abgedeckten LUCAS 2015 Punkte wurde eine visuelle Qualitätsprüfung auf Basis von Sentinel-2-Bilddaten aus dem Jahr 2016 durchgeführt und die Punkte ggf. aktualisiert. Da insbesondere auf den Ackerflächen eine Veränderung zu 2015 zu erwarten war, bildete die LUCAS 2015 Information hier lediglich eine Entscheidungshilfe in den Hauptklassen. Punkte, die nicht eindeutig einer Landbedeckungsklasse zugeordnet werden konnten, wurden als „nicht interpretierbar“ klassifiziert und nicht für die Validierung berücksichtigt.

Hierzu zählen z. B.:

- Punkte, die anhand ihrer Lage nicht zugeordnet werden konnten (auf linearen Objekten, Grenzen, etc.)
- Punkte, für die kein adäquates Bildmaterial zur Interpretation vorlag (Wolken, Überstrahlung, Schattenwurf, etc.)
- Darüber hinaus wurden nur Punkte zugelassen, die eine einheitliche Landbedeckungsklasse innerhalb eines 10 m Radius repräsentierten (Abb. 5).



Abb. 4: Übersicht der Stichprobenauswahl für 2016.

Für die Referenzstichprobe 1990 und 2006 wurden die LUCAS 2006 Daten auf Basis von Landsat 4/5/7, sowie dem BKG DOP WMS (2005-2007) für 2006 verifiziert (Tab. 7). Zusätzlich wurden Informationen aus Corine Land Cover (CLC) für die jeweiligen Zeitschnitte bei der Interpretation berücksichtigt. Hierdurch ergibt sich eine Validierungs-Stichprobe von ca. 7700-8600 Punkten verteilt über Deutschland.

Tab. 7: Übersicht der Referenzdatengrundlage.

Referenzjahr	Datengrundlage	Anzahl Punkte
1990	Corine Land Cover Daten visuell verifiziert mit Landsat-Daten aus 1990	5757
2006	Corine Land Cover Daten visuell verifiziert mit Landsat-Daten aus 2006 und Archiv DOPs aus 2006 über WMS	5790
2016	LUCAS 2015 verifiziert mit Sentinel-2 2016 und INVEKOS 2016 Antragsdaten	6127



Abb. 5: Beispiel eines verworfenen Validierungspunktes. Bildhintergrund: WMS-DOP Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).

### 3.2.4 Grünland-Mahd Trainings- und Validierungsdaten

Die Mahd-Detektion wurde unter Anwendung der Kohärenzanalyse und Sentinel-1 Radar-daten in drei verschiedenen Testgebieten (TG) geprüft (Abb. 6). Innerhalb dieser Testgebiete wurden Grünlandkartierungen durchgeführt. Erfasst wurden hier regelmäßig alle Mahd-Tätigkeiten bzw. die aktuelle Höhe der Vegetation auf 95 Grünlandflächen (Tab. 8). Des Weiteren standen Informationen zum Vorkommen der Lebensraumtypen (LRT) aus einer aktuellen Kartierung des LANUV NRW zur Verfügung. Innerhalb der Testgebiete Schleswig-Holstein, Hessen und Baden-Württemberg (SH, HE, BW) fanden die Gelände-kartierungen im Zeitraum Mai-Juni 2017 statt.

Tab. 8: Klassenschlüssel der Grünlandkartierung.

Code	Erklärung	Anzahl Referenzflä- chen		
		TG BW	TG HE	TG SH
H	Gemähtes Grünland (Schnittgut liegt noch auf der Fläche)	11	59	16
G	Seit wenigen Tagen gemähtes Grünland (kein Schnittgut mehr vorhanden, Vegetation < 5 cm)	27	246	36
A	Grünland im Aufwuchs nach Schnitt (Vegetation 10-20 cm)	7	3	3
B	Grünland im Aufwuchs nach Schnitt (Vegetation 20-30 cm)	5	-	-
C	Grünland ohne Schnitt (in Blüte, Vegetation 40-60 cm)	17	-	-
U	Umgebrochen	-	-	-
W	Beweidetes Grünland	1	67	-

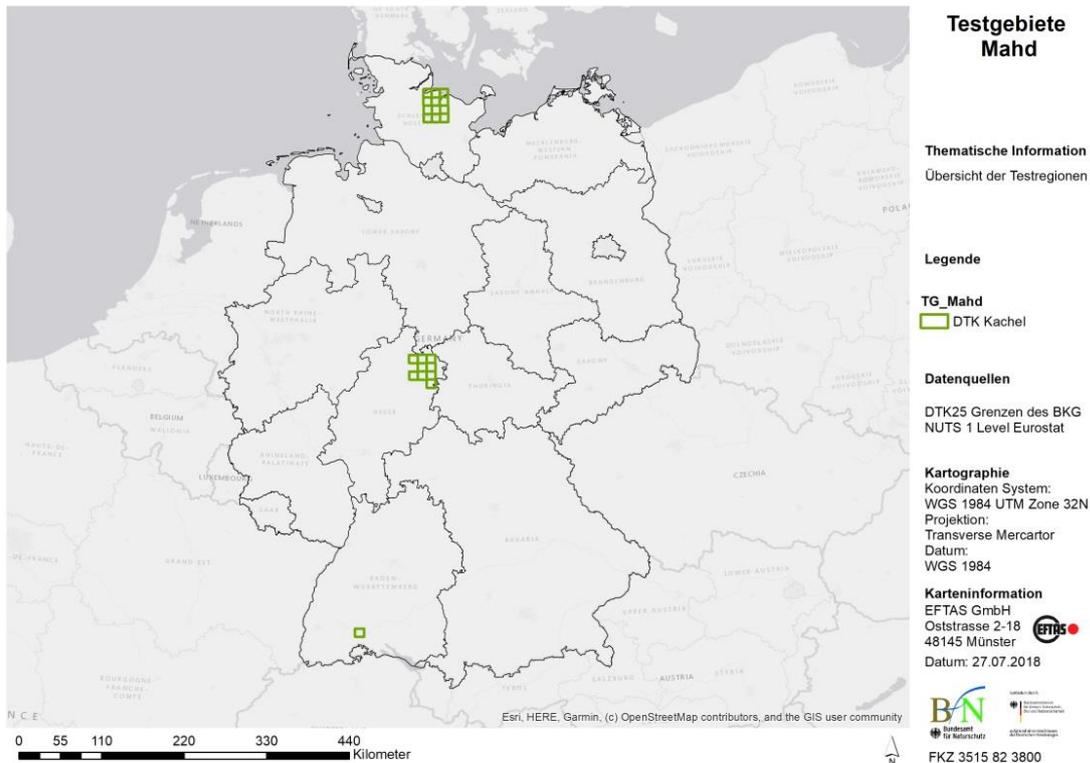


Abb. 6: Übersicht der Testgebiete für die Mahd-Detektion.

### 3.2.5 Vorverarbeitung Sentinel Daten

Für die Vorprozessierung von Sentinel Daten stellt die ESA SNAP-Toolbox notwendige Funktionen bereit. Die SNAP-Toolbox ist eine kostenfreie Open Source Software, die über die ESA Homepage heruntergeladen werden kann (<http://step.esa.int/main/download/>).

SNAP besteht aus einer graphischen Benutzeroberfläche und einer Konsolenanwendung. Die graphische Nutzeroberfläche „SNAP Desktop“ stellt die Funktionen der verschiedenen Toolboxes, die Möglichkeit der Bilddarstellung als Graustufen- oder RGB-Bild, ein Navigationsfenster, einen Produktexplorer sowie weitere Funktionen bereit. Mit Hilfe von SNAP lassen sich sowohl die optischen Sentinel-2, als auch die Sentinel-1 Radar-Daten verarbeiten. Diese können im Original .SAFE.zip.-Format oder bereits prozessiert in anderen Formaten geladen werden. Viele der Funktionen können auch über das SNAP Kommandozeilenprogramm aufgerufen werden, um in Batchprozessen eine große Anzahl von Eingangsdatensätzen automatisiert zu verarbeiten.

Sentinel-2-Daten können als Top of Atmosphere (TOA)-Daten im sogenannten Level-1C-Format über die ESA Copernicus Open Data Access Hub und API Hub bezogen werden. Die Reflektanz entspricht hier den Werten am oberen Rand der Atmosphäre und enthält demnach noch alle störenden Atmosphäreffekte. Neben den TOA-Reflektanzen wird auch ein Wolkenlayer mitgeliefert, der sowohl Zirruswolken (CIRRUS) als auch deckende Wolken (OPAQUE) enthält. Die Qualität der mitgelieferten Wolkenmaske ist jedoch oftmals nicht ausreichend, da Wolken und Wolkenshatten nicht immer vollständig erfasst werden

(Abb. 7). Da eine spektrale Auswertung in den betroffenen Bereichen zu Fehlklassifikationen führen würde, ergibt sich daraus die Notwendigkeit, die Wolkenmaske noch weiter aufzubereiten.

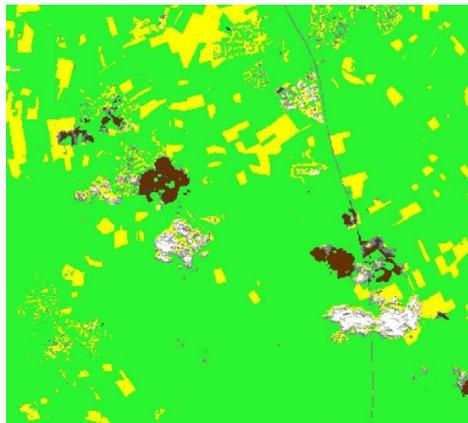


Abb. 7: Polygone der Wolkenmaske für Sentinel-2 Level-1C (schwarz umrandet). Hintergrundbild: Copernicus Sentinel-2 Daten 2016.

Mit dem frei nutzbaren Tool Sen2Cor (Sentinel-2 atmospheric correction) kann eine Atmosphärenkorrektur der Level-1C-Daten berechnet werden, die die Wirkung von Streuung und Absorption durch Gase und Aerosole in der Atmosphäre zwischen der Erdoberfläche und dem Sensor berücksichtigt, um Daten mit Bottom of Atmosphere-(BOA) Reflektanzen entsprechend dem unteren Rand der Atmosphäre zu erhalten. Die Atmosphärenkorrektur mit Sen2Cor schließt ebenfalls eine Erkennung und Korrektur von Zirruswolken und eine Korrektur der Geländeneigung ein. Das Tool liefert neben den BOA-Reflektanzen (Abb. 8) in den verschiedenen räumlichen Auflösungen der Kanäle (10 m, 20 m und 60 m) die Aerosol Optische Dichte (AOT), den Wasserdampfgehalt (VW), ein Wolken-Screening sowie eine thematische Klassifikation. Die Lage der enthaltenen deckenden Wolken mit den entsprechenden Wolken Schatten kann einer thematischen Klassifikation (Abb. 9) entnommen werden. In dieser Klassifikation werden die Bildinformationen nach Wasser, Offenboden und Vegetation unterschieden. Zusätzlich werden die Klassen Wolken, Schnee, Wolken Schatten und gesättigte Pixel als sogenannte ungültige Pixel klassifiziert. Die thematische Klassifikation kann im Folgenden dazu verwendet werden, die Wolken und Wolken Schatten mit Pixeln aus geeigneten zeitlich eng beieinander liegenden Sequenzen zu ersetzen.



Abb. 8: Sentinel-2 Level-2A BOA-Echtfarben-Darstellung. Hintergrundbild: Copernicus Sentinel-2 Daten 2016.



Label	Classification
0	NO_DATA
1	SATURATED_OR_DEFECTIVE
2	DARK_AREA_PIXELS
3	CLOUD_SHADOWS
4	VEGETATION
5	BARE_SOILS
6	WATER
7	CLOUD_LOW_PROBABILITY
8	CLOUD_MEDIUM_PROBABILITY
9	CLOUD_HIGH_PROBABILITY
10	THIN_CIRRUS
11	SNOW

Abb. 9: Thematische Klassifikation der Szene aus Abb. 8 als Ausgabe von Sen2Cor.

Mit dem frei nutzbaren Level-3 Prozessor Sen2Three können Sequenzen von Sentinel-2 Level-2-A-Bildern zeitlich ausgewertet werden. Dabei werden die als ungültig klassifizierten Pixel der thematischen Klassifikation mit Pixeln aus den anderen Bildern der Zeitreihe ersetzt. Die thematische Klassifikation muss vorher mit dem Sen2Cor-Tool berechnet werden. Ungültige Pixel sind hier alle Pixel, die nicht den thematischen Klassen Wasser, Vegetation oder Offenboden entsprechen, sondern einer der Klassen Wolken, Wolkenshatten, Schnee, sehr dunkle Pixel oder gesättigte Pixel angehören. Die Ersetzung der Pixel kann nach vier verschiedenen implementierten Algorithmen vorgenommen werden:



Mittelwert-Verfahrens können phänologisch bedingte spektrale Unterschiede verloren gehen.

Um die Datenqualität zu verbessern, wurde daher eine zeitliche Interpolation ungültiger Pixel durchgeführt, unter Verwendung eines linearen Interpolationsverfahren (Temporal Gapfilling<sup>3</sup>). Hierbei werden die ungültigen Pixelwerte unter Nutzung gültiger Pixelwerte eines zeitlich vorher und nachher aufgenommenen Bildes interpoliert (Inglada et al., 2015). Dieser Ansatz wurde für die Vorverarbeitung aller Sentinel-2 Daten aus 2016 genutzt.

Für die Verarbeitung der Sentinel-1 Daten wurde ebenfalls die SNAP-Toolbox der ESA eingesetzt. Aus den Sentinel-1 Originaldaten wurden multitemporale Kohärenz-Bilder gerechnet. Die interferometrische Berechnung mit SNAP wurde für jeweils zeitlich aufeinander folgende Sentinel-1 Aufnahmen mit 6 bzw. 12 Tagen Abstand ausgeführt. Dabei wurde sowohl das Kohärenzprodukt für die beiden Aufnahme-Modi VH-Polarisation (Vertikale Signal-Sendung, horizontaler Empfang) als auch für mit VV-Polarisation (Vertikale Sendung und Empfang) berechnet, um die Ergebnisse zu vergleichen.

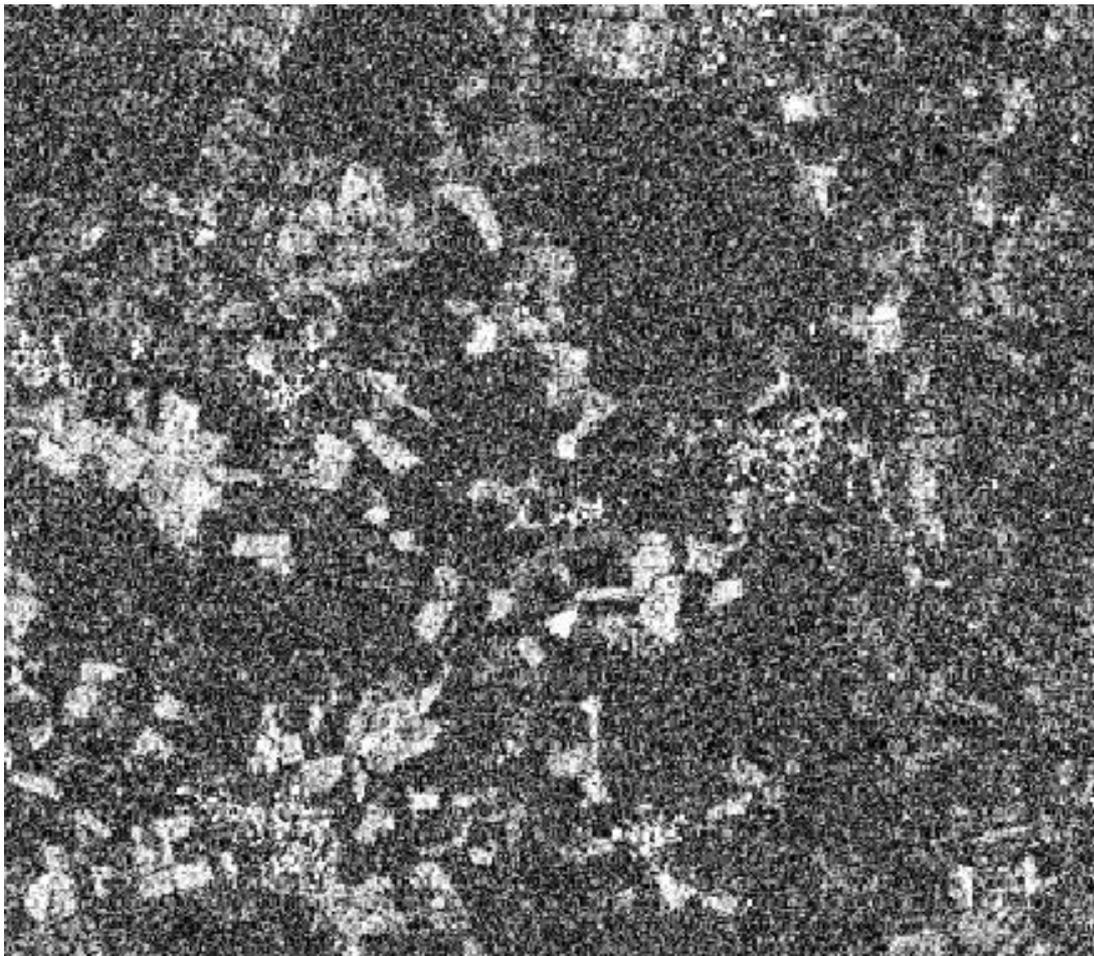


Abb. 11: Ergebnis Kohärenzberechnung für die Aufnahmezeitpunkte 27.05.2017 und 02.06.2017.

---

<sup>3</sup> <http://tully.ups-tlse.fr/jordi/temporalgapfilling.git>, letzter Zugriff: 07.07.2018

### 3.2.6 Vorverarbeitung Landsat Daten

Die USGS Surface Reflectance Produkte des Landsat 4/5 Sensors wurden weiter prozessiert. Hierzu wurden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Definition des Bildbereichs pro Zeitreihe und Landsat Path/Row Ausdehnung mit gültigen Pixelwerten (Maskierung ungültiger Pixel)
- Berechnung von Wolkenmasken
- Spektrale lineare Interpolation von Bildbereichen mit Wolken und Datenfehlern (Abb. 12)
- Ableitung multi-annualer Zeitreihen.

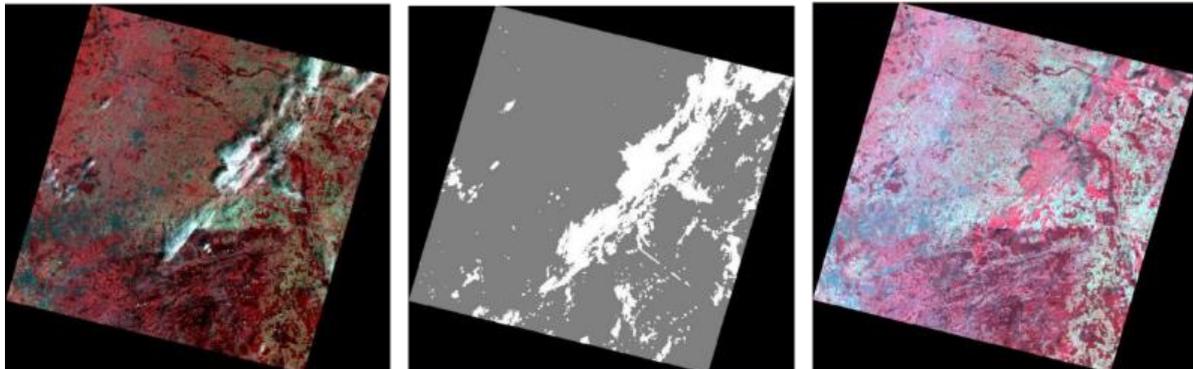


Abb. 12: Beispielhafte Darstellung der linearen Interpolation (von links nach rechts): Ausgangsbild, Wolkenmaskierung und Interpolations-Ergebnis (Path/Row 196024, 31.07.1990). © LANDSAT5 Daten verfügbar über den U.S. Geological Survey.

### 3.3 Klassifikation

Vor der deutschlandweiten Anwendung der Klassifikationsverfahren zur Acker/Grünlandklassifikation wurden initial verschiedene Methodentests innerhalb eines Testgebietes in Westdeutschland durchgeführt. Die Wahl der Klassifikationsalgorithmen wurde auf Basis der Literaturrecherche und der Datenverfügbarkeit getroffen. Der Random Forest (RF) Ansatz wurde aufgrund seiner guten Eignung zur Verarbeitung großer Datenmengen gewählt. Diese Datensituation ist für das Referenzjahr 2016 (sowie zukünftige Klassifikationen/Analysen), sowohl seitens der Trainings- als auch der Bilddaten gegeben. Zusätzlich wurde ein Support Vector Machine (SVM) Ansatz getestet. Dieser ist besser geeignet für die Klassifikation kleinerer Trainingsdatenmengen.

Die Methodentests zur Untersuchung der Grünland-Qualität (SAR Zeitreihenanalyse und weitere Indikatoren) wurden innerhalb verschiedener Testregionen in Deutschland durchgeführt. Die Auswahl erfolgte hierbei unter Berücksichtigung der Trainings- und Referenz-Datenlage.

#### 3.3.1 Support Vector Machine und Random Forest Klassifikation

Die RF und SVM Methodentests fanden auf Basis der vorhandenen Daten für das Referenzjahr 2016 statt. Die Test-Klassifikationen wurden innerhalb eines Testgebiets (TG) in Westdeutschland (Mitte/West, MW) durchgeführt (Abb. 13). Für die RF Klassifikation wurde

ein im Sen2Agri System implementiertes Verfahren genutzt, das auf der Bildanalyse-Bibliothek OpenCV basiert. Sen2Agri ist eine orchestrierte Prozesskette zur Klassifikation von Agrarflächen, die unter einer freien Software-Lizenz von der ESA zur Verfügung gestellt wird.

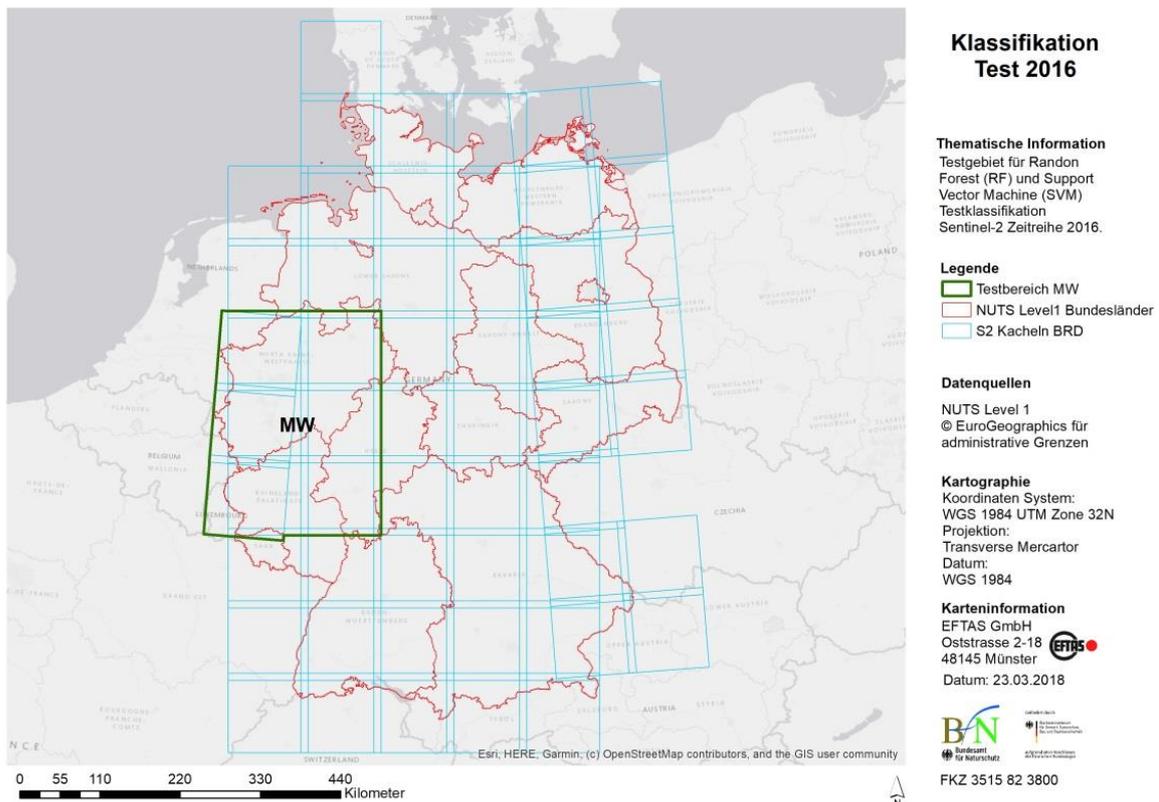
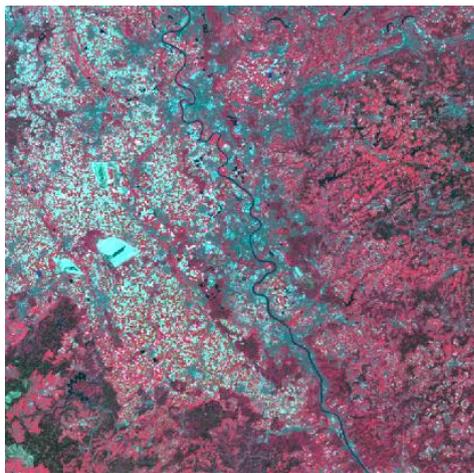


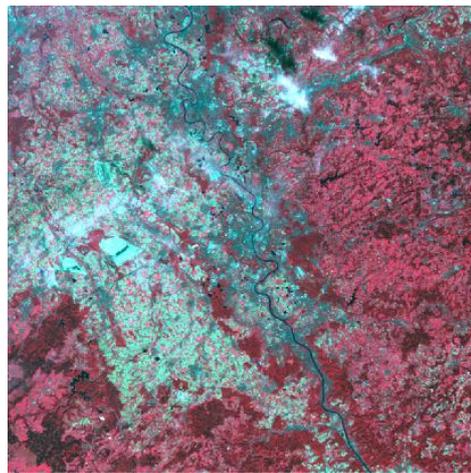
Abb. 13: Gebietsübersicht des für den RF und SVM Methodentest 2016 ausgewählten Testbereichs MW (grün umrandet).

Die SVM Klassifikation wurde auf Basis der von EFTAS entwickelten Software „ALIS“ durchgeführt. Hier ist ein SVM Algorithmus zur Verwendung von multispektralen und -temporalen Informationen der Satellitenbild- und Trainingsdaten implementiert (Abb. 14).

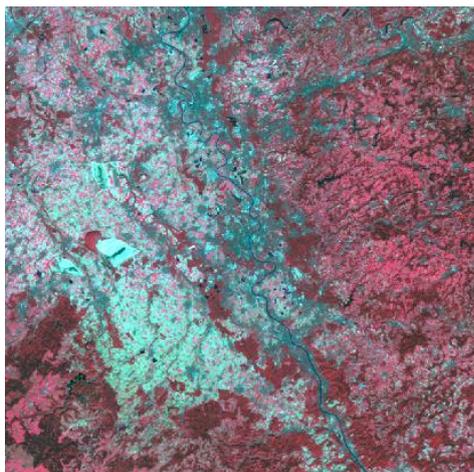
Zunächst wurde anhand identischer Trainings- und Sentinel-2-Bilddaten (05.05, 08.05, 12.09 und 25.09.16) ein Klassifikations-Vergleich zwischen RF und SVM durchgeführt. Eine visuelle Validierung der Ergebnisse zeigte dabei eine sehr hohe Übereinstimmung der beiden Verfahren (Abb. 15).



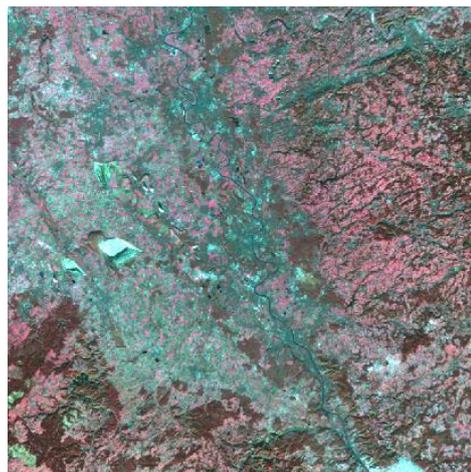
a) 08.05.2016



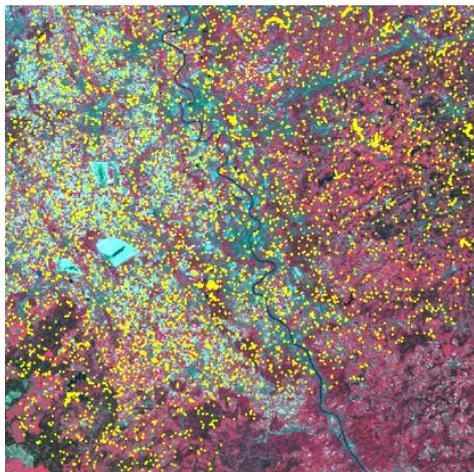
b) 26.08.2016



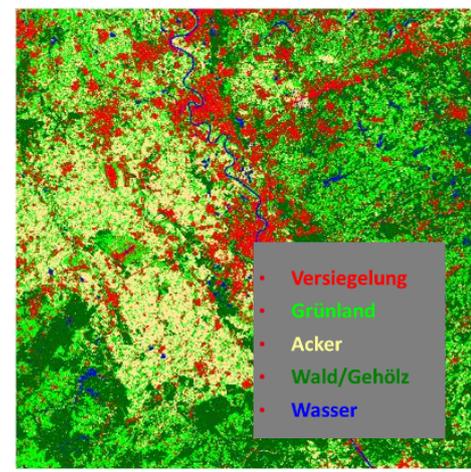
c) 25.09.2016



d) 04.12.2016



e)



f)

Abb. 14: Bilddaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte der Sentinel-2 Granule 32 UMB (RGB Darstellung) (a-d), verwendeten Trainingsdaten (e) und SVM Klassifikationsergebnis (f) des ALIS Tools. Hintergrundbild: Copernicus Sentinel-2 Daten 2016.

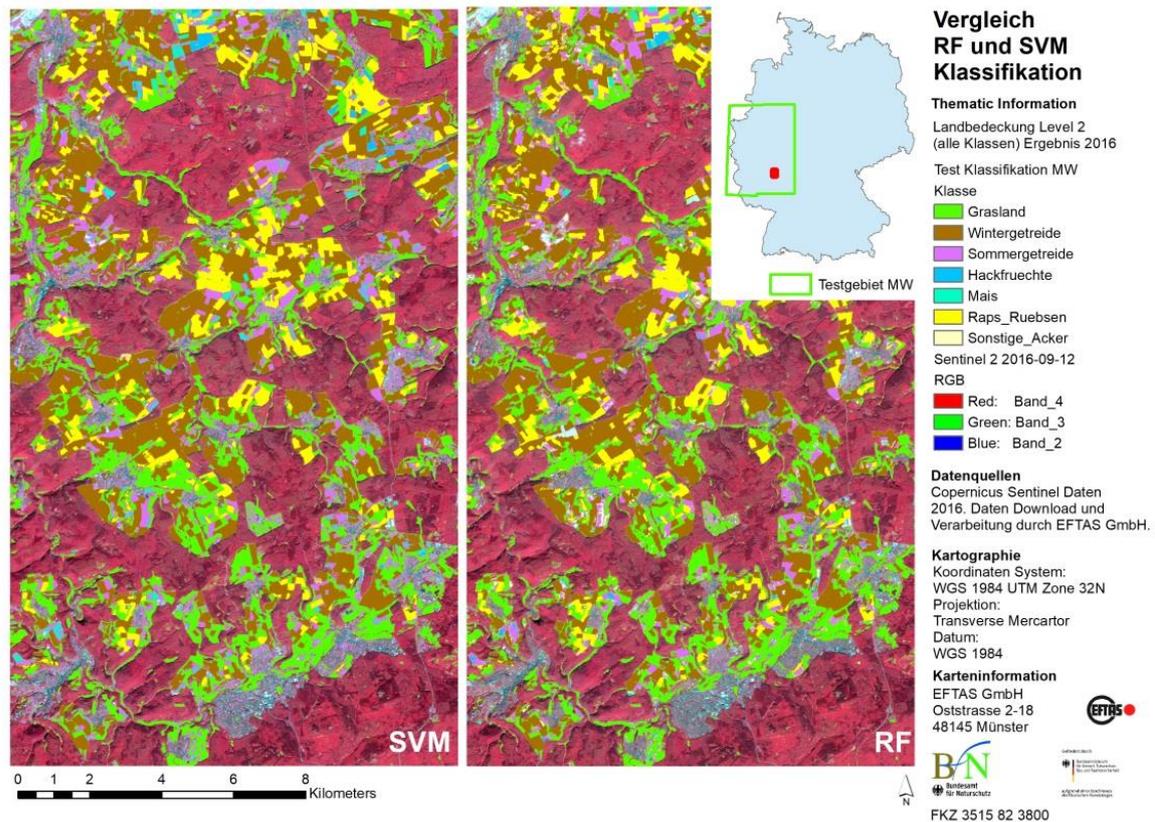


Abb. 15: Visueller Vergleich der SVM Klassifikation (links) und der RF Klassifikation (rechts).

Für die nachfolgenden Klassifikationstests wurde nur der RF Ansatz berücksichtigt, da dieser einfacher konfigurierbar ist und weniger Rechenperformanz benötigt bei den großen Datenmengen langer Zeitreihen (Pelletier et al. 2016). Als Bild-Eingangsdaten wurden daher alle Sentinel-2 Bilder der Vegetationsperiode 2016 (März-Oktober) genutzt mit einer Wolkenbedeckung < 70 %. Diese wurden atmosphärenkorrigiert und über eine Wolkenerkennung nicht nutzbare Bildbereiche ausmaskiert. Bei der Anzahl der Trainingsdaten sowie dem Aufwand zur Prüfung der Daten wurden drei Varianten getestet (Tab. 9). Dem erhöhten Aufwand zur Prüfung einer eingeschränkten Anzahl von Testflächen (Test A) wurde eine höhere Trainingsdaten-Anzahl ohne Prüfung (Test 2) gegenübergestellt. Bei der visuellen Inspektion der Test A und Test B Klassifikationsergebnisse fiel auf, dass die Klassifikation der Dauerkultur-Klassen „Obstbau“ und „Weinbau“ (nicht unerwartet) zu Schwierigkeiten führte. So erfolgte in der Regel eine Überklassifikation von Gehölz und teilweise Grünlandflächen als Dauerkultur (sowohl Obst- als auch Weinbau). Beispielsweise kam es zu einer Überschätzung der Klasse „Obstbau“ bei Obst- und Weinbauflächen entlang des Rheins (Abb. 16). Durch die Herausnahme der Klasse „Obstbau“ (Test 3) sollte dies verbessert werden.

Tab. 9: Trainingsdaten der Random Forest Testvarianten.

Test	Trainingsdaten		Klassendefinition
	Anzahl Polygone >0.1ha	Aufbereitung	
A	2273	Automatische Auswahl und visuelle Prüfung und ggf. Korrektur	Alle Code 2 Klassen
B	5881	Automatische Auswahl ohne visuelle Prüfung	Alle Code 2 Klassen
C	9000	Automatische Auswahl ohne visuelle Prüfung	Code 2 ohne Obstbau (91) und Marschen/Feuchtgebiete (60)

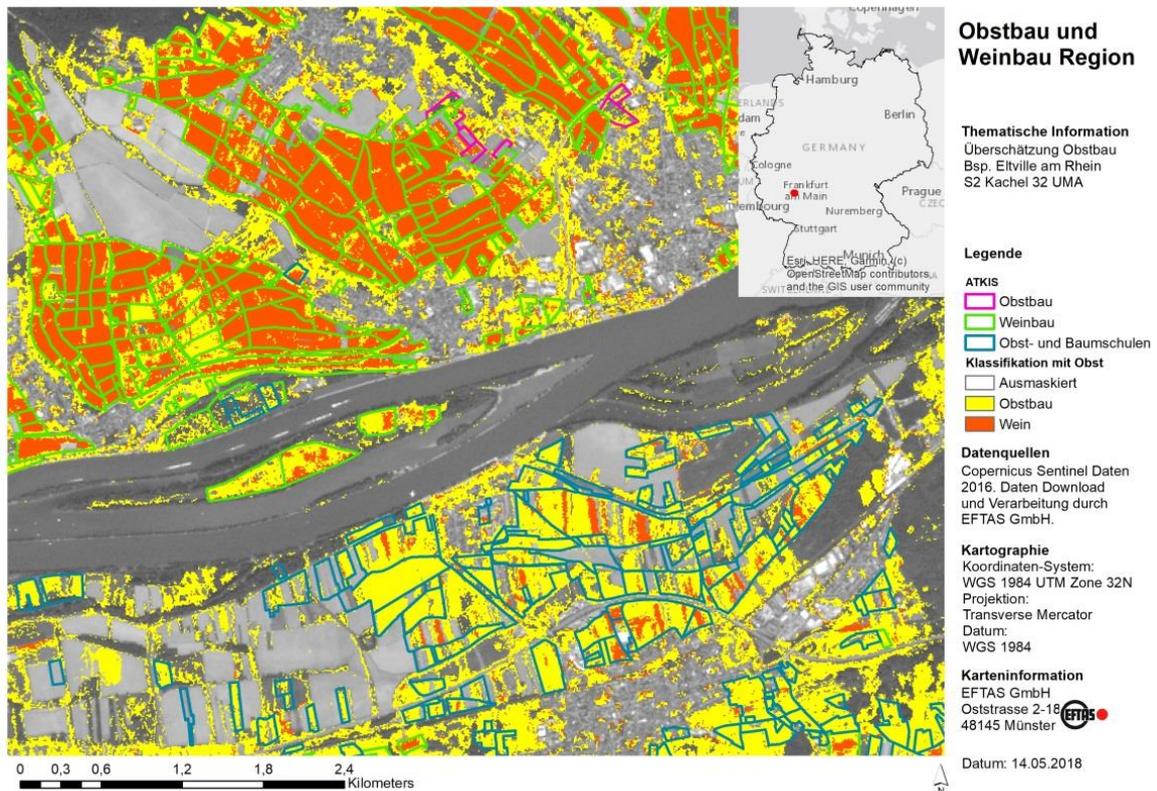


Abb. 16: RF Klassifikation der Klassen Obstbau und Weinbau überlagert mit ATKIS Informationen (Eltville am Rhein).

Die Ergebnisse der drei Klassifikations-Tests wurden sowohl visuell (Abb. 17, Abb. 18) als auch statistisch geprüft. Die statistischen Validierungen zeigten sehr gute Gesamtgenauigkeiten (Tab. 10). Die Nutzergenauigkeit der Zielklassen Acker und Grünland verbesserte sich durch die Erhöhung der Trainingsdaten-Anzahl (Test B), während jedoch die Produzenten-Genauigkeit hierdurch schlechter wurde. Durch eine weitere Erhöhung der Trainingsflächen-Anzahl und die Herausnahme von Obstflächen (Code 91) und Feuchtflächen (Code 60) (Fall C) verbesserte sich die Produzenten-Genauigkeit deutlich und näherte sich der Nutzergenauigkeit an. Auf Basis dieser Ergebnisse wurde der Random Forest Ansatz (Test 3) zur Klassifikation der Acker- und Grünlandverteilung in 2016 auf das gesamte Bundesgebiet ausgeweitet.

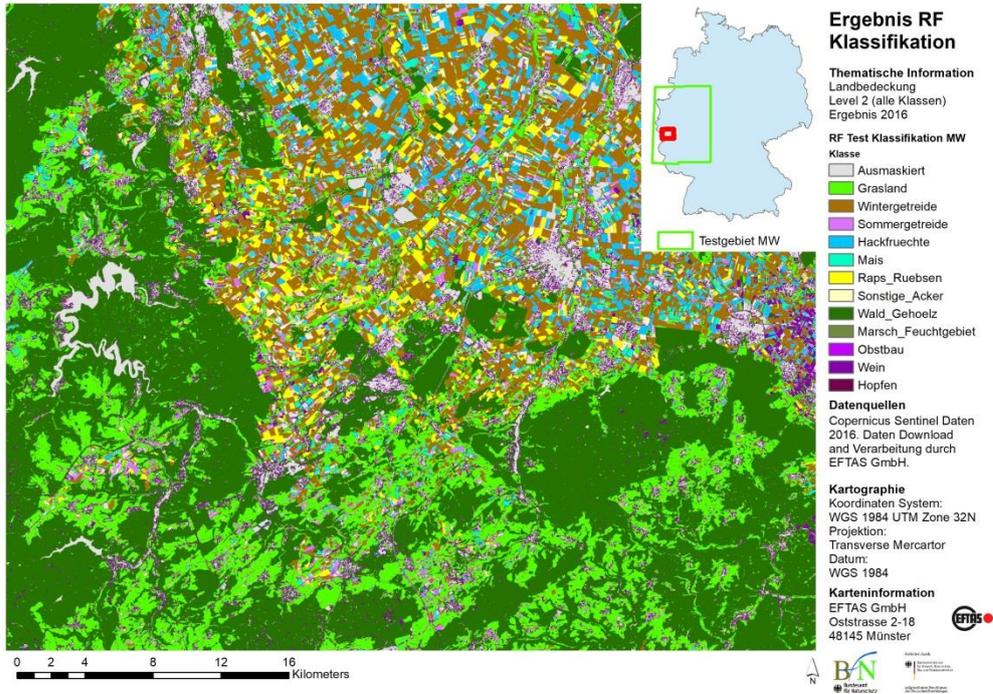


Abb. 17: Ausschnitt der RF Test-Klassifikation (alle Code 2 Klassen).

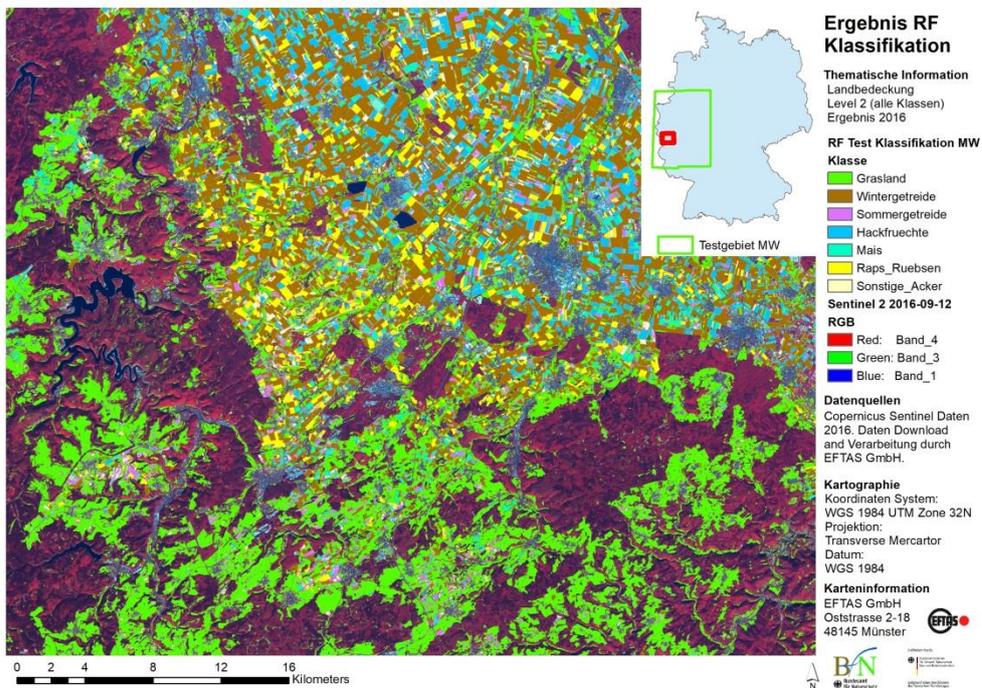


Abb. 18: Ausschnitt der RF Test-Klassifikation (nur Acker- und Graslandklassen).

Tab. 10: Übersicht der Validierungsergebnisse im Testgebiet MW für Grünland und Acker.

Test	Gesamtgenauigkeit [%]	Produzentengenauigkeit [%]		Nutzergenauigkeit [%]	
		Alle Klassen	Grünland	Acker	Grünland
A	73,3	76,3	75,8	88,1	93,7
B	72,4	63,9	68,8	88,4	97,6
C	82,5	83,0	86,9	83,2	81,9

### 3.3.2 SAR Zeitreihenanalyse

Die in dieser Studie genutzte Methode zur Kohärenzanalyse ist angelehnt an Tamm u. a. 2016. Diese untersuchten die Entwicklung von Kohärenzwerten nach Mahd-Ereignissen auf Grünland. Hierbei wurde jeweils der Median aller Pixelwerte innerhalb einer Grünlandfläche betrachtet.

Für die Mahd-Auswertung in den Testgebieten Schleswig-Holstein, Hessen und Baden-Württemberg (SH, HE, BW) wurde zunächst für alle Grünland-Polygone in den Testgebieten der gemittelte Kohärenzwert bestimmt. Auf Basis dieser Werte wurden die einzelnen Grünlandflächen anschließend in die beiden Klassen Mahd/keine Mahd klassifiziert. Für die Klassifikation wurden die Referenzpolygone in einem Vorverarbeitungsschritt um 2 Meter nach innen gepuffert, um Randeffekte zu vermeiden und anschließend zu gleichen Teilen in unabhängige Trainings- und Validierungsdatensätze aufgeteilt. Die Klassifikation erfolgte zum einen über die Differenzierung durch einen festen Schwellenwert und zum anderen durch die Anwendung eines überwachten SVM-Algorithmus.

### 3.3.3 Indikatoren zur qualitativen Grünlandbewertung

Neben der Erkennung einer Grünland-Mahd als indirekter Indikator für die Nutzungsintensität wurden weitere Fernerkundungs-Bildindikatoren in zwei Testregionen (Abb. 19) analysiert. Dabei stand ihre Eignung zur Differenzierung von naturschutzfachlich wertvollem Grünland im Sinne eines Natura 2000 Lebensraumtyps (LRT) und übrigen Grünland im Fokus.



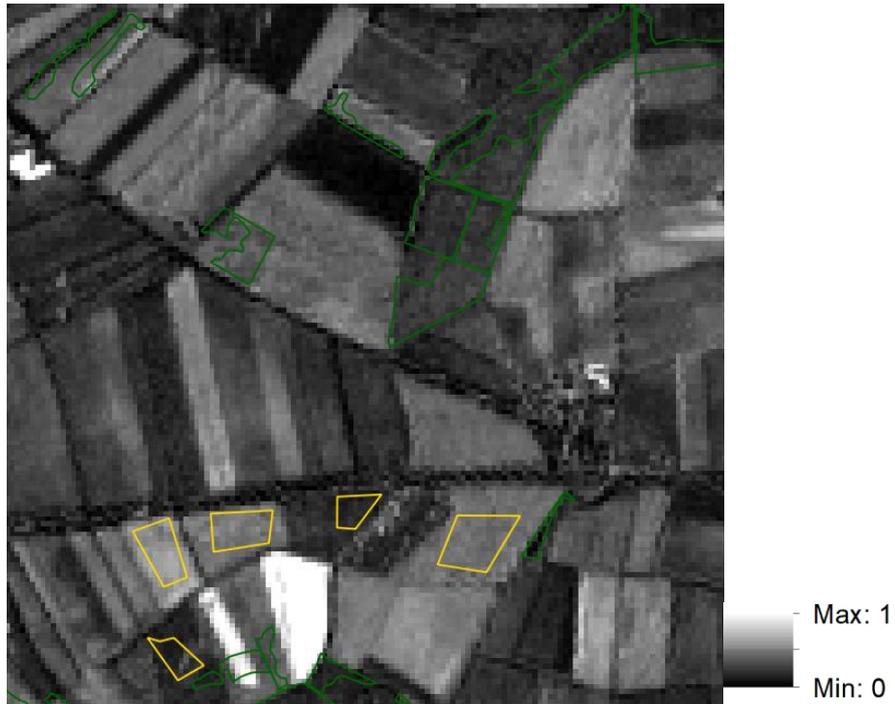


Abb. 20: Ergebnis der MASD-Berechnung im Testgebiet BW (Ausschnitt); grün = LRT-Grünland, gelb = sonstiges Grünland.

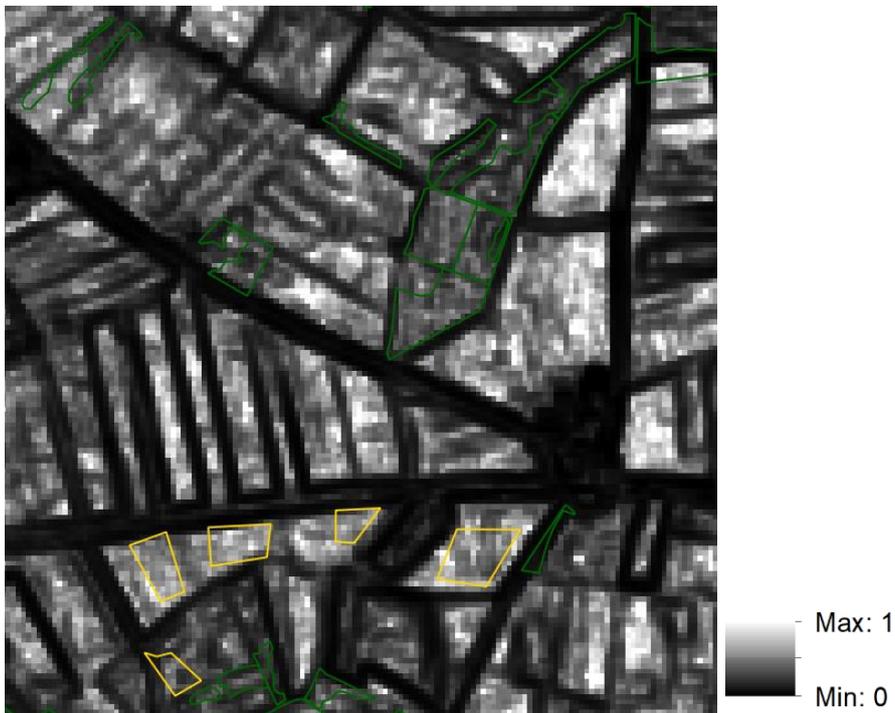


Abb. 21: Ergebnis der Homogenitätsberechnung vom 28.03.2017 im Testgebiet BY (Ausschnitt); grün = LRT-Grünland, gelb = sonstiges Grünland.

Im Testgebiet Baden-Württemberg wurden die Indikatoren auf Grünlandflächen des LRT „Magere Flachland-Mähwiesen“ (LRT 6510) und nicht-LRT- Grünlandflächen verwendet und beide Klassen anschließend verglichen. Die Indikatoren wurden auf Basis einer Sentinel-2 Zeitreihe berechnet. Im Zeitraum 28.03.2017-17.10.2017 wurden dreizehn wolkenfreie Aufnahmen für das Untersuchungsgebiet ausgewählt. In die Auswertung gingen 402 LRT-Flächen und 61 nicht-LRT-Flächen ein.

Als weiteres Testgebiet wurde eine Region in Bayern ausgewählt. Hier wurden die Indikatoren auf Flächen der Lebensraumtypen „Magere Flachland-Mähwiesen“ (LRT 6510) und „Pfeifengraswiesen auf kalkreichem Boden und Lehmboden“ (LRT 6410) mit nicht-LRT-Grünlandflächen berechnet und beide Klassen anschließend verglichen. Im Zeitraum 10.03.2016-29.09.2016 wurden sechs wolkenfreie Aufnahmen ausgewählt. In die Auswertung gingen 185 LRT-Flächen und 500 nicht-LRT-Flächen ein.

Um die Differenz der einzelnen Indikatoren zwischen den beiden Klassen auf statistische Signifikanz zu prüfen, wurde ein Zweistichproben-t-Test (Student's t-Test) angewendet. Signifikanz liegt vor, wenn der p-Wert  $< 0,05$  ist und somit die Nullhypothese bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha=5\%$  verworfen wird.

### **3.4 Validierung**

#### **3.4.1 Klassische Validierung**

Der allgemein empfohlene und international anerkannte Ansatz für die thematische Kartengenauigkeitsbewertung basiert auf dem Vergleich der Kartenklasse mit Referenzdaten (Ground Truth), die als "wahre" Informationen gelten. Bei diesem Ansatz wird eine Stichprobe aus der Karte ausgewählt und mit unabhängigen Referenzdaten verglichen. Die Genauigkeit ist definiert als der Grad der Übereinstimmung zwischen den Karteninformationen und den „wahren“ Werten der Referenzdaten. Diese werden mittels einer Konfusions-Matrix analysiert, in der die Genauigkeitswerte sowie die Konfidenzwerte je Klasse angegeben werden (Congalton und Green, 2009; Foody, 2002; Olofsson et al., 2014).

Aus der Konfusions-Matrix können zusätzlich die folgenden Standard-Validierungsparameter errechnet werden (Congalton und Green, 2009; Czaplewski, 2003; Don H. Card, 1982; Foody, 2002; Olofsson et al., 2014, 2013; Stehman und Czaplewski, 1998; Strahler et al., 2006)):

- Gesamtgenauigkeit: repräsentiert den gesamten Anteil der korrekt klassifizierten Landbedeckung in der Karte über alle Klassen hinweg.
- Benutzergenauigkeit: drückt die Wahrscheinlichkeit pro Klasse aus, dass eine Stichprobe in der Karte wirklich zur gleichen Kategorie am Boden gehört. Der Kommissionsfehler ergänzt die Benutzergenauigkeit und gibt die Wahrscheinlichkeit pro Klasse an, dass ein Pixel in der Karte falsch klassifiziert wurde.

Benutzergenauigkeit und Kommissionsfehler geben Auskunft darüber, wie sehr man sich auf das, was den jeweiligen Klassen in der Klassifikation zugewiesen wurde, verlassen kann.

- Produzentengenauigkeit: gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass eine Stichprobe am Boden in die richtige Klasse in der Karte eingestuft wurde. Der Omissionsfehler ergänzt die

Produzentengenauigkeit, indem er die Wahrscheinlichkeit pro Klasse angibt, dass ein Pixel in eine andere Klasse in der Karte eingestuft wird.

Produzentengenauigkeit und Omissionsfehler geben Auskunft darüber, inwieweit tatsächlich alle Pixel einer Klasse richtig erkannt wurden.

Eine hohe Benutzergenauigkeit bei niedriger Produzentengenauigkeit würde bedeuten, dass die Klassifikation die entsprechende Klasse in der Karte unterschätzt. Eine niedrige Benutzergenauigkeit bei hoher Produzentengenauigkeit hingegen deutet darauf hin, dass die Klassifikation die entsprechende Klasse in der Karte überschätzt.

Generell ist die oben beschriebene stichprobenbasierte Validierung abhängig von einer repräsentativen Verteilung der Referenzdaten innerhalb des Kartengebietes und über alle Klassen hinweg. Zur Berechnung der Unsicherheiten je Klasse wird empfohlen, Konfidenz-Grenzen oder Fehlermargen je Klasse zu berechnen (Cochran, 1977; Congalton und Green, 2009; Czaplewski, 2003; Foody, 2002; Olofsson et al., 2014).

Für eine statische Bewertung der Testklassifikationen wurde der auf Basis der LUCAS- und InVeKoS-Daten für das Referenzjahr 2016 erstellte Punktdatensatz genutzt (Kapitel 3.2.3). Die Planung und Durchführung der Validierung der Klassifikationsergebnisse wird durch das QGIS Plugin „Thematic map validation“ (Abb. 22) unterstützt. Das Plugin wurde von EFTAS im Rahmen des Projektes SIGMA entwickelt und basiert auf den von EFTAS in Kooperation mit JRC und FAO entwickelten Leitfaden zur Validierung von thematischen Karten „SIGMA protocol for land cover validation“ (EFTAS GmbH 2015).

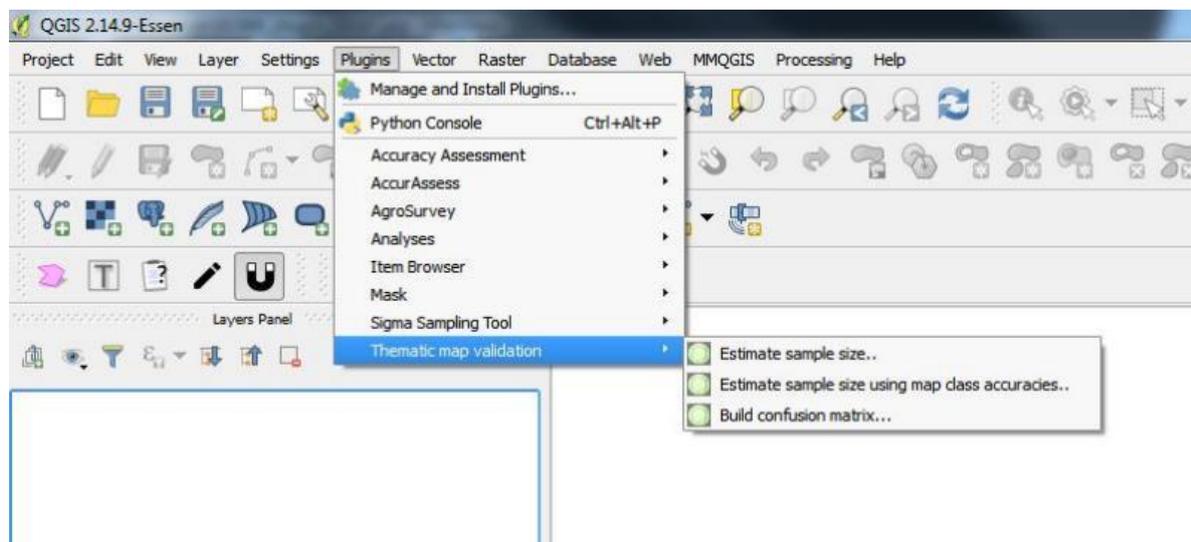


Abb. 22: Das QGIS „Thematic map validation“ Plugin zur Validierung von Klassifikationsergebnissen.

### 3.4.2 Qualitativer Vergleich der Klassifikationsergebnisse mit dem Copernicus Grasland High Resolution Grasland Layer

Neben der oben beschriebenen quantitativen Bewertung der BfN-Klassifikationsprodukte wurde ein systematischer qualitativer Vergleich mit dem Copernicus High Resolution Layer

(HRL) für Grasland durchgeführt. Der HRL Grasland-Layer wird durch die Europäische Umweltagentur erzeugt und in einem 3-Jahres-Rhythmus aktualisiert. Kerninformationen sind hierfür alle Graslandflächen in Europa mit einer Mindestkartierfläche von 1 ha. Diese wurden anhand von Satellitenbild-Daten mit 20 m Pixel Auflösung erzeugt.

Für den Vergleich wurden innerhalb von Deutschland sechs Testregionen definiert (Abb. 23). Diese decken je eine TK 25 Kachel (10x10 km im BKG–DTK 25 Kachelsystem) ab und sind über das gesamte Bundesgebiet verteilt, um verschiedene thematische Aspekte zu berücksichtigen (Tab. 11). Die ausgewählten Testgebiete werden im Folgenden näher beschrieben. Neben dem direkten Vergleich durch eine GIS-Verschneidung der beiden Datensätze wurden auch unabhängige klassische Produktvalidierungen durchgeführt und mittels der erhaltenen Konfusions-Matrizen über einen „Calibration Estimator“ (Gallego et al. 2010, Gallego 2004, GEOSS 2009, Foody 2002) statistisch miteinander verglichen. Außerdem wurden die Ergebnisse zusätzlich mit den Inhalten der InVeKoS-Daten dieser Testräume verglichen.

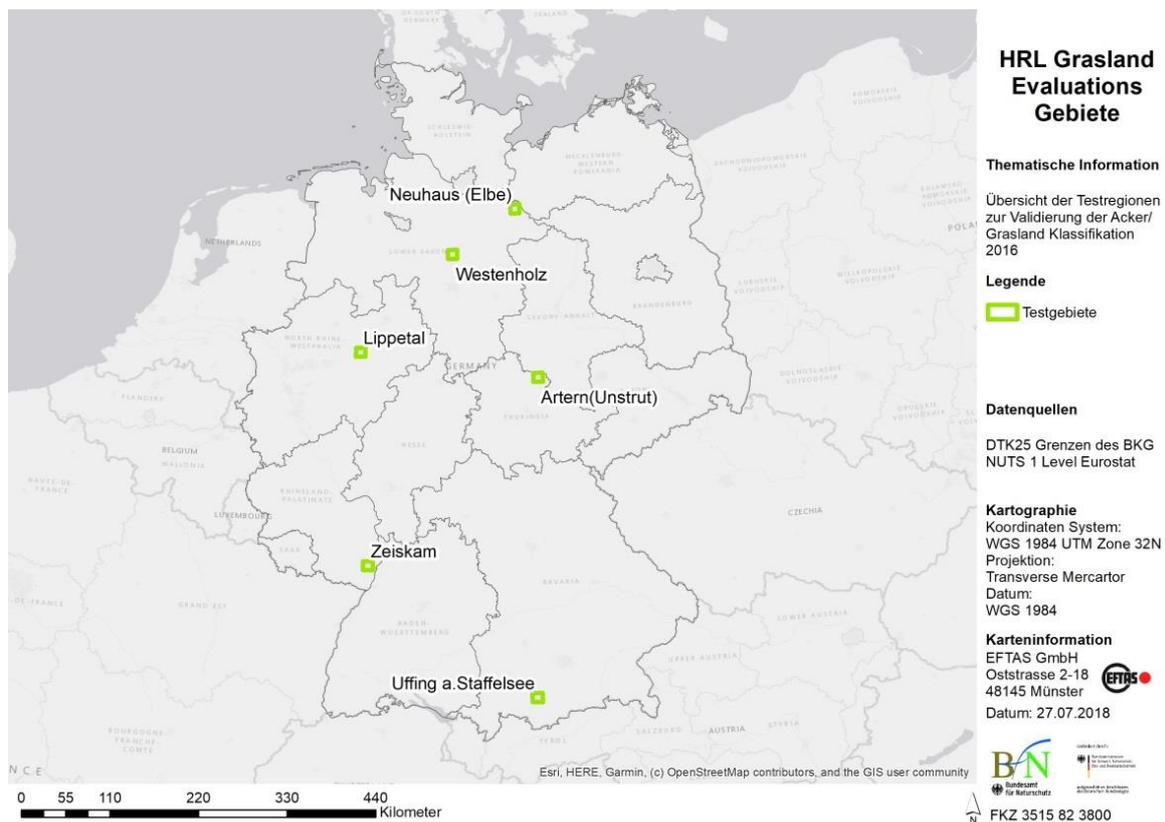


Abb. 23: Lage der Testgebiete für den Vergleich der BfN Graslandklassifikation mit dem HRL Grasland.

Tab. 11: Übersicht der HRL/BfN Grasland Testgebiete.

DTK Nummer	DTK Name	Land	Gebiets-Kennung	Thematischer Aspekt
2731	Neuhaus (Elbe)	NI	NI-1	Flussaue, feuchtes Grünland
3224	Westenholz	NI	NI-2	Vorkommen von Mooren und Heiden
4633	Artern (Unstrut)	TH	TH	Vorkommen Hamster
8232	Uffing am Staffelsee	BY	BY	Voralpine Lage, Vorkommen LRT 6410
6715	Zeiskam	RP	RP	Vorkommen Obst/Weinbau, LRT 6510
4314	Lippetal	NRW	NW	Stark agrarisch geprägte Landschaft



Abb. 24: Umriss des Testgebiets 2731, Neuhaus (Elbe). Hintergrundbild: Bing Maps.

Das Testgebiet Neuhaus (Elbe) umfasst eine Flussauenlandschaft mit einem hohen Anteil an natürlichem Grasland mit Feuchtwiesen im Bereich der Elbaue (Abb. 24). Ackerbau ist eher kleinräumig vorhanden. Die Hauptfeldfrüchte im Testgebiet sind Winter- und Sommergetreide sowie vereinzelt Gemüseanbau.

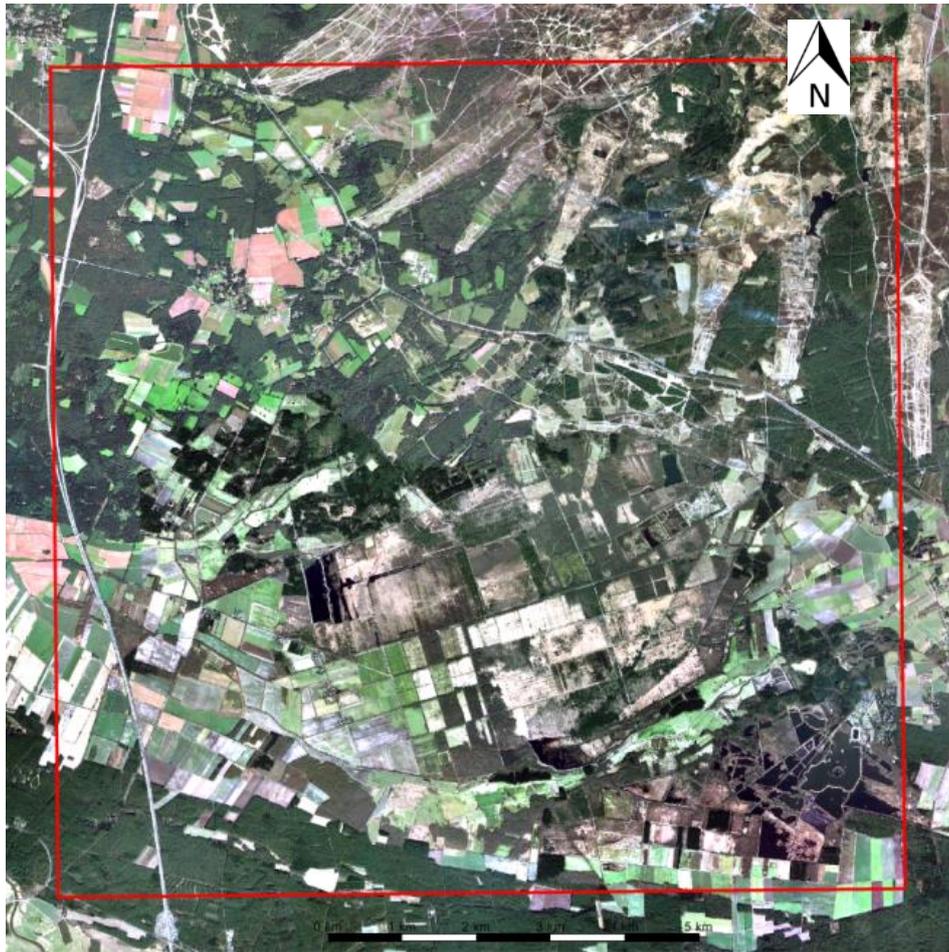


Abb. 25: Umriss des Testgebiets 3224, Westenholz. Hintergrundbild: Bing Maps.

Das Untersuchungsgebiet „Westenholz“ umfasst Heidelandschaften und Flächen mit natürlichem Grünland im Bereich des Truppenübungsplatzes Bergen (Abb. 25). Südlich davon befinden sich Flussaue- und Moorlandschaften (Naturschutz- und Vogelschutzgebiet Meißendorfer Teiche mit dem Bannetzer Moor) mit moorigen Wiesen, Teichen, kleinen Moorflächen und Waldgebieten.



Abb. 26: Umriss des Testgebiets 4314, Lippetal. Hintergrundbild: Bing Maps.

Das Untersuchungsgebiet Lippetal umfasst eine stark ackerbaulich geprägte Landschaft. Wiesen und Weiden treten v. a. in Flussnähe und im Bereich des FFH- und Vogelschutzgebietes Ahsewiesen auf (Abb. 26).



Abb. 27: Umriss des Testgebiets 4633, Artern (Unstrut). Hintergrundbild: Bing Maps.

Das Untersuchungsgebiet Artern (Unstrut) umfasst eine stark ackerbaulich geprägte Landschaft rund um die Salzstadt Artern (Abb. 27). Das Solegebiet steht unter Naturschutz und ist das kleinste seiner Art in Europa. Die vorkommenden Salzarten in der Region bilden eine seltene Fauna und Flora.



Abb. 28: Umriss des Testgebiets 8232, Uffing am Staffelsee. Hintergrundbild: Bing Maps.

Das Testgebiet Uffing am Staffelsee hat den größten Anteil an Graslandflächen aller sechs Testgebiete dieser Untersuchung (Abb. 28). Ackerbau ist kaum vorhanden und sogenannte Streuwiesen – wechselfeuchte, nasse bis moorige Standorte – prägen die voralpine Landschaft.



Abb. 29: Umriss des Testgebiets 8232, Zeiskam. Hintergrundbild: Bing Maps.

Das Untersuchungsgebiet Zeiskam umfasst eine stark ackerbaulich geprägte Landschaft in der Südpfalz (Abb. 29). Der Nordwesten und der zentrale Bereich des Gebietes sind durch Weinbau geprägt. Im Süden des Testgebiets gibt es vermehrtes Graslandvorkommen.

## 3.5 Auswertung

### 3.5.1 Flächenschätzung Acker- und Grasland Verteilung 1990-2016

Zur Abschätzung der Acker- und Grünlandverteilung von 1990, 2006 und 2016 wurden die verschiedenen Verarbeitungsschritte der Fernerkundungsanalyse in orchestrierte Prozessketten überführt. Als Ergebnis wurden validierte Raster-Karten erstellt. Diese können für weitere Auswertungen, z. B. Habitat- und Vergleichsanalysen genutzt werden.

Für die Verarbeitung der Landsat 4/5 Daten aus 1990 und 2006 wurde die folgende schematisierte Prozesskette eingesetzt (Abb. 30). Für die Verarbeitung der 2016 Sentinel-2 Daten wurde eine ähnliche Prozesskette eingesetzt. Hierbei wurde allerdings auf den in der Sen2Agri Software implementierten Atmosphärenkorrektur- und Wolkendetektions-Algorithmus MACCS zurückgegriffen (Abb. 31).

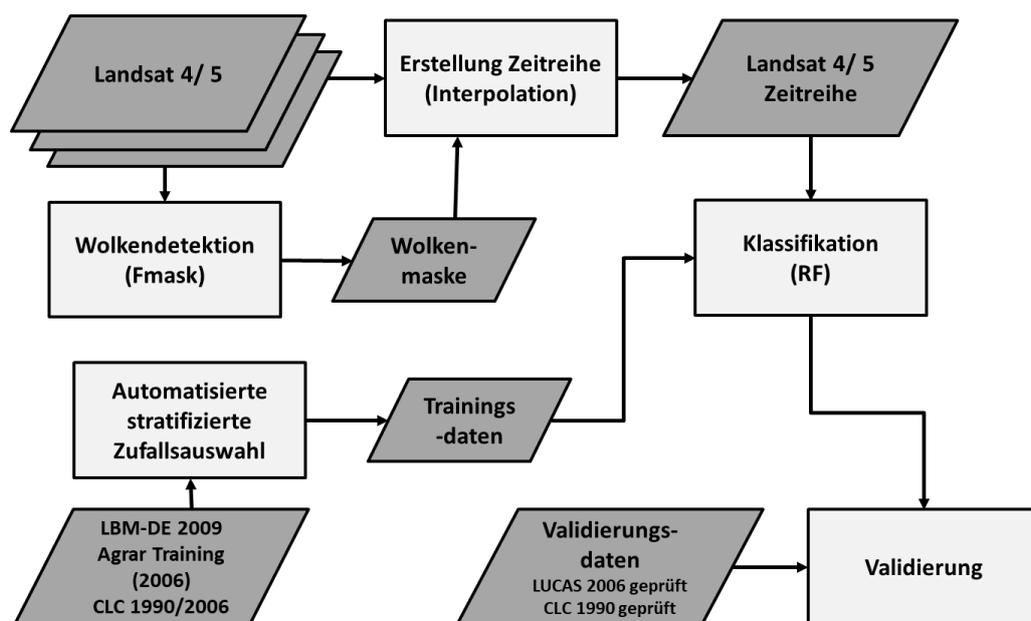


Abb. 30: Schematisierte Prozesskette der Landsat Klassifikation 1990 und 2006.

Beiden Prozessketten gemein ist die Verwendung des RF-Klassifikations-Algorithmus. Für die Referenzjahre 1990 und 2006 wurde die Landsat Datenreihe auf ca. ein landwirtschaftliches Anbaujahr (1989-1991, bzw. 2005-2007) ausgeweitet, um eine größere wolkenfreie Datenmenge zu erreichen. Für das 2016 Produkt wurde auf nur ein Anbaujahr (03/2016-10/2016) zurückgegriffen.

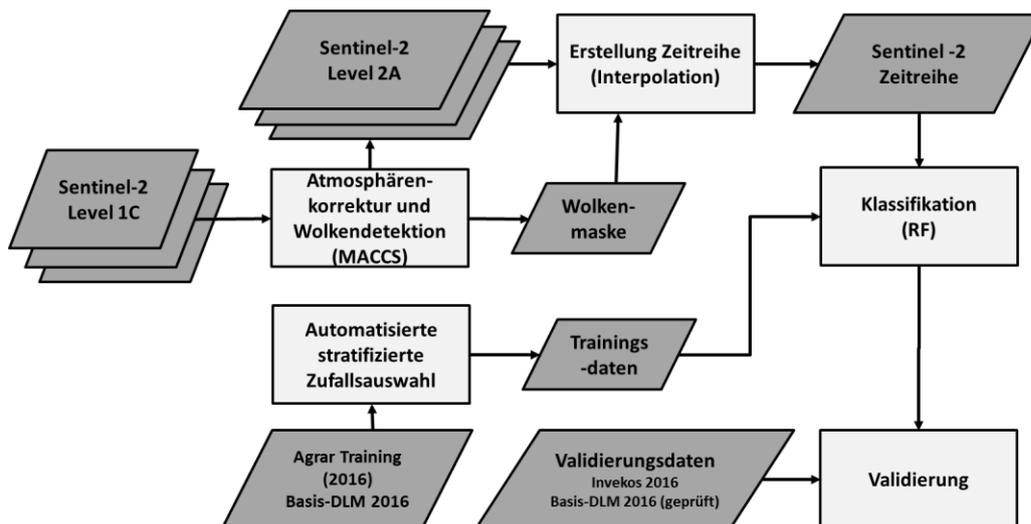


Abb. 31: Schematisierte Prozesskette der Sentinel-2 Klassifikation 2016.

Die Ergebnisse der Acker-Grasland-Klassifikation 2016 wurden weitergehend durch die Berechnung von Flächenstatistiken untersucht und mit den Ergebnissen aus dem LUCAS Programm verglichen. Mit Hilfe der Konfusions-Matrix der Klassifikation und dem Referenzdatensatz für 2016 (aus LUCAS-Daten aus 2015 abgeleitet und visuell auf 2016 Daten geprüft) wurde die Flächengröße für das Grasland-Vorkommen statistisch geschätzt. Das dabei genutzte Schätzverfahren (GEOSS 2009) nutzt die repräsentative Verteilung der Referenzdaten, um die Fehler der Klassifikation für die Flächenschätzung auszugleichen. Der Grad des Fehlereinflusses wird dann als Konfidenzwert je Klasse ausgewiesen und wird bei der Interpretation der Ergebnisse als Fehlerbereich der Schätzung hinzugerechnet. Bei sehr hohen Klassifikationsgenauigkeiten, das heißt die Nutzer- und Produzentengenauigkeit sollten im Bereich des erwarteten Variationskoeffizienten der Flächenstatistik liegen (GEOSS 2009), lassen sich hierdurch sehr gute Flächenstatistiken erzeugen.

### 3.5.2 Analyse der Habitatveränderungen 2006-2016 für die Zielarten Feldhamster und Mornellregenpfeifer

Im Fokus der Analyse der Habitatveränderungen standen die beiden Zielarten Feldhamster (*Cricetus cricetus*) und Mornellregenpfeifer (*Charadrius morinellus*). Hierzu sollte die Analyse räumlich eingegrenzt werden auf die bekannten Rastgebiete bzw. Rastregionen des Mornellregenpfeifers sowie Verbreitungsgebiete des Feldhamsters.

Für den Mornellregenpfeifer konnten leider keine verwertbaren räumlichen Daten durch den Dachverband Deutscher Avifaunisten (DDA) bereitgestellt werden. Über die Nutzung des Internetportals ornitho.de wurden daher Beobachtungen visualisiert und auf topographische Kartenblätter des BKG übertragen als potentielle Rastregionen. Dabei wurden nur Cluster > 101 Beobachtungen berücksichtigt (Abb. 32, Abb. 33).

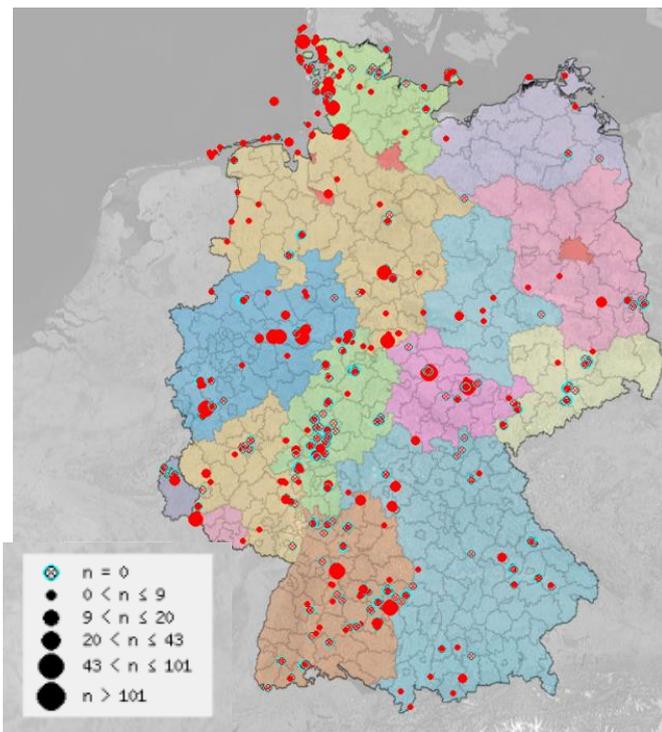


Abb. 32: Beobachtungen des Mornellregenpfeifers in Deutschland (Januar 2016-Mai 2018) (DDA 2018).

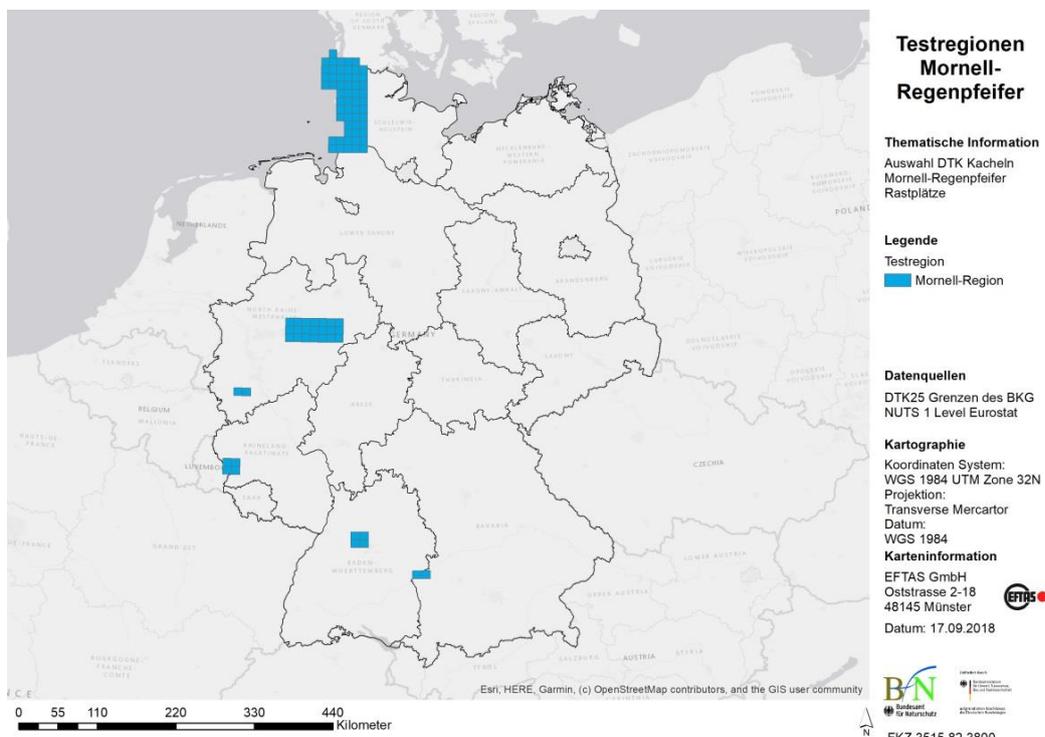


Abb. 33: Übertragung der Mornellregenpfeifer-Beobachtungen aus ornitho.de auf die entsprechenden DTK Kachelregionen.

Vorkommensgebiete des Feldhamsters wurden der EFTAS GmbH dankenswerterweise vom Forschungsinstitut Senckenberg, Standort Gelnhausen, als GIS Vektordaten zur Verfügung gestellt. Diese geschätzten Verbreitungsgebiete wurden mit den Verbreitungskarten für den Zeitraum 2007-2012 nach Artikel 17 der FFH Richtlinie (EEA 2018) für eine räumliche Fokussierung der Habitatanalyse genutzt. Hierzu wurde eine Verschneidung der Vorkommensgebiete mit den DTK-Grenzen durchgeführt und alle überlappenden DTK-Kacheln als Feldhamster Verbreitungsgebiet visualisiert (Abb. 34).

Als wesentliche Ursachen für die Abnahme der Feldhamster Populationen wurden u.a. folgende Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen durch eine Expertengruppe genannt, die mit Hilfe der Fernerkundung untersucht werden können (Deutscher Rat für Landschaftspflege 2014):

Landwirtschaftliche Intensivierung:

- großflächiges Ausräumen der Landschaft in der kurzen und frühzeitigen Ernte,
- Beseitigung von Kleinstrukturen in der Feldmark
- Vergrößerung der Schlaggrößen in der früher durch Realteilung sehr kleinräumig gegliederten landwirtschaftlichen Fläche.

Flächenverlust und Ausbreitungsbarrieren durch Nutzungswandel, wie z. B.:

- Ausweisung von Gewerbe- und Baugebieten auf Ackerböden
- Straßenbau
- Tagebau.

Veränderungen im Fruchtartenspektrum, v. a.:

- Rückgang des Wintergetreideanbaus
- Zunahme des Anbaus von Mais und anderen für den Feldhamster ungünstigen Feldfrüchten (u. a. Raps, Kartoffeln).

Die Habitatanforderungen an die Rastplätze des Mornellregenpfeifers während seines Durchzug-Schwerpunkts im Mai und August/September werden wie folgt beschrieben:

- starke Bevorzugung für gegrubberte Felder (Dietzen et al. 2008; Jahn und Heiser 2010),
- abgeerntete Rapsfelder (Dietzen et al. 2008),
- neu eingesäte Felder auf kargen, windexponierten Hochflächen (Pott et al. 2009).

Negative Auswirkungen auf die bevorzugten Rastplätze sind demnach:

- hohe Vertikalstrukturen einer Ackerfrucht, wie z. B. Mais, im Zeitfenster August/September,
- Wegfall von Ackerflächen durch Umwandlung in andere Landnutzung und -bedeckung (z. B. urbane Nutzung/Versiegelung),
- noch unbearbeitete dicht stehende Stoppelfelder.

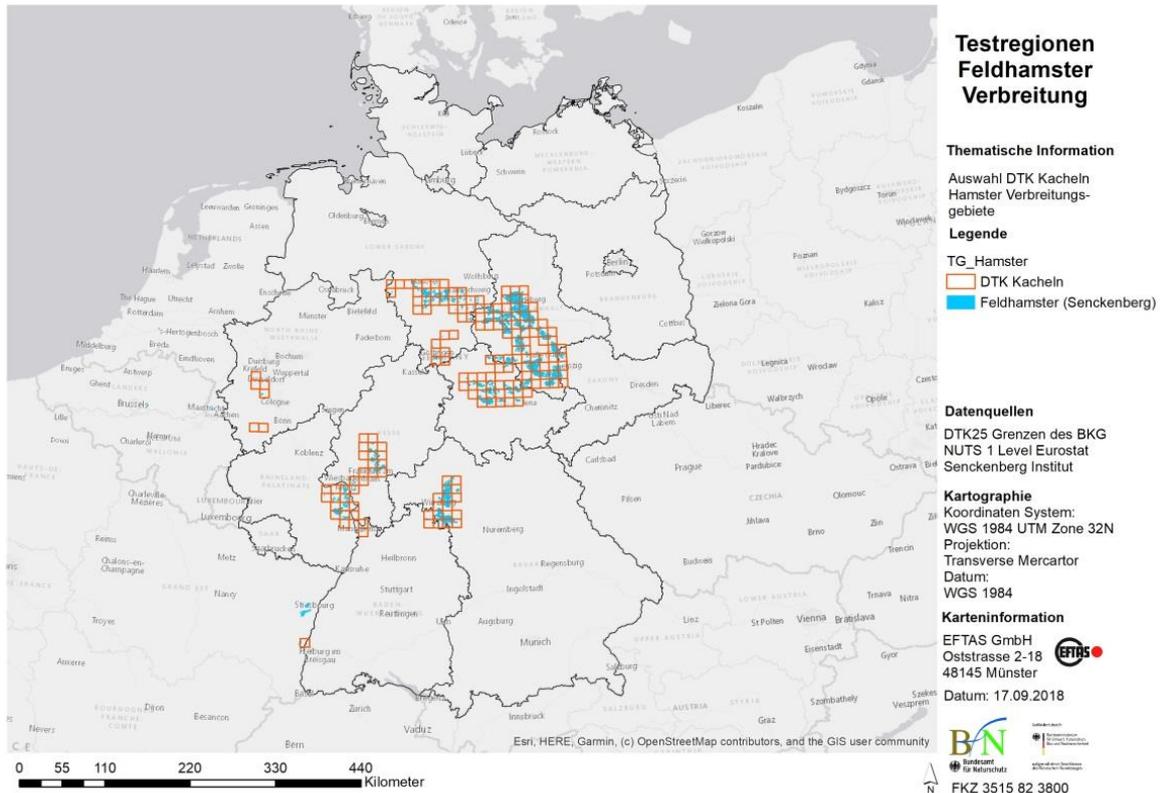


Abb. 34: Vorkommensgebiete des Feldhamsters (EEA 2018; Reiners 2017) übertragen auf DTK Kachelgrenzen.

Die Analyse der Habitatveränderungen basiert auf den Informationen zur Landbedeckung der Zeitschnitte 2006-2016 und der Level 1 sowie Level 2 Klassendefinitionen. Für das Referenzjahr 1990 liegen keine Referenzinformationen zum Training des Klassifikationsalgorithmus vor mit denen eine Unterscheidung der Hauptkulturartengruppen (Level 2) möglich wäre. Für das Jahr 2006 wurden regional vorhandene InVeKoS Acker-Anbauinformationen sowie die Gelände-Punktinformationen der LUCAS-Erhebung 2006 genutzt. Die LUCAS-Daten wurden visuell auf ihre Lage und Plausibilität geprüft unter Verwendung des BKG Archiv-DOP Web Mapping Dienstes. Bei der Verwendung der LUCAS-Erhebungspunkte wurde strikt getrennt zwischen einer Verwendung als Trainingsreferenz oder als Validierungspunkt. Ein LUCAS-Punkt konnte somit nicht für beide Zwecke genutzt werden. Für die Vorkommens- und Rastgebiete im mittleren und südlichen Baden-Württemberg lagen keine Ackerbaureferenzen für 2006 vor. Diese wurden daher nicht in der Auswertung der Landsat-Daten berücksichtigt (Abb. 35).

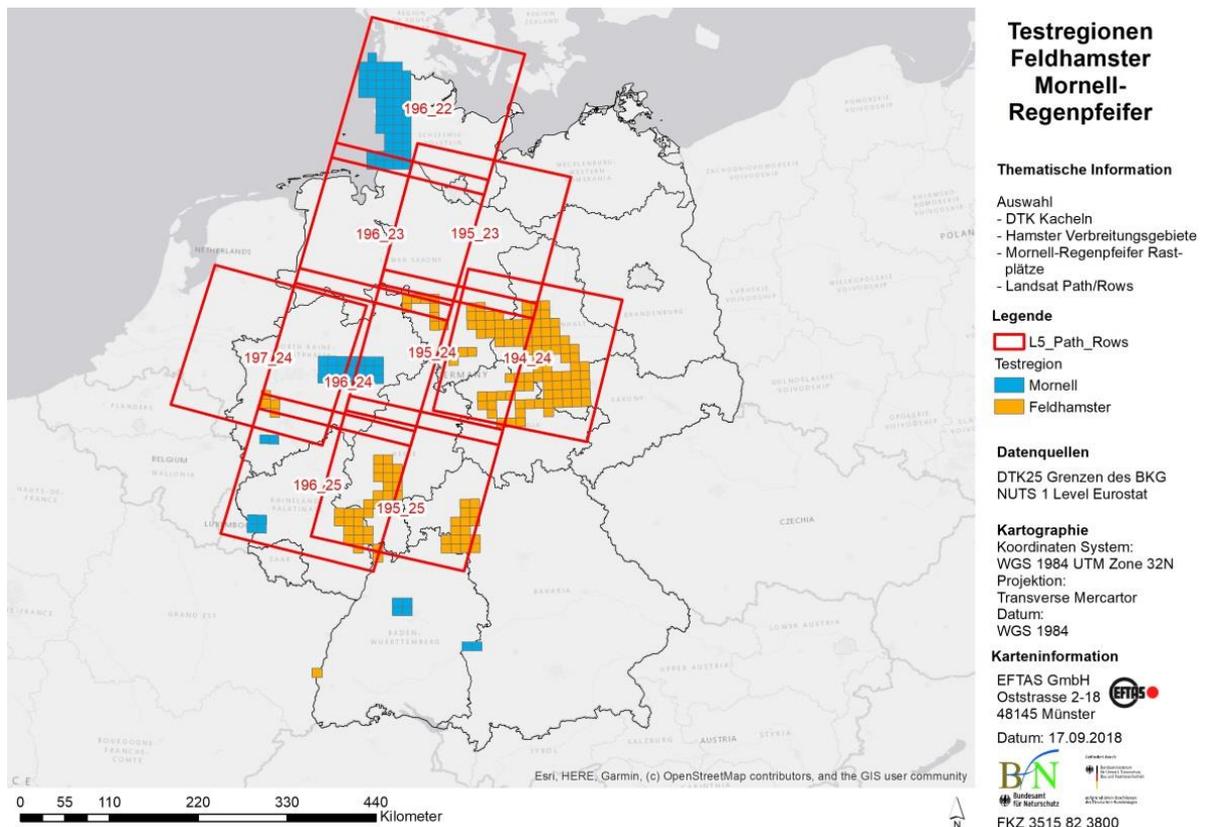


Abb. 35: Übersicht der finalen Testregionen und der genutzten Landsat-Bilddatenabdeckung für die Klassifikation der Kulturarten in 2006.

Landsat-Bilder aus dem Anbaujahr 2006 (Oktober 2015-September 2016) wurden für die Satellitenbildklassifikation genutzt (Tab. 12). Durch die eingeschränkte Verfügbarkeit wolkenfreier Szenen wurde eine maximale Wolkenbedeckung von 80 % zugelassen. Bewölkte Bildbereiche wurden über die Spektralwerte der zeitlich am nächsten gelegenen wolkenfreien Aufnahmen vor und nach dem bewölkten Zeitpunkt per Interpolation ausgetauscht (Inglada et al. 2015).

Tab. 12: Übersicht der Landsat-Szenen für das Referenzjahr 2006 (< 80 % Wolkenbedeckung).

Landsat Path/Row	Anzahl	Aufnahmedatum
194/024	10	14.10.2005, 30.10.2005, 19.02.2006, 10.05.2006, 11.06.2006, 27.06.2006, 13.07.2006, 29.07.2006, 14.08.2006, 15.09.2006
195/023	9	05.10.2005, 06.11.2005, 22.11.2005, 15.04.2006, 01.05.2006, 18.06.2006, 04.07.2006, 20.07.2006, 22.09.2006
1950/24	10	05.10.2005, 06.11.2005, 15.04.2006, 01.05.2006, 18.06.2006, 04.07.2006, 20.07.2006, 05.08.2006, 06.09.2006, 22.09.2006
1950/25	7	01.05.2006, 18.06.2006, 04.07.2006, 20.07.2006, 05.08.2006, 06.09.2006, 22.09.2006
1960/22	9	12.10.2005, 28.10.2005, 13.11.2005, 05.03.2006, 08.05.2006, 09.06.2006, 25.06.2006, 27.07.2006, 13.09.2006

Landsat Path/Row	Anzahl	Aufnahmedatum
1960/23	8	12.10.2005, 28.10.2005, 08.05.2006, 09.06.2006, 25.06.2006, 11.07.2006, 27.07.2006, 13.09.2006
1960/24	10	12.10.2005, 28.10.2005, 01.02.2006, 06.04.2006, 08.05.2006, 09.06.2006, 11.07.2006, 27.07.2006, 13.09.2006, 29.09.2006
1960/25	8	12.10.2005, 28.10.2005, 01.02.2006, 22.04.2006, 08.05.2006, 09.06.2006, 11.07.2006, 27.07.2006
1970/24	4	29.04.2006, 02.07.2006, 18.07.2006, 19.08.2006

In der folgenden Übersicht (Abb. 36) sind die zur Verfügung stehenden Landsat-Bilder der Landsat Path/Row Kachel 194/024, sowie die Anzahl zu interpolierender ungültiger Pixel, exemplarisch dargestellt.

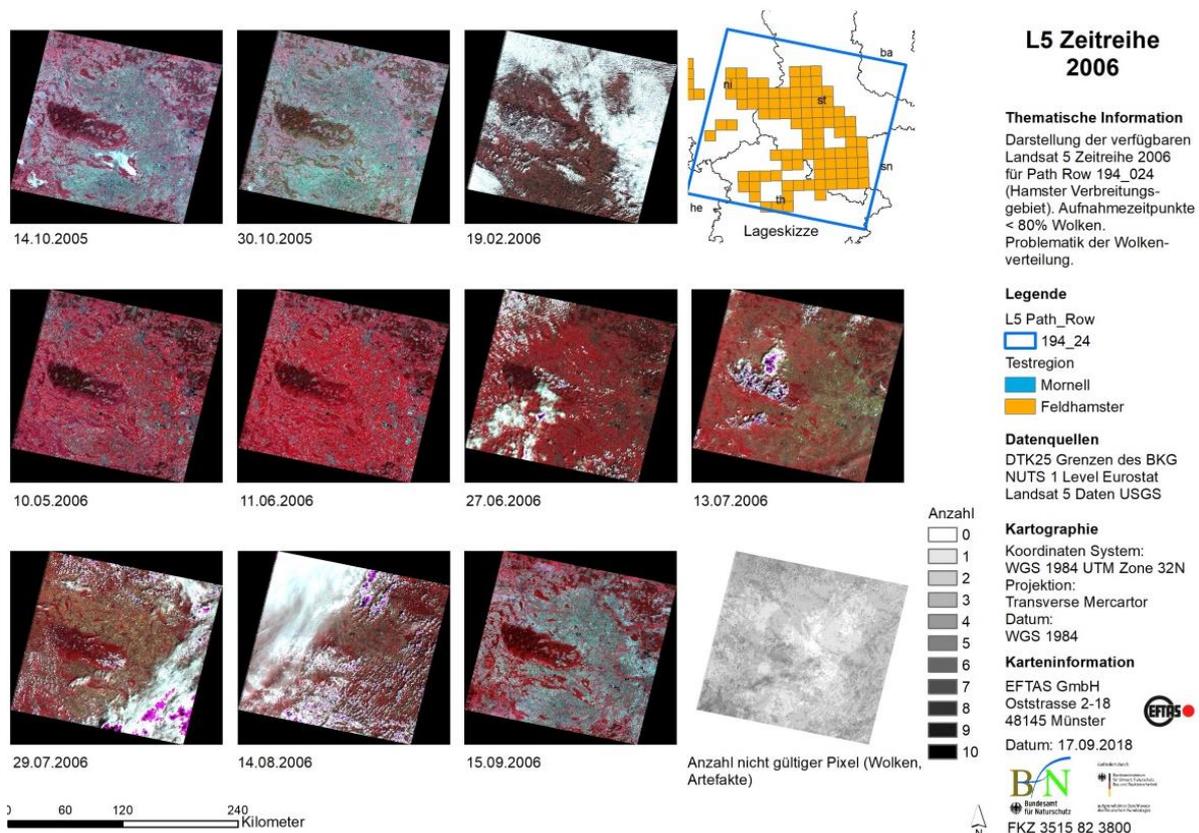


Abb. 36: Landsat-5 Zeitreihe für 2006 am Beispiel der Kachel 194/024, sowie daraus resultierende Wolkensumme je Pixel.

Für die Analyse der Veränderungen 2006-2016 wurde ein Software Modul der EFTAS eingesetzt, welches zwei unterschiedliche Klassifikationsergebnisse, in Form von thematischen Karten der Zeitpunkte t0 und t1 (hier 2006 und 2016), miteinander vergleicht. Dieser sogenannte „Post-Classification-Change“-Ansatz ist ein etabliertes Verfahren zur Ermittlung von Landbedeckungsänderungen (Lu et al. 2004). Mit Hilfe dieses Verfahrens können somit

paarweise Klassen-Änderungen ausgewiesen und weiter analysiert werden (Abb. 37). Um eine bessere Vergleichbarkeit der Landsat-Daten (30 m Pixelauflösung) mit der Sentinel-2 Klassifikation mit 10 m Pixelauflösung zu erreichen, wurden vor der Change Analyse weitere Datenverarbeitungsschritte durchgeführt:

- Die 2016 Klassifikation wurde mit Hilfe eines 3x3 Morphologie-Bildfilters (Closing Operation) überarbeitet, um Kleinstflächen zu schließen, aber dabei die Strukturen der Landbedeckung zu erhalten.
- Die 2016 Klassifikation wurde anschließend in ein Vektor-Format umgewandelt und mit der ATKIS Basis DLM Geometrie verschnitten, um große zusammenhängende Bereiche in Parzellen zu unterteilen. Flächen kleiner 1 ha wurde dabei generalisiert.

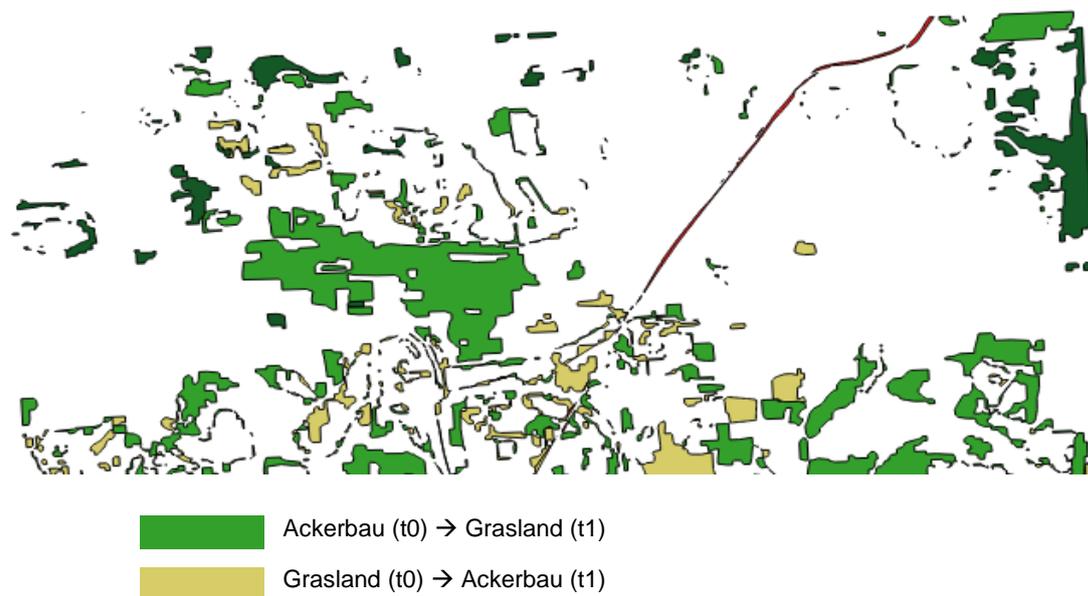


Abb. 37: Beispielhafte Darstellung der klassifizierten Acker- und Graslandveränderungen t0-t1.

Tab. 13: Untersuchte Indikatoren zur Feldhamster und Mornellregenpfeifer Habitat-Analyse.

Veränderungstyp	Indikator (t0-t1)
<b>Feldhamster</b>	
Flächenverlust	Ackerbau → Andere Landbedeckung
Veränderungen im Fruchtartenspektrum	Rückgang des Wintergetreideanbaus, Zunahme des Anbaus von Mais und anderen für den Feldhamster ungünstigen Feldfrüchten (u. a. Raps, Kartoffeln)
<b>Mornellregenpfeifer</b>	
Zustand Ackerflächen August/September	Vegetationsvitalität, erfolgte Neueinsaat
Flächenverlust	Ackerbau → andere Landbedeckung
Veränderungen im Fruchtartenspektrum	Zunahme des Anbaus von Mais

- Die Change-Analyse und Ableitung der Veränderungsindikatoren (Tab. 13) erfolgte dann unter Verwendung der 2016 Vektorkarte und der 2006 Landsat-Klassifikation. Dabei wurden verschiedene Veränderungsindikatoren untersucht (Tab. 13).

### 3.5.3 Vergleich Lebensraumtypenkartierung und Grasland-Klassifikation 2016

Innerhalb einer Vergleichsanalyse wurde die Anwendbarkeit der Sentinel-2 Graslandklassifikation am Beispiel der Ergebnisse für 2016 untersucht. Dabei wurde auf Daten zu den Biotop- und Lebensraumtypen der Länder (2015) zurückgegriffen. Zur Abdeckung verschiedener Lebens- und Naturräume wurden drei Gebiete definiert (Abb. 38), die sich jeweils über neun DTK25 Kartenblätter (~30x30 km) erstrecken (Tab. 14).

Tab. 14: Testgebiete der Vergleichsanalyse LRT/Grasland-Klassifikation.

Gebiet	DTK Nummern	Grünland-LRT (Codes)	LRT-Abdeckung	LRT-Erfassungszeitraum
Hochsauerland (NRW)	4616, 4617, 4618, 4716, 4717, 4718, 4816, 4817, 4818	NE00*, NEC0*, NED0*, 6120, 6130, 6210, 6230, 6410, 6430, 6510, 6520	FFH-Gebiete fast vollständig; außerhalb weitgehend flächendeckend selektive LRT-Kartierung	1999-2014
Spree-Niederung (BB)	3948, 3949, 3950, 4048, 4049, 4050, 4148, 4149, 4150	6120, 6130, 6210, 6230, 6410, 6430, 6431, 6440, 6510	FFH-Gebiete und Großschutzgebiete flächendeckend; außerhalb selektiv	1993-2016
Schwarzwald-Baar (BW)	7916, 7917, 7918, 8016, 8017, 8018, 8116, 8117, 8118	6510, 6520	selektiv, aber weder FFH-Gebiete noch außerhalb vollständige Abdeckung	2011-2014

\* In NRW wurden auch sog. N-LRT („N“ steht für naturschutzwürdig) berücksichtigt.

Für den Vergleich wurden die LRT-Kartierungen der Länder auf die Testgebiete beschnitten, in eine gemeinsame Zielprojektion überführt und mit der BfN Grasland 2016 Klassifikation (Ergebnis der Sentinel-2 Zeitreihenauswertung) verschnitten. Anschließend wurden statistische Kennwerte der LRT-Kartierung sowie zur Flächen-Übereinstimmung von LRT-Kartierung und Sentinel-2 Klassifikation ausgewertet und visuell überprüft.

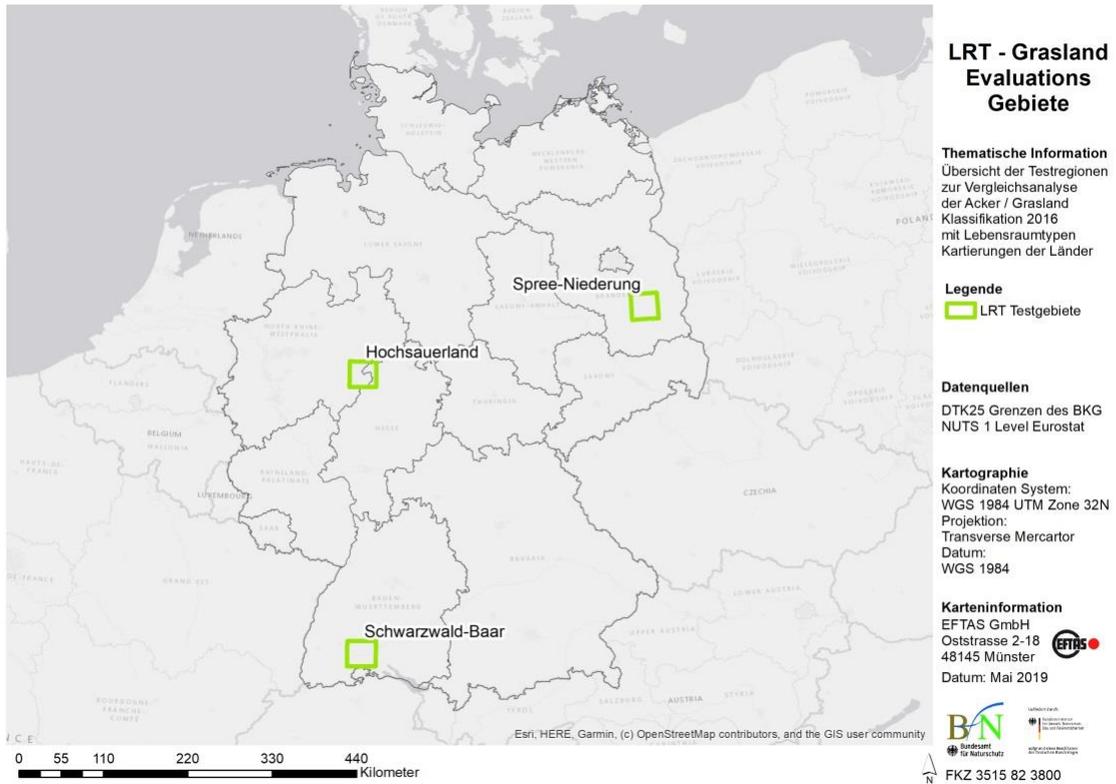


Abb. 38: Lage der Evaluationsgebiete für den LRT/BfN Grasland-Klassifikationsvergleich.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Grünland und Ackerland Verteilung 1990-2016

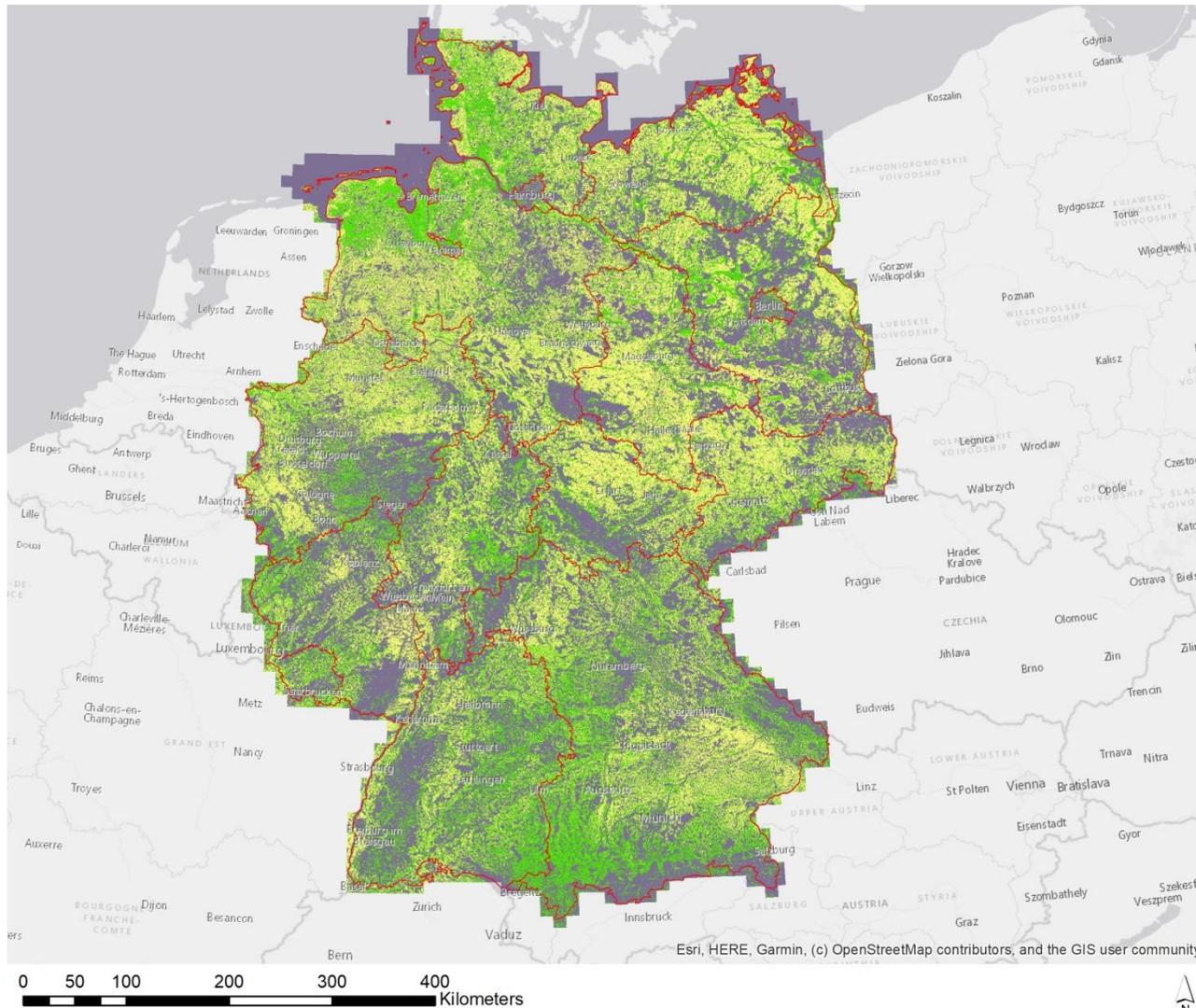
#### 4.1.1 Acker-Grünland Verteilung 2016

Das Produkt Acker/Grünland-Verteilung 2016 wurde per Steckbrief (Tab. 15) beschrieben und als GeoTIFF Raster sowie als PDF Karte visualisiert (Abb. 39).

Tab. 15: Produktsteckbrief Klassifikation 2016.

Eigenschaft	Beschreibung/Inhalt
<b>Geographische Abdeckung</b>	Deutschland (DTK25 Abdeckung des BKG)
<b>Zeitliche Abdeckung</b>	Referenzzeitraum der Satellitenbildabdeckung 03/2016-10/2016
<b>Bilddaten Grundlage</b>	Sentinel-2 Zeitreihe 10 m Auflösung der Bodenpixel
<b>Zusatzdaten</b>	Trainingsdaten: Basis-DLM, InVeKoS 2016 (nur regional) Validierungsdaten: LUCAS
<b>Nomenklatur</b>	0 = NoData 1 = Maske 2 = Grasland 3 = Ackerbau
<b>Projektion</b>	WGS 84-UTM Zone 32N (EPSG 32632)
<b>Dateiformat</b>	GeoTIFF
<b>Produkt-Kennzeichnung</b>	gl_2016_brd_v4_20180425.img
<b>Klassifikations-Gesamtgenauigkeit</b>	91,2 % ( $\pm 0.7$ %)

Die Gesamtgenauigkeit des errechneten Acker-Grünland Karte 2016 liegt bei über 90 % (Tab. 16). Die Nutzergenauigkeit und die Produzentengenauigkeit liegen bei ca. 85 % oder höher für Grasland und Ackerbau. Die Klassifikationsgüte ist deutlich höher für Ackerbauliche Flächen im Vergleich zu den Grasland Flächen. Die geringen Fehlergrenzen deuten auf eine ausreichende Stichprobengröße hin. Die Nutzergenauigkeit ist geringer als die Produzentengenauigkeit. Dies spiegelt sich in einer Überschätzung des Grasland-Vorkommens in der Karte wider.



# Grasland und Ackerbau 2016 Deutschland

## Thematische Information

Vorkommen Grasland und Ackerland erstellt auf Basis eines Sentinel 2 Zeitreihe 2016

## Legende

### gl\_brd\_2016\_v4

- Maske
- Grasland
- Ackerbau

## Datenquellen

Copernicus Sentinel data 2016. Daten Download und Verarbeitung durch EFTAS GmbH.

## Kartographie

Coordinate System:  
WGS 1984 UTM Zone 32N  
Projection:  
Transverse Mercator  
Datum:  
WGS 1984

## Karteninformation

EFTAS GmbH  
Oststrasse 2-18  
48145 Münster



Date: 22.02.2018



FKZ 3515 82 3800

Abb. 39: Ergebniskarte der Grasland- und Acker-Verteilung 2016.

Tab. 16: Validierungsergebnis der Grasland- und Ackerklassifikation 2016.

Acker Grünland Klassifikation 2016		Referenz			Gesamt	Nutzer- Genauigkeit	Fehlergrenze (95% Konfidenz)
		1 - Andere	2 - Grünland	3 - Ackerbau			
Karte	1 - Andere	44,6 %	0,7 %	1,5 %	46,8 %	95,2 %	+ - 0,8 %
	2 - Grünland	1,3 %	19,5 %	2,3 %	23,1 %	84,5 %	+ - 1,8 %
	3 - Ackerbau	1,3 %	1,6 %	27,1 %	30,1 %	90,2 %	+ - 1,3 %
Total		47,2 %	21,9 %	30,9 %	100 %		
Produzenten- genauigkeit		94,4 %	89,3 %	87,8 %		<b>Gesamt- genauigkeit</b>	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>
Fehlergrenze (95% Konfidenz)		+ - 0,8 %	+ - 1,5 %	+ - 1,3 %		<b>91,2 %</b>	<b>+ - 0,7 %</b>

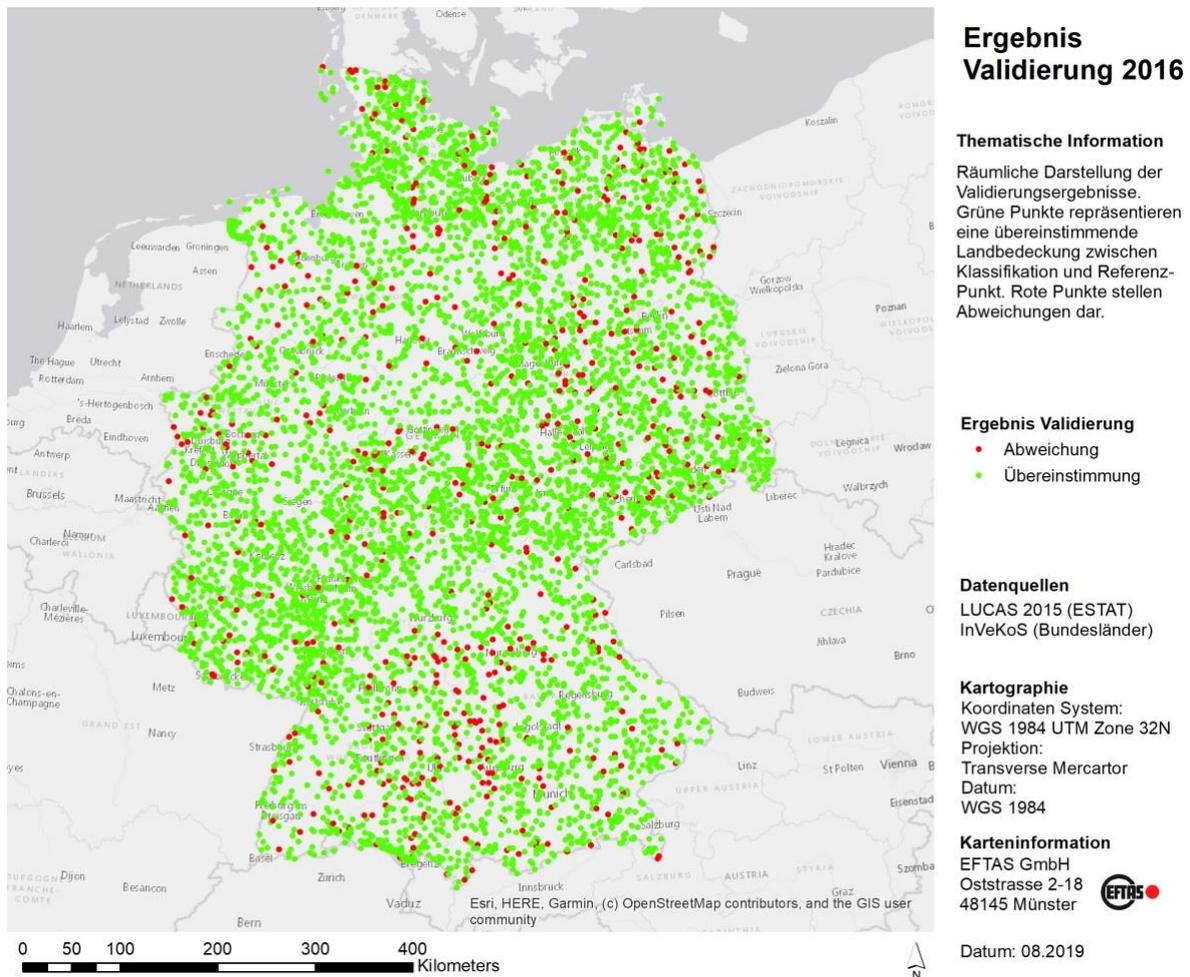


Abb. 40: Räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler der Acker-Grünland-Klassifikation 2016.

Bei der räumlichen Analyse der Fehlklassifikation zeigt sich ein leichtes Cluster von Klassifikationsfehler im Bereich Schwaben/Mittelfranken, in dem das Grasland-Vorkommen überschätzt wurde (Abb. 40). Eine mögliche Ursache hierfür könnte die räumliche Verteilung der integrierten InVeKoS Trainingsdaten sein. Diese lagen für den südwestlichen Teil der Bundesrepublik vor allem in Nordwesten Baden-Württembergs. Somit wurde die Grünland Klasse im Bereich Schwaben/Mittelfranken vor allem über ATKIS Informationen kalibriert, die im Bereich der nicht-städtischen Landbedeckung eine reduzierte Aktualitätsrate von bis zu 10 Jahren haben.

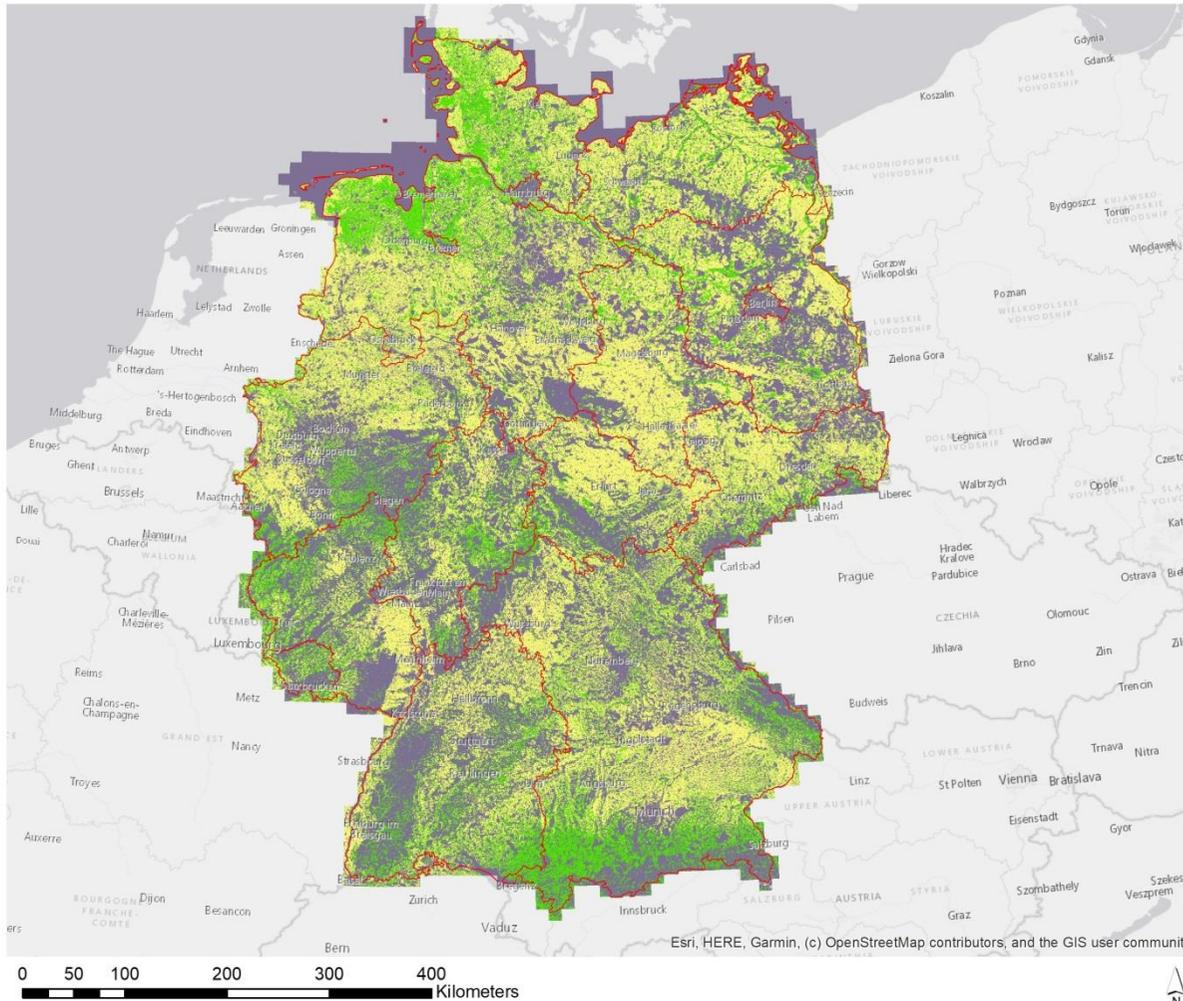
#### 4.1.2 Acker-Grünland Verteilung 2006

Das Produkt Acker/Grünland-Verteilung 2006 wurde auch über einen Steckbrief beschrieben (Tab. 17) und als GeoTIFF Raster PDF Karte (Abb. 41) erstellt.

Die Gesamtgenauigkeit des 2006er Produkts liegt bei ca. 89 % (Tab. 18). Die UA ist mit ca. 76 % für Grasland und 88 % für Ackerland errechnet. Die PA liegt bei ca. 81 % für Grasland sowie ca. 89 % für Ackerbau. Die Klassifikationsgüte ist deutlich höher für ackerbauliche Flächen im Vergleich zu den Graslandflächen. Die geringen Fehlergrenzen deuten auf eine ausreichende Stichprobengröße hin.

Tab. 17: Produktsteckbrief Klassifikation 2006.

Inhalt	Beschreibung
<b>Geographische Abdeckung</b>	Deutschland
<b>Zeitliche Abdeckung</b>	Referenzzeitraum der Satellitenbildabdeckung 09/2004 – 08/2007
<b>Bilddaten Grundlage</b>	Landsat 5 Zeitreihe (Wolkenbedeckung <30 %) 30 m Auflösung der Bodenpixel
<b>Zusatzdaten</b>	Trainingsdaten: LBM-DE 2009 / CLC 2006 / InVeKoS 2006 (nur regional) Validierungsdaten: LUCAS (visuell geprüft)
<b>Nomenklatur</b>	0 = NoData 1 = Maske 2 = Grasland 3 = Ackerbau
<b>Projektion</b>	WGS 84-UTM Zone 32N (EPSG 32632)
<b>Dateiformat</b>	GeoTIFF
<b>Produkt-Kennzeichnung</b>	gl_brd_2006_utm32n_20181124_code1_v1.tif
<b>Klassifikations-Gesamtgenauigkeit</b>	89,1 % (± 0,8 %)



## Grasland und Ackerbau 2006 Deutschland

### Thematische Information

Vorkommen Grasland und Ackerland erstellt auf Basis eines Landsat Zeitreihe 2005-2007

### Legende

- Maske
- Grasland
- Ackerbau

### Datenquellen

Landsat 4/5 data 2005-2007. Daten Download und Verarbeitung durch EFTAS GmbH.

### Kartographie

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 32N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

### Karteninformation

EFTAS GmbH  
 Oststrasse 2-18  
 48145 Münster  
 Date: 10.12.2018



FKZ 3515 82 3800

Abb. 41: Ergebniskarte der Grasland- und Acker-Verteilung 2006.

Tab. 18: Validierungsergebnis der Grasland- und Ackerklassifikation 2006.

Acker Grünland Klassifikation 2006		Referenz			Total	Nutzer- Genauigkeit	Fehlergrenze (95% Konfidenz)
		1 - Andere	2 - Grünland	3 - Ackerbau			
Karte	1 - Andere	40,7 %	1,1 %	0,6 %	42,3 %	96,1 %	0,8 %
	2 - Grünland	1,3 %	15,6 %	3,6 %	20,5 %	76,1 %	2,3 %
	3 - Ackerbau	1,7 %	2,6 %	32,8 %	37,1 %	88,4 %	1,4 %
	<b>Total</b>	40,7 %	1,1 %	0,6 %	100 %		
	<b>Produzenten- genauigkeit</b>	93,1%	81,0%	88,7%		<b>Gesamt- genauigkeit</b>	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>
	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>	+ - 0,9%	+ - 2,0%	+ - 1,1%		<b>89,1%</b>	<b>+ - 0,8%</b>

Die räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler weist eine leichte Häufung in Rheinland-Pfalz (vor allem Wein/Obstbauflächen) auf (Abb. 42).

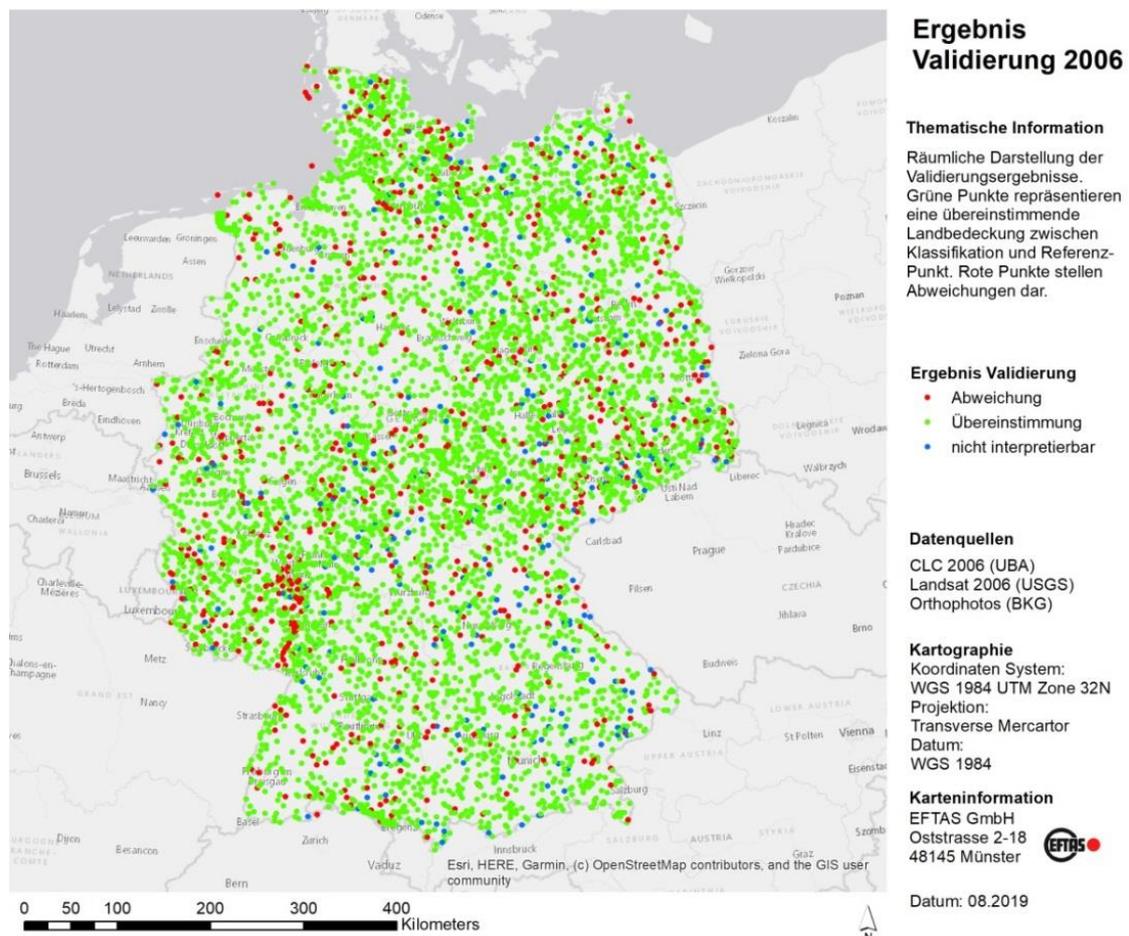


Abb. 42: Räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler der Acker-Grünland-Klassifikation 2006.

### 4.1.3 Acker-Grünland Verteilung 1990

Das Acker/Grünland-Verteilung 1990 wurde ebenfalls in einem Produktsteckbrief beschrieben (Tab. 19) sowie GeoTIFF Raster und PDF Karte erstellt (Abb. 43).

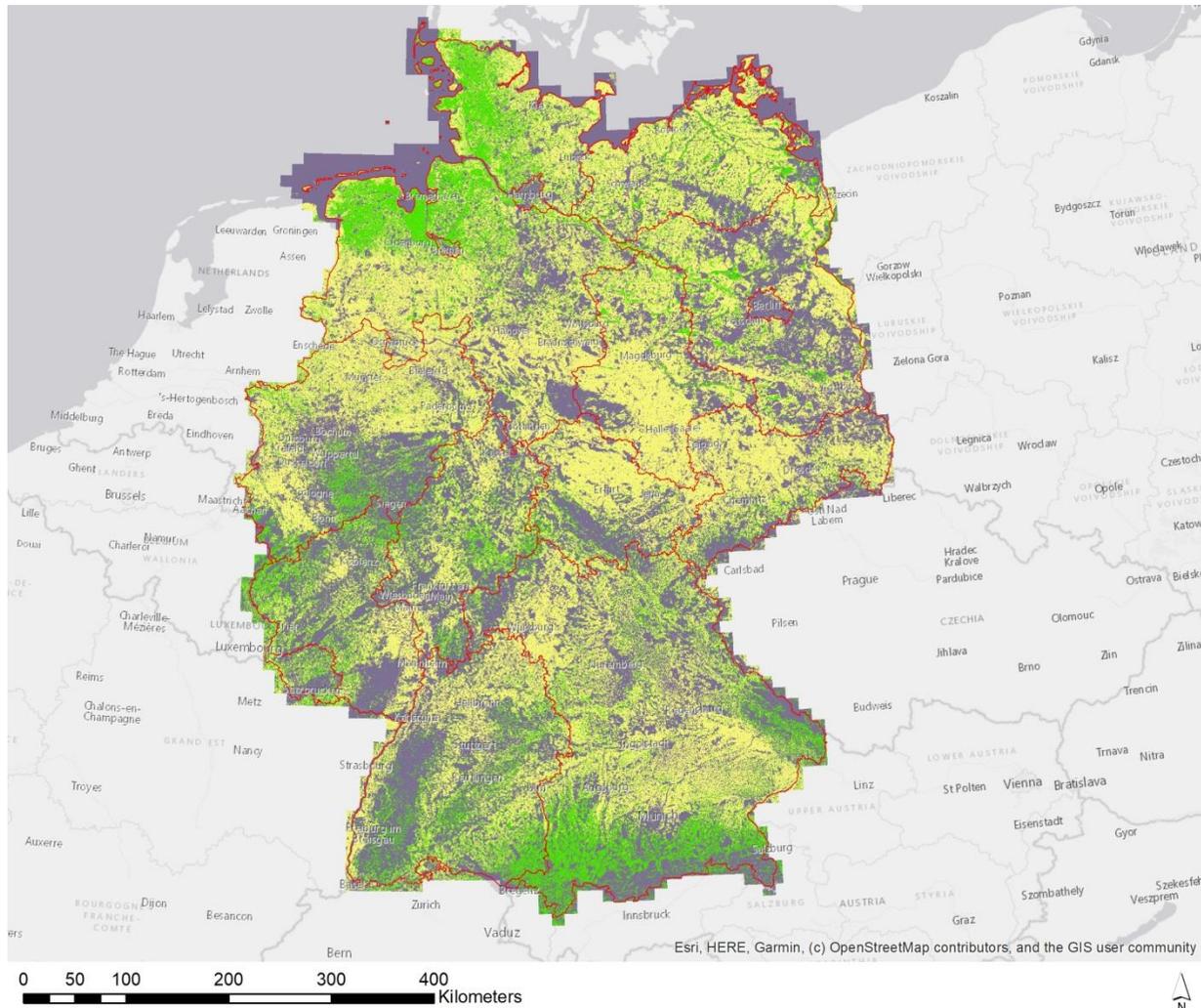
Tab. 19: Produktsteckbrief Klassifikation 1990.

Inhalt	Beschreibung
<b>Geographische Abdeckung</b>	Deutschland
<b>Zeitliche Abdeckung</b>	Referenzzeitraum der Satellitenbildabdeckung 09/1988-08/1991
<b>Bilddaten Grundlage</b>	Landsat 4/5 Zeitreihe (Wolkenbedeckung <30 %) 30 m Auflösung der Bodenpixel
<b>Zusatzdaten</b>	Trainingsdaten: CLC1990 / LBM-DE 2009 Validierungsdaten: LUCAS (visuell geprüft und rückdatiert auf Basis Landsat 1990)
<b>Nomenklatur</b>	0 = NoData 1 = Maske 2 = Grasland 3 = Ackerbau
<b>Projektion</b>	WGS 84 - UTM Zone 32N (EPSG 32632)
<b>Dateiformat</b>	GeoTIFF
<b>Produkt-Kennzeichnung</b>	gl_brd_1990_utm32n_20180727_v1.tif
<b>Klassifikations-Gesamtgenauigkeit</b>	87,1 % ( $\pm$ 0,8 %)

Die Qualität des Produkts wurde mit Hilfe der unabhängigen Validierungsdaten für das Referenzjahr 1990 geprüft. Die Ergebnisse zeigen eine Gesamtgenauigkeit von ca. 87 % (Tab. 20). Die UA ist mit ca. 83 % für Grasland höher im Vergleich zu Ackerbau mit 80 %. Die PA ist mit ca. 65 % deutlich schlechter für Grasland im Vergleich zu ca. 94 % für Ackerbau. Dies sagt aus, dass zu einer deutlichen Unterschätzung des Graslands in diesem Produkt zu Gunsten des Ackerlands kam.

Tab. 20: Validierungsergebnis der Grasland- und Ackerklassifikation 1990.

Acker Grünland Klassifikation 1990		Referenz			Total	Nutzer- Genauigkeit	Fehlergrenze (95% Konfidenz)
		1 - Andere	2 - Grünland	3 - Ackerbau			
Karte	1 - Andere	38,9 %	1,1 %	0,4 %	40,4 %	96,5 %	0,8 %
	2 - Grünland	0,8 %	12,7 %	1,8 %	15,3 %	82,7 %	2,4 %
	3 - Ackerbau	3,0 %	5,9 %	35,4 %	44,3 %	80,0 %	1,6 %
	<b>Total</b>	42,8 %	19,6 %	37,6 %	100 %		
	<b>Produzenten- genauigkeit</b>	91,1 %	64,7 %	94,2 %		<b>Gesamt- genauigkeit</b>	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>
	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>	1,0 %	2,1 %	0,9 %		<b>87,1 %</b>	<b>0,8 %</b>



## Grasland und Ackerbau 1990 Deutschland

### Thematische Information

Vorkommen Grasland und Ackerland erstellt auf Basis eines Landsat Zeitreihe 1989-1991

### Legende

- Maske
- Grasland
- Ackerbau

### Datenquellen

Landsat 4/5 data 1989-1991. Daten Download und Verarbeitung durch EFTAS GmbH.

### Kartographie

Coordinate System: WGS 1984 UTM Zone 32N  
 Projection: Transverse Mercator  
 Datum: WGS 1984

### Karteninformation

EFTAS GmbH  
 Oststrasse 2-18  
 48145 Münster  
 Date: 10.12.2018



FKZ 3515 82 3800

Abb. 43: Ergebniskarte der Grasland- und Acker-Verteilung 1990.

Durch die hohe Stichproben-Anzahl ist die Fehlermarge, d.h. der Schwankungsbereich der Qualitätsaussage, sehr gering ( $\pm 0,8\%$ ). Hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Übereinstimmung (ok) bzw. Nicht-Übereinstimmung (n.ok) der Referenzpunkte mit der Klassifikation konnte keine regionalen Häufungen festgestellt werden (Abb. 44).

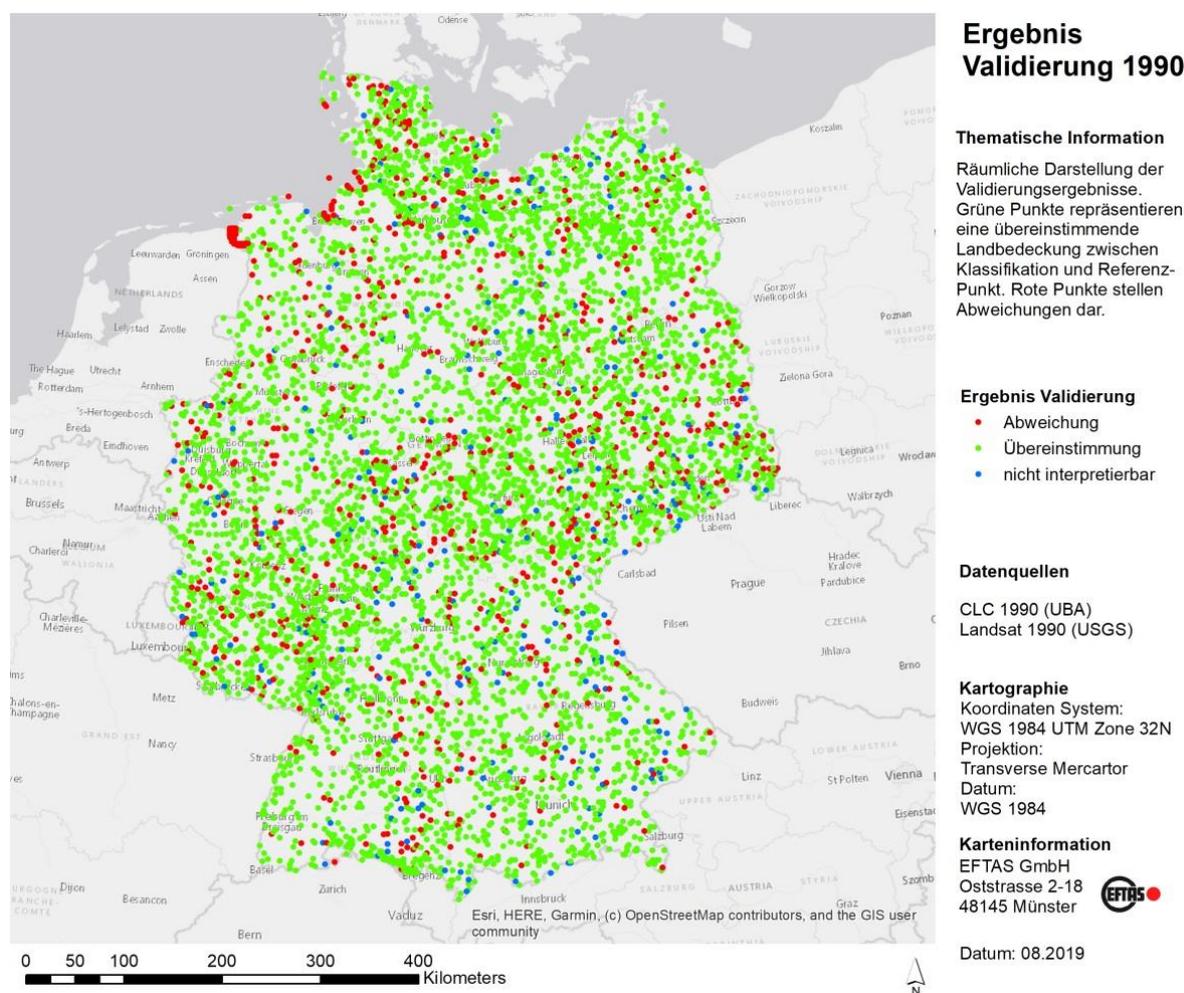


Abb. 44: Räumliche Verteilung der Klassifikationsfehler der Acker-Grünland-Klassifikation 1990.

## 4.2 Qualitativer Vergleich mit Copernicus Grasland High Resolution Grasland Layer

Ein Vergleich der in dieser Studie erzeugten Graslandkarte und der Copernicus High Resolution Layer (HRL) Graslandkartierung zeigt, dass beide Datensätze in weiten Teilen übereinstimmen. In allen sechs Gebieten liegt die mittels Zufallsstichprobe ermittelte Gesamtgenauigkeit der Produkte zum Teil deutlich über einer Gesamtgenauigkeit von 85 % (Tab. 21). Dies wird durch die gute Übereinstimmung mit den LPIS-Graslandvorkommen bestätigt, wobei die Übereinstimmung mit den hier erstellten Datensätzen in den Testgebieten etwas höher ausfällt als mit dem HRL Grasland Layer.

Tab. 21: Übersicht der HRL-BfN Evaluationsergebnisse (Buck et al. 2018).

DTK Name	Gesamtgenauigkeit [%]		Benutzergenauigkeit [%]		Produzentengenauigkeit [%]		Anteil Grasland je TK erfasst [%]		GL Abdeckung von LPIS [%]	
	HRL	BfN	HRL	BfN	HRL	BfN	HRL	BfN	HRL	BfN
Neuhaus (Elbe)	96,7	95,1	93,3	90,2	93,9	91,2	23,5	29,0	92,7	97,2
Westenholz	94,5	87,4	91,6	77,8	93,8	81,8	9,0	15,3	68,4	83,0
Artern (Unstrut)	97,9	90,4	94,0	79,8	96,7	84,6	5,4	16,2	44,8	94,4
Uffing a. Staffelsee	98,8	97,2	98,8	95,5	98,9	95,8	31,4	47,6	64,9	89,7
Zeiskam	97,7	96,1	94,9	92,1	95,9	93,0	8,4	17,4	68,1	93,4
Lippetal	94,3	92,9	87,8	85,4	90,3	87,7	18,8	28,9	73,9	91,8

Die größten Unterschiede zwischen den Graslandkarten beruhen auf den unterschiedlichen Spezifikationen der Datensätze hinsichtlich Mindestkartierfläche, Bodenauflösung und Definition der Graslandklasse. Hier wirkten sich insbesondere die HRL Mindestkartierfläche von 1 ha und die etwas gröbere Bodenauflösung von 20 m negativ auf die Flächenstatistik aus.

Generell unterschätzt der HRL Datensatz das vorhandene Grün- und Grasland, dafür jedoch mit einer hohen Benutzergenauigkeit. Im Gegensatz dazu verfügen die im BfN Projekt erstellen Karten über eine hohe Produzentengenauigkeit, jedoch mit dem Nachteil, dass das Grasland insgesamt überschätzt wurde. Gelegentlich konnten Fehlklassifizierungen wie Überschneidungen mit Ackerfrüchten oder anderen Landnutzungen beobachtet werden. Diese traten in der BfN-Karte z. B. bei Wintermenggetreide oder im Gebiet Westenholz bei Heide-, Torf-, und Moorflächen auf. Überschneidungen mit Ackerfrüchten oder anderen Landnutzungsarten sind im HRL Produkt eher seltener zu beobachten. Dies lässt sich einerseits mit der Verwendung von zusätzlichen historischen Datensätzen erklären, welche dazu beitragen, Überschneidungen mit Ackerflächen zu minimieren. Da beim HRL der Fokus auf einer verlässlichen Erfassung von Grasland (d.h. hohe Benutzergenauigkeit) lag, wurde versucht, Überschneidungen mit Ackerflächen zu vermeiden, was v. a. bei spektral ähnlichen Klassen wie beispielsweise Wintergetreide zu einem gewissen Verlust an Graslandflächen führte.

Die HRL2018 Graslandkartierung ist bereits in Planung und wird einige Verbesserungen mit sich bringen. Der neue Datensatz soll mit einer höheren geometrischen Auflösung von 10 m und ohne die Anwendung einer Mindestkartierfläche produziert werden. Weiterhin ist geplant, den Produzenten vermehrt Zugang zu den LPIS Daten zu gewähren, um die Genauigkeit der Graslandkarte noch zu verbessern. Durch die stetig wachsenden Sentinel-1 und -2 Datenarchive stehen für die nächste HRL Produktion außerdem noch dichtere Satellitenbildzeitserien zur Verfügung, die in Verbindung mit verbesserten Erfassungsmethoden zu höheren Erfassungsgenauigkeiten führen werden. Damit verbunden sind weitere Automatisierungsmöglichkeiten, so dass in immer kürzeren Zeiträumen aktuelle Grasland-Referenzdaten und Veränderungskartierungen auf europäischer Ebene bereitstehen werden.

Durch eine jährliche Wiederholung des hier beschriebenen Ansatzes könnte eine nationale Ergänzung zu diesen europäischen Entwicklungen erfolgen. Die Verwendung zusätzlicher (historischer) Anbaujahre, wie sie für die HRL geplant ist, könnte auch den BfN-Ansatz verbessern und zusätzlich eine Trennung von temporärem und Dauergrünland ermöglichen.

### **4.3 Vergleichsanalyse LUCAS Flächenstatistik und Acker-Grasland-Produkte**

Die Flächenschätzung auf Basis der 2016 Klassifikation unter der Referenzdaten weist einen bundesweiten Flächenanteil des Graslandes von 23,1 % ( $\pm 0,6$  % Fehlergrenze) auf. Zum Vergleich wies die LUCAS-Erfassung 2015 ebenfalls einen Graslandanteil (LUCAS Grasland + temporäres Grasland/Ackergras) von 23,1 % ( $\pm < 1,0$  % Variationskoeffizient) auf. Beide Produkte konnten also sehr ähnliche Flächenanteile ermitteln (Abb. 45).

Blickt man nun auf die weiteren Zeitschnitte, so zeichnet sich in den berechneten Klassifikationen ein unerwarteter Trend ab. Die Acker-Grasland-Karten für die Referenzjahre 1990 und 2006 zeigten einen Graslandanteil von lediglich 19,6 % ( $\pm 0,7$  %) bzw. 19,3 % ( $\pm 0,7$ ). Dies würde einer Grünlandzunahme von 3,5-3,8 Prozentpunkten entsprechen, was sich deutlich unterscheidet gegenüber dem leichten Abnahmetrend des Wirtschaftsgrünlands in einer Studie des Umweltbundesamt (UBA 2018) bzw. der geringfügigen Veränderungen, wie durch amtliche Statistiken dokumentiert sind (DeStatis 2019) (vgl. Abb. 46). Gründe für die Abweichung müssen zunächst in der Qualität der Klassifikationen gesucht werden. Sowohl im 2006er, als auch im 1990er Zeitschnitt, treten Klassifikationsgenauigkeiten von deutlich unter 70 bzw. 80 % auf (Tab. 22), was sich in der Genauigkeit der ermittelten Flächenschätzung niederschlägt. Weiterhin standen auch für die Zeitschnitte 2006 und 1990 keine verlässlichen Referenzdaten zur Verfügung. Für 2006 konnten zwar auch LUCAS-Primärdaten (Gelände-Punkt-Informationen) für Deutschland genutzt werden, wobei es jedoch keine offizielle LUCAS-Statistik gibt, mit der das Ergebnis verifiziert werden kann. Für 1990 lagen keine vergleichbar repräsentativ verteilten Felddaten für ganz Deutschland vor. Aus Sicht der Fernerkundung muss man zudem berücksichtigen, dass diese Zeitschnitte jeweils auf einer Kollage von wolkenfreien Aufnahmen aus mehreren Jahren, also 1989-1991 und 2005-2007, erstellt wurden. Auch die räumliche Auflösung von 30 m im Vergleich zum 2016er Sentinel-Produkt mit 10 m ist deutlich verschieden. Aus dieser ungleichen Ausgangssituation folgt, dass die Zeitreihen 1990 und 2006 nur bedingt mit dem 2016 Sentinel-2 Produkt verglichen werden dürfen.

Der Einfluss der unterschiedlichen Eingangsdaten führt dazu, dass die Fehlerabweichungen der Klassifikation höher sind als die tatsächlich belegten Nutzungsänderungen. Um Trends im Bereich von  $<4$ - $5$  % Änderung belegen zu können, ist eine Genauigkeit (inkl. Varianz) kleiner dieses Werts erforderlich. Dies konnte für die Zeitschnitte 1990 und 2006 nicht erreicht werden. Für 2016 zeigten die Ergebnisse jedoch, dass mit den neuen Zeitreihen-Daten von Sentinel-2 in Kombination mit LUCAS Felddaten solche Genauigkeitswerte erreichbar sind. Entscheidend ist hierbei die weitere Verfügbarkeit solch geeigneter Satelliten- und Referenzdaten. Damit können bundesweite Grünland-Monitoringverfahren operationalisiert werden.

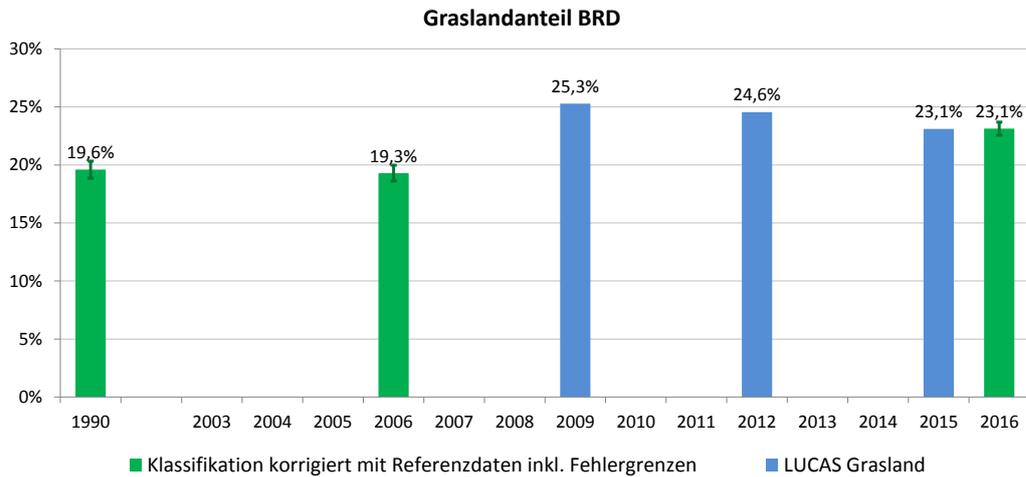


Abb. 45: Vergleich der LUCAS<sup>1</sup> Grasland-Flächenschätzung mit den Ergebnissen der Satellitenbild Klassifikationen.

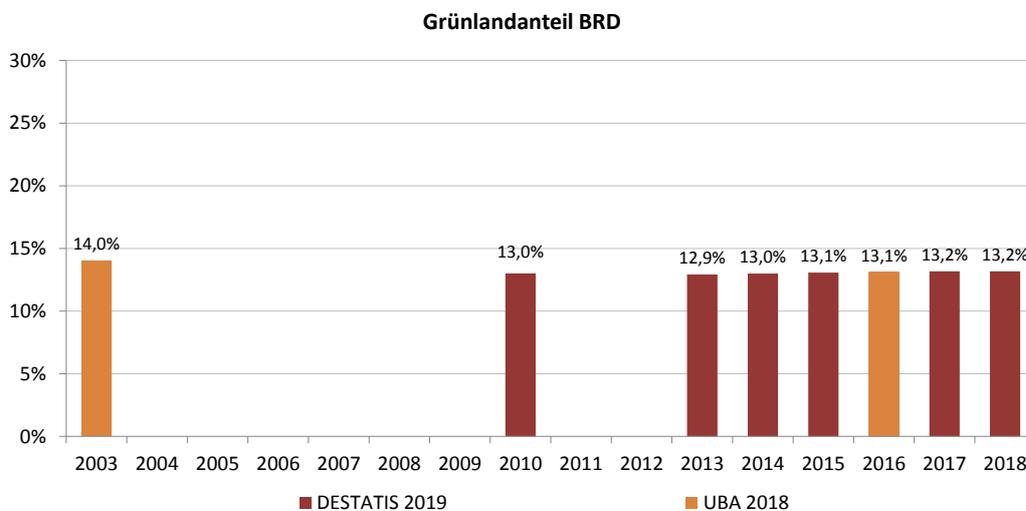


Abb. 46: Bundesweiter Flächenanteil an Dauergrünland (DeStatis 2019; UBA 2018).

Tab. 22: Übersicht der Klassifikationsgenauigkeiten der Graslandklassifikation 1990-2016.

	Nutzergenauigkeit	Produzentengenauigkeit	Fehlergrenze
<b>2016</b>	84,5 %	89,3 %	± 0,6 %
<b>2006</b>	76,1 %	81,0 %	± 0,7 %
<b>1990</b>	82,8 %	64,6 %	± 0,7 %

<sup>1</sup> LUCAS 2015 (Grasland + temporäres Grasland/Ackergras), EUROSTAT, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/database>

Betrachtet man den bundesweiten Flächenanteil des Grünlands, weisen sowohl das Statistische Bundesamt, als auch das Umweltbundesamt (Abb. 46), einen deutlich niedrigeren Grünlandanteil aus. Dies erklärt sich aus der unterschiedlichen Definition von Grasland in der vorliegenden Klassifikation (erfolgt in dieser BfN Studie auf Basis von Fernerkundung und schließt phänotypisch ähnliche Klassen wie z.B. Klee, Ackergras mit ein) und der Dauergrünland-Ermittlung der amtlicher Statistik (erfolgt auf Basis der InVeKoS Antragsinformationen). Während der Grasland-Anteil für 2016 in der vorliegenden Studie bei 23,1 % liegt, weist das UBA lediglich 13,1 % als Dauergrünland aus. Die Angaben des Statistischen Bundesamtes rangieren in ähnlichen Dimensionen wie die Werte des UBA. Im Falle der amtlichen Statistiken wird vor allem landwirtschaftlich genutztes Grünland erfasst, während die Klassifikationen, wie auch die LUCAS-Flächenstatistik, sämtliche Graslandflächen (inklusive z. B. urbane Grasflächen) beinhalten.

Für das Bundesland Niedersachsen (inkl. Bremen) wurde daher die Grasland-Klassifikation 2016 exemplarisch mit den räumlichen Informationen des InVeKoS, einem rein landwirtschaftlichen Datensatz, verglichen. Somit konnten die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen Satellitenbild Grasland-Klassifikation und tatsächlich landwirtschaftlich genutztem Grünland nach InVeKoS Definition untersucht werden. Hierzu wurden alle InVeKoS-Anbauflächen Niedersachsen ausgewertet. Über die Sentinel-2 Klassifikationen wurden 21,7 % (+/- 1,7 %) Niedersachsens als Grasland erfasst (Tab. 23). Dem gegenüber steht ein landwirtschaftlicher Flächenanteil von 14,4 % gerechnet aus den InVeKoS Fachdaten bzw. 14,3 Prozent ermittelt durch die amtlichen Statistiken des Bundes (DeStatis 2017).

Tab. 23: Vergleich der landwirtschaftlichen Flächenanteile 2016 für Niedersachsen und Bremen

	Acker (%)	Grasland (%)	Dauergrünland (%)
<b>Klassifikation*</b>	36,8 (+/- 2,4)	21,7 (+/- 1,7)	-
<b>InVeKoS</b>	38,1		14,4
<b>DeStatis</b>	39,2	-	14,3

\* inkl. +/- Fehlermarge (bei 95 % Konfidenzintervall)

Diese Unterschiede begründen sich um einen in den unterschiedlichen Definitionen der Grasland und Grünland Klassen. So sind z.B. nicht landwirtschaftlich genutzte Grasland-Flächen, wie z. B. öffentlichen Parks, Grünflächen sowie Golfplätze, nur in der BfN Grasland-Definition enthalten (Abb. 47). Bei einer visuellen Inspektion zufällig ausgewählter Flächen wurden jedoch auch landwirtschaftlichen Grünland Bereiche gefunden, die korrekt klassifiziert wurden, jedoch nicht im InVeKoS Referenzsystem enthalten sind (Abb. 48).

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass ein satellitenbildbasierter Vergleich über den anvisierten Untersuchungszeitraum methodisch möglich ist, jedoch vergleichbare Trainings- und Validierungsdaten für alle untersuchten Zeitschnitte fehlten, sodass die Ergebnisse nicht verlässlich verifiziert werden konnten. Auch eine Trendanalyse über den Untersuchungszeitraum ist aufgrund der zu großen Klassifikationsungenauigkeiten nicht möglich.



Abb. 47: Zusätzlich erfasstes Grasland auf einem Golfplatz (grüne Flächen) gegenüber der InVeKoS-Grünland Datenlage (magenta). Bildhintergrund: WMS-DOP Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).



Abb. 48: Korrekte Klassifikation von Grünland (links, grün), welches nicht im InVeKoS Fachsystem (rechts, violett) enthalten ist. Bildhintergrund: WMS-DOP Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG).

Für eine sichere Untersuchung der Grünland-Entwicklung in Deutschland seit 1990 ist zudem die Verfügbarkeit der damaligen Fernerkundungsdaten nicht ausreichend. Zusätzlich lassen die unterschiedlichen Grünland-Definitionen der amtlichen Statistiken (= Landnutzung) gegenüber der fernerkundungs-bedingten Erfassung der Landbedeckung keinen di-

rekten Vergleich zu.

Gleichzeitig wird jedoch deutlich, dass die angewandte Methodik basierend auf den Sentinel-2 Daten im Zusammenspiel mit Referenzdaten wie den LUCAS-Flächenstatistiken für zukünftige Vergleiche sehr gut geeignet ist. Über die Kombination von LUCAS Geländeinformationen und Sentinel-2 Zeitreihen-Analysen lassen sich sehr gute bundesweite Grasland-Produkte erzeugen.

Durch die zukünftige Einbindung von zusätzlichen Informationen (z. B. ATKIS Siedlungsklassen) könnte zudem die Unterscheidung von Grasland und Grünland optimiert werden. Hier sind die aktuellen Entwicklungen der deutschen Landesvermessung zur Überarbeitung des ATKIS Datenmodells zur klaren Trennung von Landbedeckung und Landnutzung sehr zu begrüßen (Arnold et al. 2017). Aktuelle Entwicklungen und Empfehlungen zur Verbesserung der LUCAS Systematik (Buck et al. 2015) unterstützen ebenfalls die Verwendung dieser Daten für Fernerkundungsanwendungen, insbesondere die Ableitung von Grünland-Informationen. So wurde in der LUCAS 2018 Kampagne erstmalig ein Grasland-Pilotverfahren getestet, in dem zusätzliche Grünland Qualitätsparameter erhoben wurden (Sutcliffe et al. 2019), wie beispielsweise:

- Schlüsselarten des Grünlands
- Blühaspekte
- Vegetationsschichten und -struktur
- Standort-Eigenschaften
- Grasland-Typ und Nutzung
- Alter des Grünlands
- Düngung
- EUNIS Habitat-Klassifizierung.

In Ergänzung zu diesem gesamteuropäischen Testverfahren, bei welchem einerseits eine große fachliche Tiefe anvisiert wird, aber andererseits „nur“ 90 Punkte in Deutschland erhoben werden, wurde zusätzlich eine vereinfachte Erfassung ausgewählter Grünland-Parameter an 522 Grasland-Punkten innerhalb der LUCAS 2018 Feldkampagne für das Bundesland Nordrhein-Westfalen getestet. Die Ergebnisse zeigen, dass auch mit vergleichsweise geringem Aufwand zuverlässige Informationen zu den folgenden Grünland-Parametern erfasst werden können (EFTAS GmbH 2019):

- Komponenten der krautigen Vegetationsschicht (in 20 % Schritten)
- Heterogenität der Krautschicht (homogen, heterogen, sehr heterogen, nicht relevant), Anteil der Krautartigen
- Graslandtyp (Wiese, Weide, anderes Grasland)
- Ggf. Mahd: gemähtes Grünland (Schnittgut liegt noch auf der Fläche), seit wenigen Tagen gemähtes Grünland (kein Schnittgut mehr vorhanden, Vegetation < 5 cm), Grünland im Aufwuchs nach Schnitt (Vegetation 10-20 cm), Grünland im Aufwuchs nach Schnitt (Vegetation 20-30 cm), Grünland noch kein Schnitt (Blüte, Vegetation 40-60 cm)

- EUNIS Grasland Habitat-Typ.

#### 4.4 Mahd-Detektion mit SAR-Zeitreihe

Die Analyse der Sentinel-1 Radar-Zeitreihen ergab qualitative Unterschiede in der Grünland Mahd-Erkennung. Für den jeweils ersten Referenzzeitraum in Schleswig-Holstein und Baden-Württemberg konnten gute bis sehr gute Ergebnisse mit Gesamtgenauigkeiten von  $\geq 90\%$  erreicht werden (Tab. 24), mit denen gemähte Flächen im Testgebiet erkannt werden konnten (Abb. 49). Im Testgebiet Hessen und für den zweiten Referenzzeitraum in Schleswig-Holstein konnten hingegen keine ausreichend guten Ergebnisse erzielt werden. Das gewählte Klassifikationsverfahren für die Kohärenz-Produkte (Schwellenwert, SVM-Klassifikation pixelbasiert, SVM-Klassifikation Mittelwert-basiert) schien dabei keine Rolle zu spielen. Aufgrund der schwankenden Qualität der Ergebnisse in den verschiedenen Testgebieten konnte noch keine Aussage zur Priorisierung einer Methode getroffen werden.

Tab. 24: Ergebnisse der Kohärenz-Untersuchung zur Detektion von Mahd-Ereignissen.

Ergebnisse Kohärenz-Untersuchung							
Testgebiet/Kartierung		SH K1	SH K1	SH K1	SH K2	HE K1	BW K1
Aufnahmemodus (Polarisation)		VV	VH	VV	VV	VV	VV
Klassifikationsverfahren <sup>a</sup>		Schwellenwert	Schwellenwert	SVM*	Schwellwert	SVM*	SVM <sup>^</sup>
OA (%)		90	89	83	64	73	91
Mahd	PA (%)	88	88	65	91	82	89
	UA (%)	90	88	100	63	71	94
keine Mahd	PA (%)	91	89	100	28	63	93
	UA (%)	90	89	76	70	76	87

<sup>a</sup> Schwellwert: das Kohärenzprodukt wurde pixelbasiert über einen manuell festgelegten Schwellwert klassifiziert.

\* Das Kohärenzprodukt wurde pixelbasiert klassifiziert und dem Grünland-Polygon anschließend die Klasse mit dem höheren Pixelanteil innerhalb der Fläche zugewiesen.

<sup>^</sup> Als Eingangsdaten wurde bereits ein über das Grünland-Polygon gemitteltes Kohärenzprodukt verwendet, so dass die Fläche einheitlich klassifiziert wird.

Vielmehr zeigten die Ergebnisse, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um die komplexen Interaktionen des Radarsignals mit der Vegetation und dem Boden in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen zu verstehen. Infolgedessen sollten die folgenden Themenbereiche detaillierter betrachtet werden:

- Welche Faktoren können außer einer Mahd noch Einfluss auf die Kohärenzzeitreihe einer Grünlandfläche haben (z. B. Niederschlag, Bodenfeuchte)?
- Warum spiegeln sich einzelne Mahd-Ereignisse nicht in den Kohärenzdaten wider?
- Wie lassen sich Kohärenzanstiege nach einer Mahd von Kohärenzanstiegen durch sonstige Einflüsse unterscheiden?
- Welche Zusatzinformationen sind demnach für eine erfolgreiche Mahd-Detektion hilfreich/nötig (z. B. Niederschlagsdaten)?

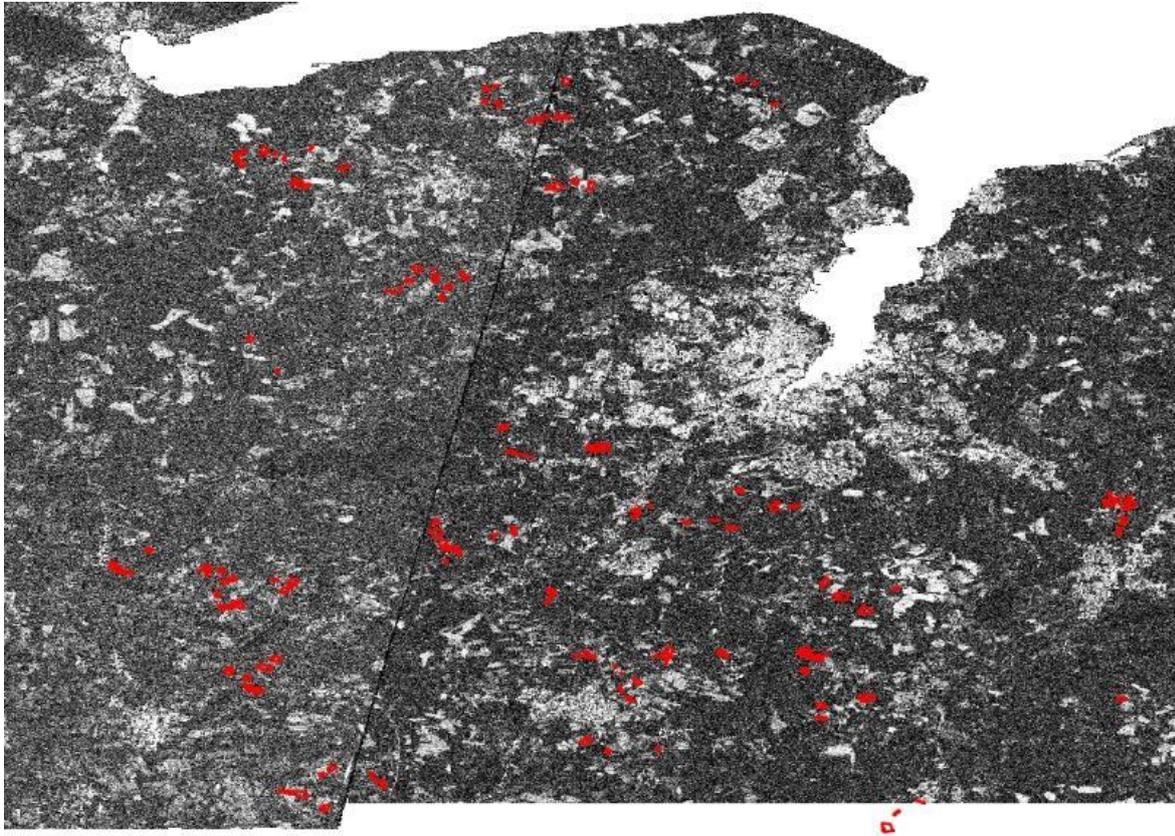


Abb. 49: Detektion gemähter Flächen (rot) als Ergebnis der Kohärenz-Berechnung 27.05.2017 - 02.06.2017 im Testgebiet SH.

#### 4.5 Ergebnisse der biophysikalischen optischen Indikatoren

Für die beiden Grünland-Klassen LRT 6510 und Nicht-LRT/sonstiges Grünland wurden Boxplot-Diagramme für die jeweiligen Zeitreihen erstellt und visuell ausgewertet. Dabei zeigte sich ein ähnlicher NDVI Verlauf für beide Testgebiete (Abb. 50), bei dem die Werte der nicht-LRT-Klasse zu den meisten Zeitpunkten leicht über den Werten der LRT-Klasse liegen. Nur im Zeitraum der Heuernte (Juni/Juli) erscheinen die mittleren NDVI-Werte der Nicht-LRT im Testgebiet BW niedriger. Innerhalb des Testgebiets BY hingegen zeigten die Nicht-LRT-Flächen nur im März und Juli höhere NDVI-Mittelwerte. Es konnte somit kein eindeutiges Bild über die Testgebiete hinweg festgestellt werden. Hierzu sind weitere Informationen zum Management der Grünlandflächen notwendig, da sich Maßnahmen wie Beweidung und Anzahl und Zeitpunkt der Mahd entscheidend auf den Verlauf der NDVI Kurven auswirken können.

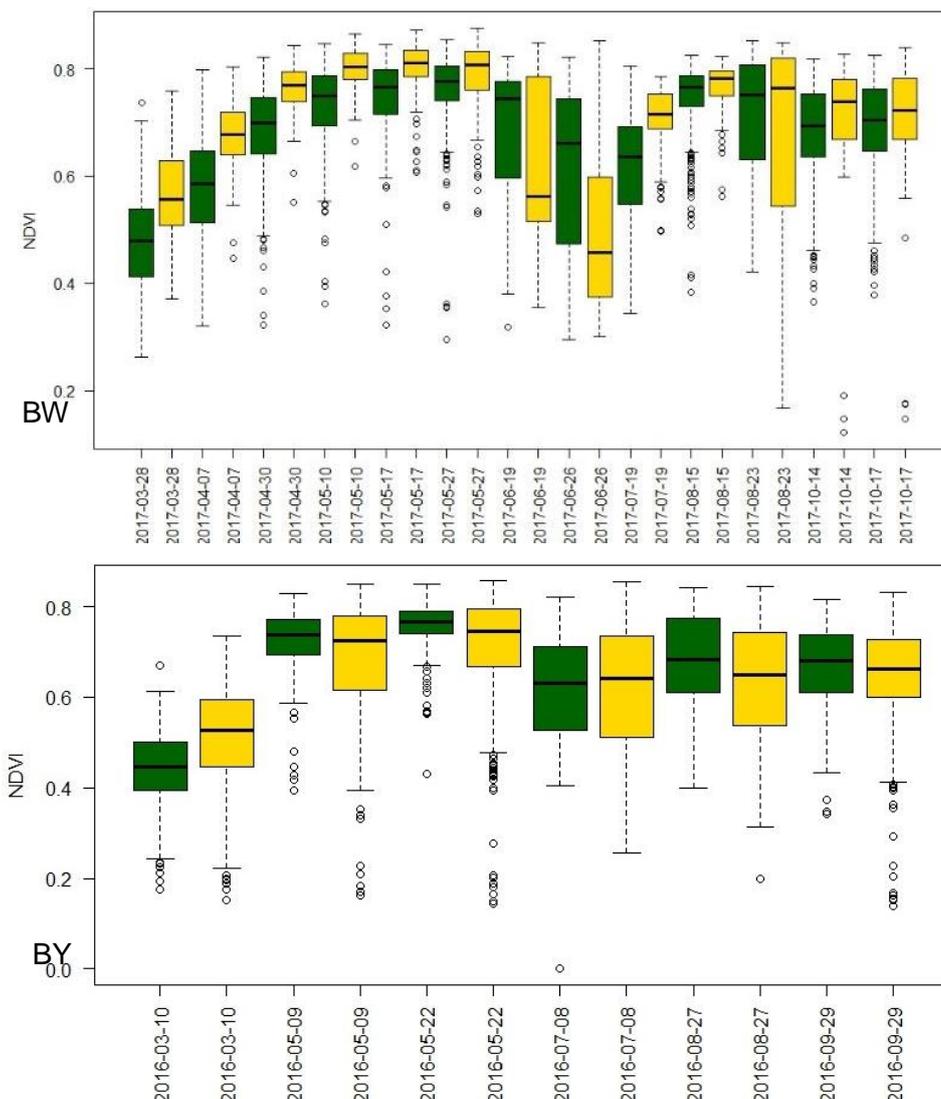


Abb. 50: Zeitreihe der NDVI-Werte für LRT 6510 (grün) und nicht-LRT (gelb) Grünlandflächen.

Die Ergebnisse der Zeitreihe für den IRECI (Abb. 51) zeigen im Testgebiet BW einen ähnlichen Verlauf wie der NDVI. Vor allem im Zeitraum bis Ende Mai sind Unterschiede zwischen LRT- und nicht-LRT-Flächen zu beobachten.

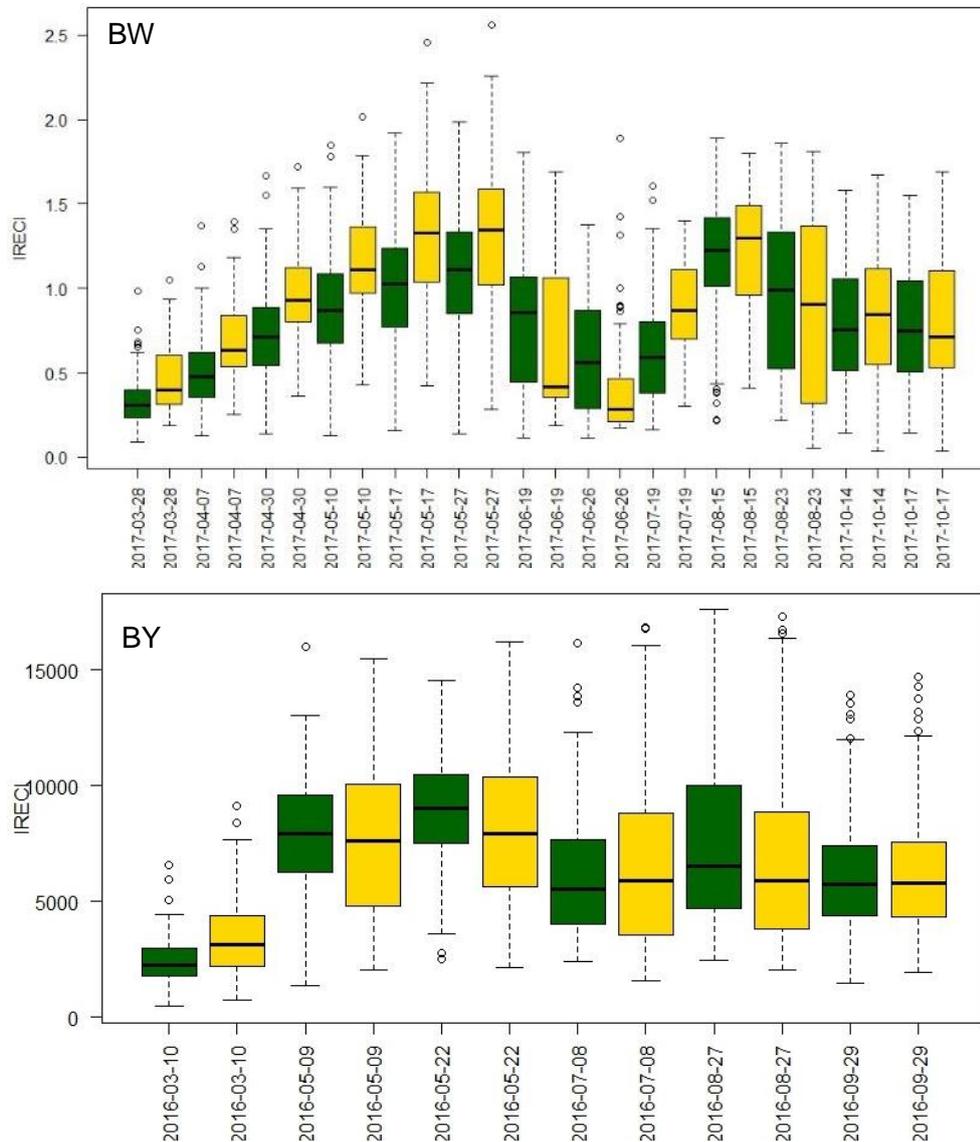


Abb. 51: Zeitreihe der IRECI-Werte für LRT 6510 (grün) und nicht-LRT (gelb) Grünlandflächen.

Die nicht-LRT-Flächen haben in beiden Testgebieten im Mittel einen höheren MASD-Wert als die LRT-Flächen (Abb. 52), was auf eine erhöhte Nutzung dieser Flächen hinweisen könnte (Franke et al. 2012).

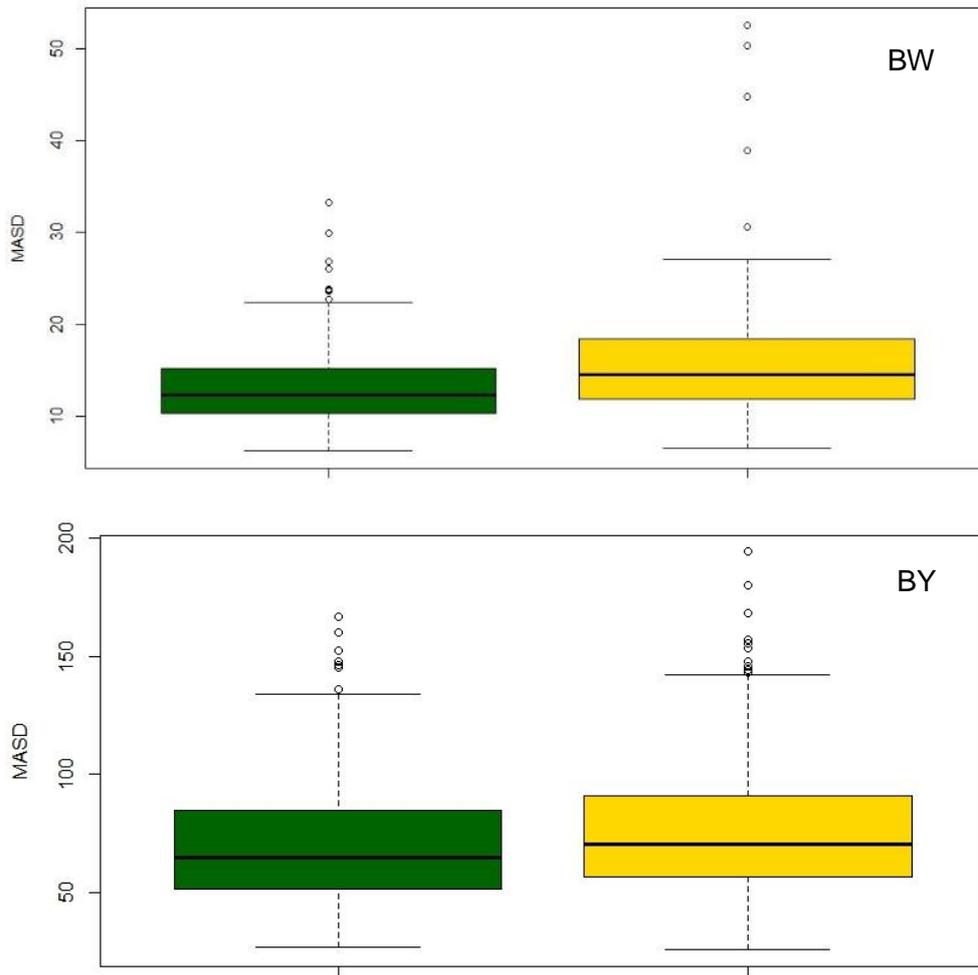


Abb. 52: Vergleich der MASD-Werte für LRT 6510 (grün) und nicht-LRT (gelb) Grünlandflächen.

Der Vergleich der beiden Grünlandklassen zeigt für die untersuchte Zeitreihe nahezu durchgehend eine niedrigere Homogenität (Abb. 53) der LRT-Flächen im Gegensatz zu den nicht LRT-Flächen im Testgebiet BW. Im Testgebiet BY liegen die Homogenitätswerte von nicht-LRT-Flächen nur leicht über denen von LRT-Flächen.

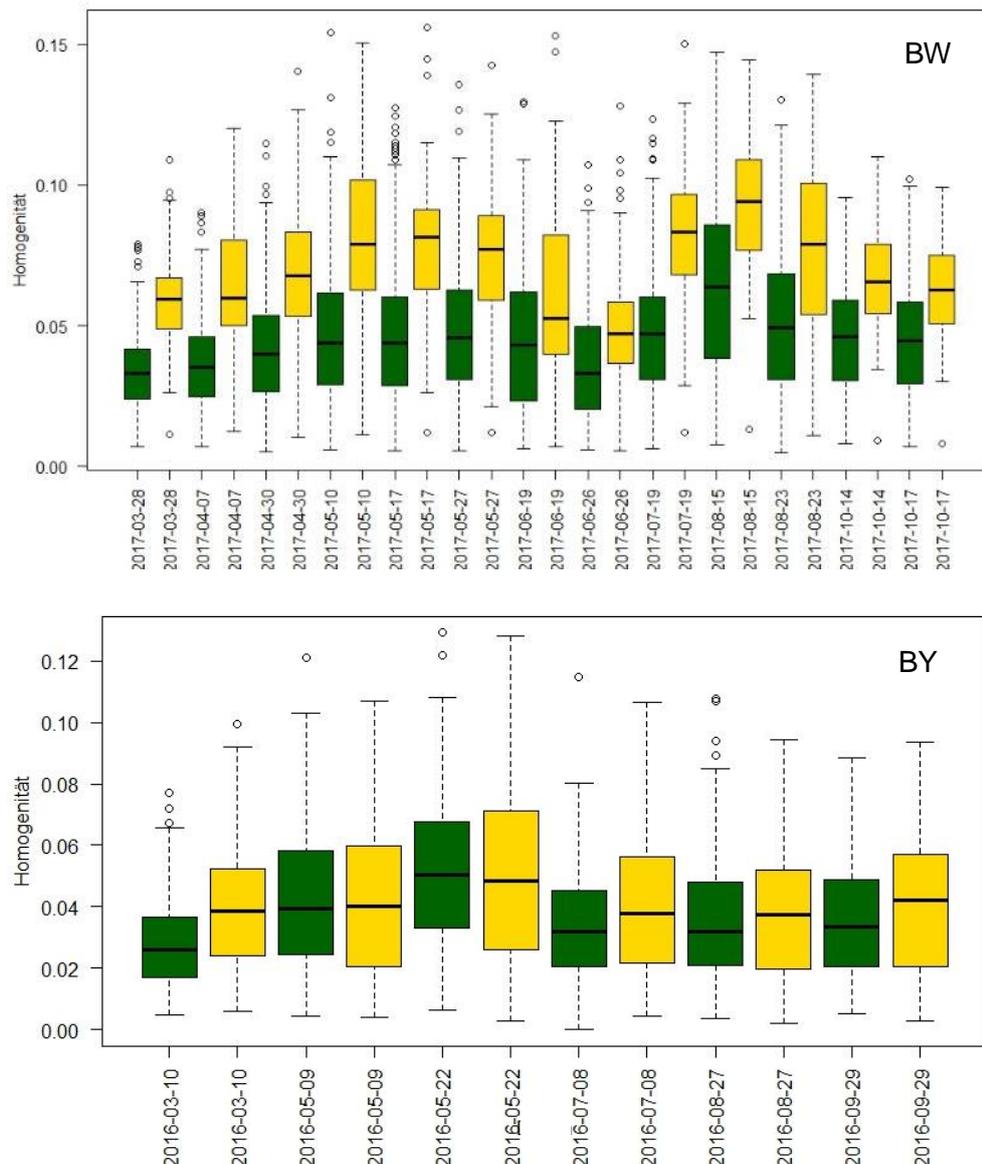


Abb. 53: Zeitreihe der Homogenitäts-Werte für LRT 6510 (grün) und nicht-LRT (gelb) Grünlandflächen.

Mit einem Zweistichproben-t-Test (Student's t-Test) wurde geprüft, ob die Mittelwerte der beiden Grünlandklassen signifikant verschieden sind. Dies ist dann der Fall, wenn der p-Wert  $< 0,05$  ist und somit die Nullhypothese bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 5\%$  verworfen wird. Alle untersuchten Indikatoren weisen demnach ein Potential zur Unterscheidung von Grünlandflächen mit LRT- und nicht-LRT-Status auf (Tab. 25, Tab. 26). Es zeigte sich, dass

- insbesondere im Testgebiet BW der Indikator Homogenität eine besonders gute Trennung der beiden untersuchten Klassen zulässt,
- im Testgebiet BW für NDVI und IRECI 9 bzw. 8 der 12 untersuchten Zeitpunkte eine statistisch signifikante Differenz der beiden Mittelwerte erreichen,

- im Testgebiet BY NDVI und Homogenität für 4 von 6 Zeitpunkten eine Signifikanz aufweisen,
- der MASD in beiden Testgebieten ein statistisch signifikantes Ergebnis erzielen konnte.

Die Unterschiede in den beiden Testgebieten zeigten jedoch auch, dass diese Ergebnisse nicht auf andere Regionen übertragbar waren. Es wird empfohlen, die Signifikanz dieser Indikatoren auf weiteren Testgebieten und für weitere Anbaujahre zu untersuchen, um die Aussagekraft der Indikatoren besser beurteilen zu können.

Tab. 25: Unterscheidbarkeit von Grünland-LRT anhand biophysikalischer Indikatoren im Testgebiet BW; grün = statistische Signifikanz ( $p < 0,05$ ), rot = keine statistische Signifikanz,  $t$ =t-Wert,  $df$ =Freiheitsgrade.

Datum	Homogenität			NDVI			IRECI		
	t	df	p	t	df	p	t	df	p
28.03.17	9,0	70,1	< 0.05	6,9	86,3	< 0.05	5,0	67,9	< 0.05
07.04.17	8,2	70,3	< 0.05	8,1	98,7	< 0.05	6,2	70,7	< 0.05
30.04.17	7,4	70,8	< 0.05	7,9	122,4	< 0.05	6,5	76,8	< 0.05
10.05.17	8,1	77,8	< 0.05	7,8	137,5	< 0.05	6,6	78,7	< 0.05
17.05.17	7,9	77,7	< 0.05	3,8	93,3	< 0.05	4,3	71,9	< 0.05
27.05.17	7,8	80,5	< 0.05	1,2	77,3	0,24	2,4	68,3	< 0.05
19.06.17	3,5	71,6	< 0.05	-3,1	74,1	< 0.05	-1,6	71,3	0,12
26.06.17	3,6	75,6	< 0.05	-4,3	79,6	< 0.05	-3,1	76,5	< 0.05
19.07.17	9,2	76,9	< 0.05	8,3	102,8	< 0.05	6,7	75,4	< 0.05
15.08.17	7,4	100,4	< 0.05	0,8	85,6	0,42	0,9	76,5	0,37
23.08.17	5,7	79,9	< 0.05	-2,3	69,5	< 0.05	1,5	75,4	0,15
14.10.17	5,9	82,3	< 0.05	0,2	67,7	0,81	-0,1	78,0	0,96
<b>MASD</b>									
Jahr	t	df	p						
2017	3,5319	63,67	< 0.05						

Tab. 26: Unterscheidbarkeit von Grünland-LRT anhand biophysikalischer Indikatoren im Testgebiet BY; grün = statistische Signifikanz ( $p < 0,05$ ), rot = keine statistische Signifikanz, t=t-Wert, df=Freiheitsgrade.

Datum	Homogenität			NDVI			IRECI		
	t	df	p	t	df	p	t	df	p
10.03.16	8,2	477,6	< 0.05	8,6	383,3	< 0.05	9,4	520,7	< 0.05
09.05.16	0,1	407,0	0,89	-4,1	507,7	< 0.05	-0,7	471,7	0,51
22.05.16	-0,3	409,4	0,74	-6,7	649,8	< 0.05	-4,0	471,8	< 0.05
08.07.16	3,4	451,0	< 0.05	0,2	381,3	0,81	1,5	461,8	0,13
27.08.16	1,3	394,0	0,21	-5,1	405,9	< 0.05	-2,6	366,1	< 0.05
29.09.16	2,7	412,9	< 0.05	-1,9	376,5	0,06	-0,4	340,7	0,71
MASD									
Jahr	t	df	p						
2016	2,2031	355,49	< 0.05						

#### 4.6 Habitatveränderungen für die Zielarten Feldhamster und Mornellregenpfeifer 2006-2016

Die Veränderung der Landbedeckung zwischen den Referenzjahren 2006 und 2016 wurde als Indikator für relevante Habitatveränderungen mit Auswirkungen auf den Feldhamster und den Mornellregenpfeifer genutzt. Hierzu erfolgte eine Satellitenbildklassifikation innerhalb der räumlich eingegrenzten bekannten Rastgebiete bzw. Rastregionen des Mornellregenpfeifer sowie den vorliegenden Verbreitungsinformationen zum Feldhamster. Die Klassifikation 2006 erfolgte unter Verwendung der in Kap. 3.5 beschriebenen Landsat Satellitenbild Zeitreihen (Anbaujahr 2006, <80 % Wolken) und Trainingsdaten (InVeKoS und LUCAS). Für die Klassifikation 2016 wurden die in Kap. 4.1 beschriebenen Sentinel-2 Zeitreihen aus dem Anbaujahr 2016 (<70 % Wolken) genutzt. Die Schwierigkeiten der historischen Landbedeckungsanalyse mit Satellitenbilddaten aus 2006 sind unter anderem:

- Durch die (zwingende) Nutzung bereits vorhandener Trainingsdaten können diese nicht optimal (räumlich und thematisch) stratifiziert werden. Im Beispiel liegen die Trainingsdaten z. B. nicht optimal über die Landsat Kachel verteilt vor, oder nicht innerhalb wolkenfreier Regionen (Abb. 54).
- Die für 2006 vorliegenden Referenzdaten erlaubten keine ursprünglich geplante Unterscheidung der Kulturartengruppen „Wintergetreide“ und „Sommergetreide“, da diese nicht unterschieden wurden. Beide Klassen wurden für die Satellitenbild-Klassifikation aggregiert (Tab. 27).
- Für die Kulturartenbestimmung wichtige phänologische Zeitpunkte können nicht immer wolkenfrei ausgewertet werden. Hier im Beispiel das wichtige Zeitfenster August für die Analyse von Mais und Rüben (Abb. 55).

Als Ergebnis wurde je eine Level1 und Level2 Landbedeckungskarte für die Referenzjahre 2006 und 2016 innerhalb der Feldhamster- und Mornellregenpfeifer-Gebiete (Abb. 56) erstellt. Die Karten wurden mit Hilfe einer unabhängigen Referenzdaten-Stichprobe ( $n = 1767$  für 2006,  $n = 4504$  für 2016) statistisch auf ihre Klassifikationsgenauigkeit validiert.

Tab. 27: Übersicht der Landbedeckungsklassen für die Change Analyse 2006-2016.

Level1	Level2	Bezeichnung	Beschreibung Ausprägung
1	1	Andere Landbedeckung	Urbane Flächen (Versiegelung), Wald, Gewässer, Dauerkulturen (Obst, Weinbau)
2	20	Grasland	Mähweiden, Weiden, Wiesen, Ackergras, Urbane und Freizeit-Grasflächen
3	33	Hackfrüchte	Kartoffeln, Zuckerrüben, Futterrüben
	34	Mais	Körner- und Futtermais
	35	Raps und Rübsen	Raps, Rübsen als Ölpflanzen Winterkultur
	36	Sonstige Ackerbauflächen	Stilllegungsflächen, Feldgemüse, einjährige Sonderkulturen, (Sonnen)Blumen, Flachs, Hanf, Flächen zum Anbau von Arznei-, Aroma- und Gewürzpflanzen, Tabak, Spargel) im Freilandanbau. Leguminosen.
	37	Winter- und Sommergetreide	Sommergetreide: Hafer, Sommergerste, Sommerroggen, Sommerweizen Wintergetreide: Winterroggen, Winterweizen, Wintergerste, Triticale

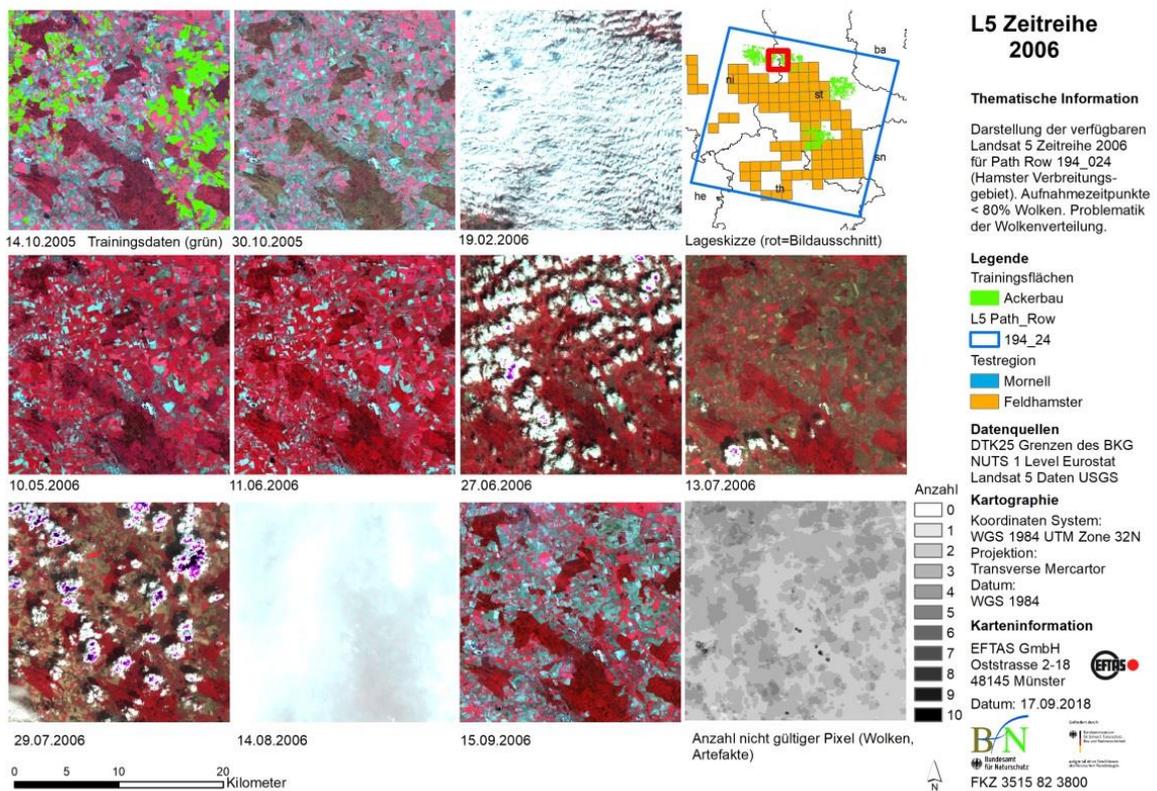


Abb. 54: Landsat 2006 Zeitreihe, Trainingsdaten und Wolkenbedeckung (Beispiel Landsat Kachel 194/024).

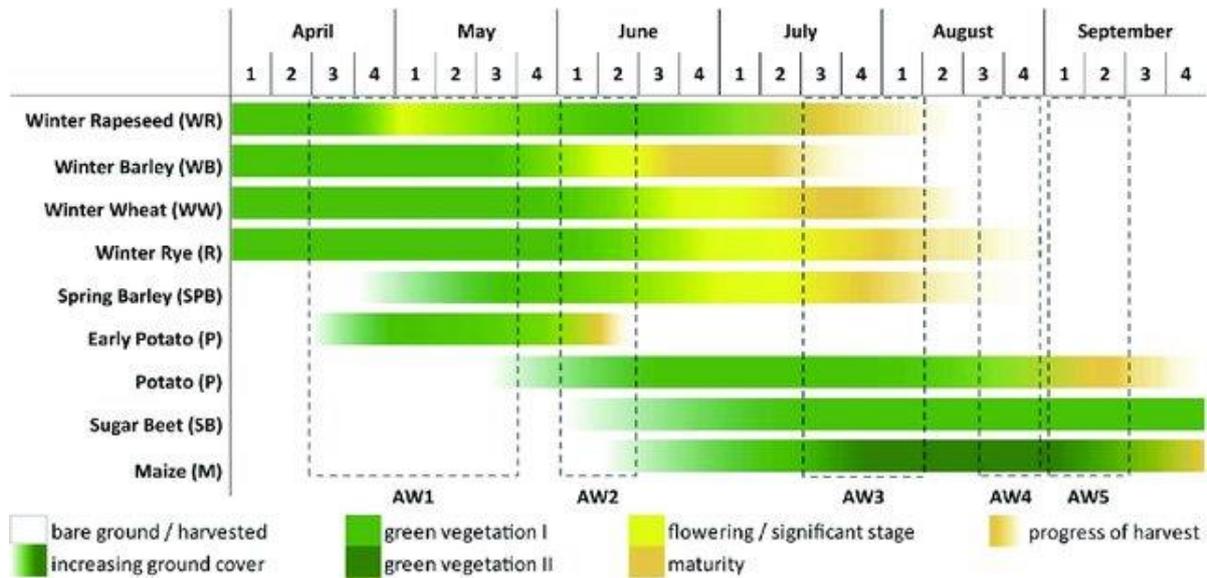


Abb. 55: Wichtige Zeitfenster (AW) zur Klassifikation landwirtschaftlicher Ackerkulturen am Beispiel des NRW-Einzugsgebietes der Rur (Waldhoff et al. 2017).

Die Landsat Klassifikation 2006 konnte eine Gesamtgenauigkeit von ca. 85 % (Level2) erreichen (Tab. 28). Bei den Ackerkultur-Gruppen konnten sehr gute Ergebnisse für die kombinierte Klasse Winter-/Sommergetreide (Klasse 37) erzielt werden. Hackfrüchte (33) und Mais (34) konnten nicht gut voneinander getrennt werden. Dies könnte in der fehlenden Datendichte im entscheidenden Phänologie-Fenster August/September begründet sein. Sonstige Ackerbauflächen (36) erzielte nur unzureichende Klassifikationsgenauigkeiten. Es ist anzunehmen, dass hier die Klassendefinition zu heterogen ist, und die spektralen Eigenschaften dieser Gruppe zu stark variieren. Um die Klassifikation zu verbessern, sollte diese Gruppe regional stärker in die dominierenden Kulturarten (z. B. Erbsen/Hülsenfrüchte, Stilllegungsflächen nach Typen kategorisiert) aufgetrennt werden. Dies konnte in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt werden, da nicht ausreichend Trainings- und Referenzdaten für die Zeitschnitte vorlagen.

Die Sentinel-2 Klassifikation 2016 erreichte eine Gesamtgenauigkeit von ca. 84 % (Tab. 29). Auch hier zeigten sich die größten Klassifikationsschwierigkeiten in der Klasse Sonstige Ackerbauflächen (36), die nur unzureichend erfasst wurde und eine hohe Verwechslungsgefahr mit der Klasse Andere Landbedeckung (1) aufwies. Im Gegensatz zur 2006 Klassifikation konnten Hackfrüchte und Mais sehr gut voneinander getrennt werden.

Die abschließende Flächenschätzung der einzelnen Klassen basiert auf den Werten der gewichteten Konfusionsmatrix (sogenannter „Calibration Estimator“). Durch die Gewichtung wird die unterschiedliche Verteilung der Referenzdaten auf die einzelnen Kartenklassen (geschichtetes Stichprobenverfahren) berücksichtigt (Olofsson et al. 2014). Um die Ungenauigkeit der Schätzung zu quantifizieren, wird der Standardfehler für die Flächenschätzung auf Basis eines 95 % Konfidenzniveau berechnet.

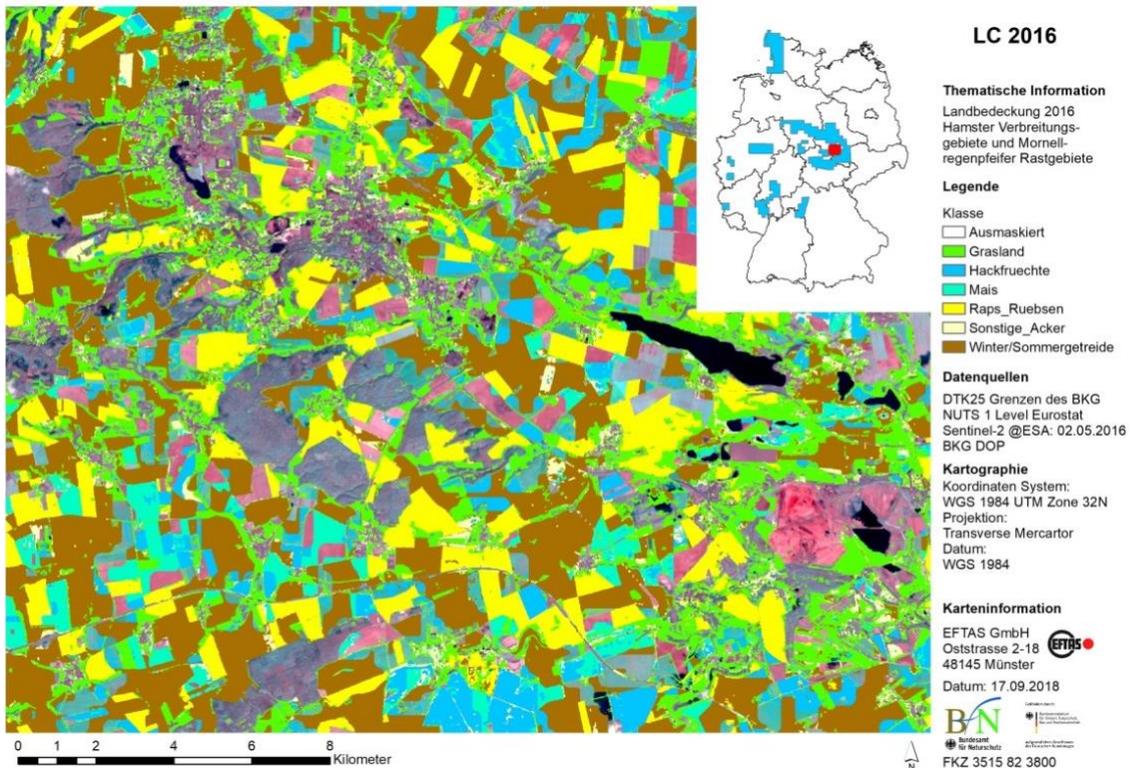
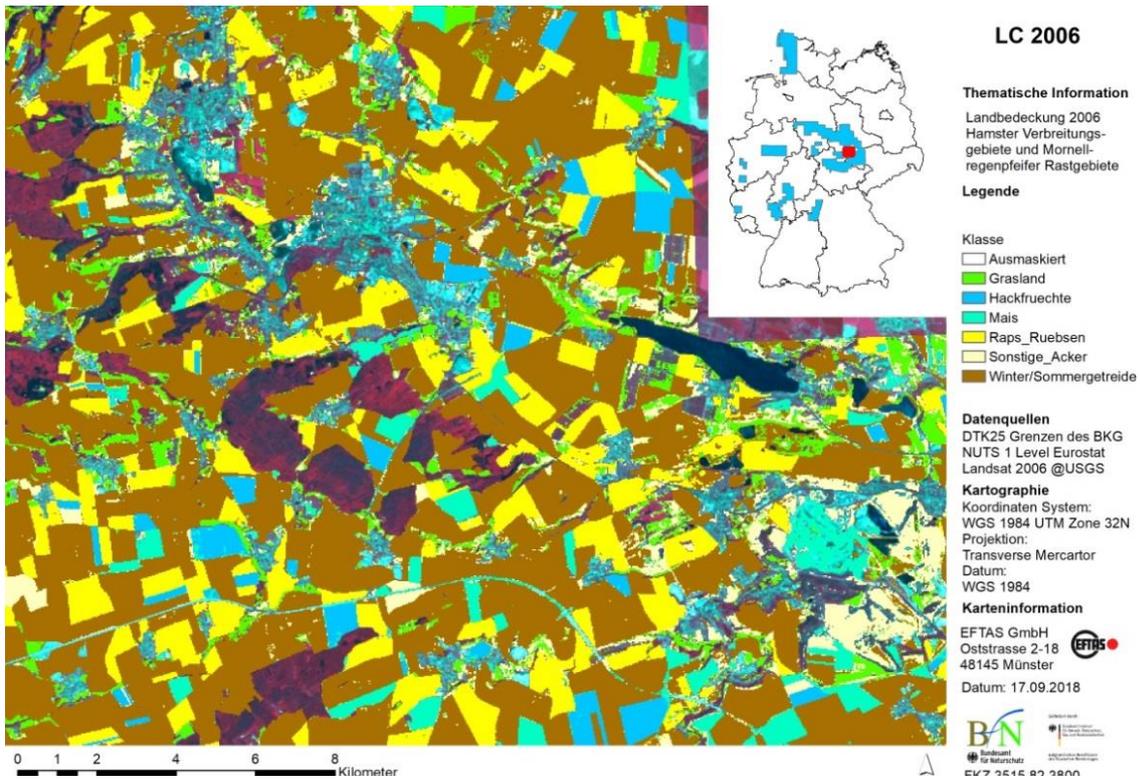


Abb. 56: Ausschnitt der Kulturartenklassifikation 2006 (oben) und 2016 (unten) für das Verbreitungsgebiet des Feldhamsters.

Tab. 28: Konfusionsmatrix des Level2-Klassifikationsergebnisses der Landsat Daten 2006.

Ackerkulturen Klassifikation 2006		Referenz						Total	Nutzer- Genauigkeit	Fehlergrenze (95% Kon- fidenz)	
		Andere Land- bedeckung	Grasland	Hack- früchte	Mais	Raps und Rübsen	Sonstige Ackerbau- flächen				Winter- und Sommerge- treide
Karte	Andere Land- bedeckung	32,9 %	2,5 %	0,6 %	0,2 %	0,0 %	0,2 %	1,7 %	38,2 %	86,2 %	5,0 %
	Grasland	0,7 %	11,1 %	0,3 %	0,1 %	0,1 %	0,1 %	0,9 %	13,3 %	83,4 %	4,7 %
	Hackfrüchte	0,0 %	0,0 %	2,7 %	0,0 %	0,1 %	0,1 %	0,0 %	3,0 %	91,2 %	5,9 %
	Mais	0,1 %	0,3 %	1,0 %	2,5 %	0,0 %	0,3 %	0,2 %	4,4 %	56,3 %	8,7 %
	Raps und Rübsen	0,0 %	0,1 %	0,0 %	0,0 %	5,0 %	0,0 %	0,1 %	5,2 %	97,0 %	2,6 %
	Sonstige Ackerbau- flächen	0,0 %	0,6 %	0,4 %	0,0 %	0,1 %	1,0 %	0,5 %	2,8 %	35,1 %	12,5 %
	Winter- und Som- mergetreide	0,0 %	0,8 %	0,3 %	0,0 %	1,5 %	0,1 %	30,5 %	33,2 %	91,7 %	1,8 %
	<b>Total</b>	33,7 %	15,5 %	5,4 %	2,9 %	6,9 %	1,8 %	33,9 %	100 %		
	<b>Produzenten- genauigkeit</b>	97,6 %	71,5 %	50,0 %	86,0 %	72,8 %	56,2 %	90,0 %		<b>Gesamt- genauigkeit</b>	<b>Fehlergrenze (95% Kon- fidenz)</b>
	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>	1,1 %	6,8 %	8,2 %	13,6 %	5,5 %	16,0 %	3,4 %		<b>85,6%</b>	<b>+2,2%</b>

Tab. 29: Konfusionsmatrix des Level2-Klassifikationsergebnisses der Sentinel-2 Daten 2016.

Ackerkulturen Klassifikation 2016		Referenz						Total	Nutzer- Genauigkeit	Fehlergrenze (95% Kon- fidenz)	
		Andere Land- bedeckung	Grasland	Hack- früchte	Mais	Raps und Rübsen	Sonstige Ackerbau- flächen				Winter- und Sommerge- treide
Karte	Andere Land- bedeckung	28,9 %	0,3 %	0,5 %	0,4 %	0,6 %	2,5 %	2,2 %	35,4 %	81,8 %	2,5 %
	Grasland	0,3 %	11,7 %	0,0 %	0,1 %	0,0 %	3,3 %	0,4 %	15,8 %	74,0 %	3,2 %
	Hackfrüchte	0,0 %	0,0 %	4,1 %	0,1 %	0,0 %	0,2 %	0,0 %	4,4 %	92,6 %	2,3 %
	Mais	0,0 %	0,0 %	0,1 %	4,6 %	0,0 %	0,2 %	0,0 %	5,0 %	91,7 %	2,4 %
	Raps und Rübsen	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	6,6 %	0,2 %	0,2 %	7,0 %	93,3 %	2,2 %
	Sonstige Ackerbau- flächen	0,4 %	0,2 %	0,3 %	0,2 %	0,1 %	3,0 %	0,5 %	4,7 %	64,5 %	5,6 %
	Winter- und Som- mergetreide	0,3 %	0,4 %	0,2 %	0,1 %	0,3 %	1,6 %	24,8 %	27,7 %	89,5 %	1,9 %
	<b>Total</b>	30,0 %	12,6 %	5,3 %	5,4 %	7,6 %	10,9 %	28,1 %	100 %		
	<b>Produzenten- genauigkeit</b>	96,4 %	92,4 %	78,0 %	83,8 %	86,7 %	27,7 %	88,2 %		<b>Gesamt- genauigkeit</b>	<b>Fehlergrenze (95% Kon- fidenz)</b>
	<b>Fehlergrenze (95% Konfidenz)</b>	0,9 %	2,3 %	5,0 %	4,7 %	4,0 %	2,2 %	1,9 %		<b>83,7 %</b>	<b>1,2 %</b>

Aus der Flächenschätzung (Tab. 30) konnten folgende Landbedeckungs-Veränderungen mit Relevanz für die Feldhamster Habitate und Mornellregenpfeifer Rastgebiete ermittelt werden:

- ein leichten Rückgang der Graslandflächen
- ein stabiler Anteil an Hackfrüchten
- eine Zunahme von Mais-Anbauflächen
- ein Rückgang des Winter- und Sommergetreide-Anbaus.

Die vermeintlich starke Zunahme der Sonstigen Ackerbauflächen ist mit Vorsicht zu interpretieren, da diese Klasse mit einer sehr schlechten Genauigkeit erfasst werden konnte.

Tab. 30: Schätzung der Landbedeckung/-nutzung für 2006 und 2016 innerhalb der Feldhamster und Mornellregenpfeifer Testgebiete.

Code	Klasse	2016		2006	
		Flächenanteil [%] (95 % Konfidenzintervall)	Fläche [ha] (95 % Konfidenzintervall)	Flächenanteil [%] (95 % Konfidenzintervall)	Fläche [ha] (95 % Konfidenzintervall)
1	Andere Landbedeckung	30,0 (± 0,9)	923.865 ( ± 28.447)	33,7 (± 2,0)	1.105.509 (±64.415)
20	Grasland	12,6 (± 0,6)	389.063 (± 18.221)	15,5 (± 1,6)	509.006 (±52.669)
33	Hackfrüchte	5,3 (± 0,4)	161.954 (± 10.792)	5,4 (±0,9)	177.995 (±29.774)
34	Mais	5,4 (± 0,3)	167.550 (±10.044)	2,9 (± 0,6)	94.347 (±19.491)
35	Raps und Rübsen	7,6 (± 0,4)	233.134 (± 11.739)	6,9 (± 0,5)	225.325 (±17.497)
36	Sonstige Ackerbauflächen	10,9 (± 0,9)	336.850 (± 27.496)	1,8 (± 0,6)	57.715 (±20.101)
37	Winter- und Sommergetreide	28,1 (± 0,8)	864.488 (± 24.595)	33,9 (± 1,4)	1.110.484 (±45.996)
<b>Ackerbau (33-37) Gesamt</b>			1.763.976 (± 84.666)		1.665.866 (± 132.859)
<b>Gesamtfläche Klassifikation [ha]</b>			3.076.903		3.280.381

#### 4.7 Vergleich Lebensraumtypenkartierung der Länder und BfN Grasland-Klassifikation 2016

Innerhalb der verschiedenen Naturräume unterscheidet sich das Vorkommen der untersuchten Grünland-LRT (bzw. N-LRT im Falle von NRW) in den drei Testregionen. Während Glatthafer- und Wiesenknopf-Silgenwiesen (LRT 6510) sowie Magergrünland (NED0) im NRW Gebiet am häufigsten vertreten sind, dominieren Brenndolden-Auenwiesen (6440) und die 6431 Ausprägung der Feuchten Hochstaudenfluren das Gebiet in Brandenburg. Der LRT 6510 ist zudem der prägende LRT in der Testregion Baden-Württemberg (Tab. 31).

Tab. 31: Grünland-LRT-Vorkommen in den drei Untersuchungsgebieten

		NRW Hochsauer- land	BB Spree- Niederung	BW Schwarz- wald-Baar
Code	Name	Fläche (ha)	Fläche (ha)	Fläche (ha)
NE00	Mesophiles Wirtschaftsgrünland inkl. Brachen	118,6		
NEC0	Nass- und Feuchtgrünland inkl. Brachen	157,8		
NED0	Magergrünland inkl. Brachen	394,4		
6120	Trockene, kalkreiche Sandrasen		1,8	
6130	Schwermetallrasen	10,5		
6210	Naturnahe Kalk-Trockenrasen und deren Verbuschungsstadien (Festuco-Brometalia)	18,5		
6230	Borstgrasrasen	24,6	5,1	
6410	Pfeifengraswiesen auf lehmigen oder torfigen Böden	0,4	114,5	
6430	Feuchte Hochstaudenfluren	5,9	21,5	
6431	Feuchte Hochstaudenfluren Subtyp 6431 bei Vorkommen von Stromtalarten		784,3	
6440	Brenndolden-Auenwiesen (Cnidion dubii)		1921,3	
6510	Glatthafer- und Wiesenknopf-Silgenwiesen	462,0	640,7	1760,9
6520	Berg-Mähwiesen	245,9		43,5

Die Ergebnisse der Vergleichsanalyse zeigten, dass die Grünland-LRT-Flächen in den drei Testregionen unterschiedlich gut erkannt werden konnten. In allen Gebieten konnten die dominierenden LRT-Typen sehr zufriedenstellend durch die Grasland-Klassifikation detektiert werden mit 78-91 % räumlicher Übereinstimmung. Die beste Übereinstimmung wurde im Testgebiet BW für die LRT 6510 und 6520 erzielt (Tab. 32). Während der LRT 6510 in allen drei Gebieten zu ca. 80-90 % über die Grasland Klassifikation abgedeckt wurde, wurde im Testgebiet BB für die LRT 6410, 6430, 6431 nur eine Abdeckung von 54-56 % erreicht.

Tab. 32: Ergebnisse der Vergleichsanalyse zwischen LRT-Flächen der Länder und Grasland 2016 Klassifikation.

	LRT	6130	6210	6230	6410	6430	6510	6520	NE00	NEC0	NED0
<b>NRW</b>	Anzahl	6	16	69	2	18	149	196	76	423	411
	Minimum [ha]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	Maximum [ha]	9,4	13,8	2,0	0,3	1,2	51,6	30,5	13,1	3,6	17,2
	Summe [ha]	10,5	18,5	24,6	0,4	5,9	462,0	245,9	118,6	157,8	394,4
	Mittelwert [ha]	1,7	1,2	0,4	0,2	0,3	3,1	1,3	1,6	0,4	1,0
	Standard-abweichung [ha]	3,4	3,3	0,4	0,2	0,3	7,5	2,6	2,2	0,5	1,4
	Erfasst durch 2016 Klassifikation [%]	<b>0,6</b>	<b>35,3</b>	<b>66,4</b>	<b>6,6</b>	<b>20,6</b>	<b>89,3</b>	<b>86,6</b>	<b>72,1</b>	<b>56,0</b>	<b>78,5</b>
	<b>LRT</b>	<b>6120</b>	<b>6230</b>	<b>6410</b>	<b>6430</b>	<b>6431</b>	<b>6440</b>	<b>6510</b>			
<b>BB</b>	Anzahl	3	3	49	16	214	151	174			
	Minimum [ha]	0,4	0,2	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,1			
	Maximum [ha]	0,8	4,5	11,0	5,0	39,9	159,9	51,8			
	Summe [ha]	1,7	5,1	114,5	21,5	784,3	1921,3	640,7			
	Mittelwert [ha]	0,6	1,7	2,3	1,3	3,7	12,7	3,7			
	Standard-abweichung [ha]	0,2	2,0	2,5	1,4	5,9	18,0	6,3			
	Erfasst durch 2016 Klassifikation [%]	18,7	24,9	54,2	54,2	55,9	78,4	82,9			
	<b>LRT</b>	<b>6510</b>	<b>6520</b>								
<b>BW</b>	Anzahl	1786	85								
	Minimum [ha]	< 0,1	< 0,1								
	Maximum [ha]	10,8	3,1								
	Summe [ha]	1760,9	43,5								
	Mittelwert [ha]	1,0	0,5								
	Standard-abweichung [ha]	1,1	0,6								
	Erfasst durch 2016 Klassifikation [%]	91,7	91,5								

Bei der anschließenden visuellen Analyse der Ergebnisse zeigte sich, dass dies unter anderem in der Art der Erfassung dieser LRT zu begründen ist. Die dominierenden Grünland-LRT Vorkommen in Baden-Württemberg wurden gut erfasst (Abb. 57). Die kartierten LRT-Flächen in BB sind oftmals in den Randbereichen oder innerhalb der Fläche zu sehr hohen Anteilen mit Gehölzen bestanden. Diese Grünland Randbereiche sind durch die Sentinel-2 Daten mit einer räumlichen Pixel-Auflösung von 10-20 m nicht als Grünland erfassbar, und werden durch die spektralen Eigenschaften der Gehölzflächen bestimmt und werden als

solche klassifiziert, ebenfalls sind größere Gehölzbereiche korrekt als Gehölz/Maske auskartiert (Abb. 58, Abb. 59). Die seltenen Vorkommen der LRT 6130 und 6210 in NRW wurden aufgrund der starken Gehölzvorkommen (6130, Abb. 60), bzw. der sehr kleinteiligen Auskartierung (6210, Abb. 61) nicht ausreichend als Grasland erkannt.

Zusammenfassend konnten somit die folgenden Aspekte festgehalten werden:

- Die dominierenden Grünland-LRT der jeweiligen Testregionen (6440, 6510) wurden gut-sehr/gut durch die Grasland Klassifikation erkannt. Das Klassifikationsverfahren könnten somit als ein Screening-Verfahren zur Bestätigung von Grünland-Vorkommen bzw. Verlust dieser Art genutzt werden.
- Durch die verschiedenen Vorgehensweisen ergeben sich Probleme in der Vergleichbarkeit der Daten, da z. B. Gehölzbestände oftmals als Teil eines kartierten LRT-Komplexes (Bsp. LRT 6440) im Gelände mit erfasst werden, diese aber innerhalb der spektralen Landbedeckungs-Klassifikation als Gehölze ausmaskiert werden.
- Seltene und kleinräumig erfasste Grünland-LRT werden nicht gut durch die Grasland Klassifikation abgedeckt.

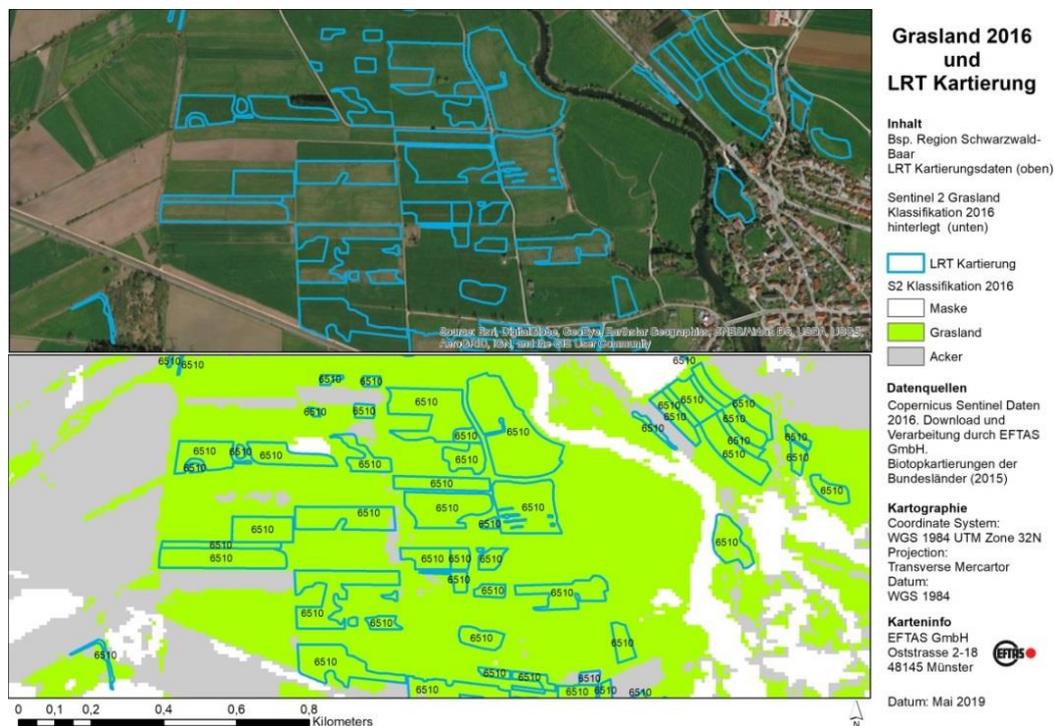


Abb. 57: Gegenüberstellung von LRT6510-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Schwarzwald-Baar, BW).

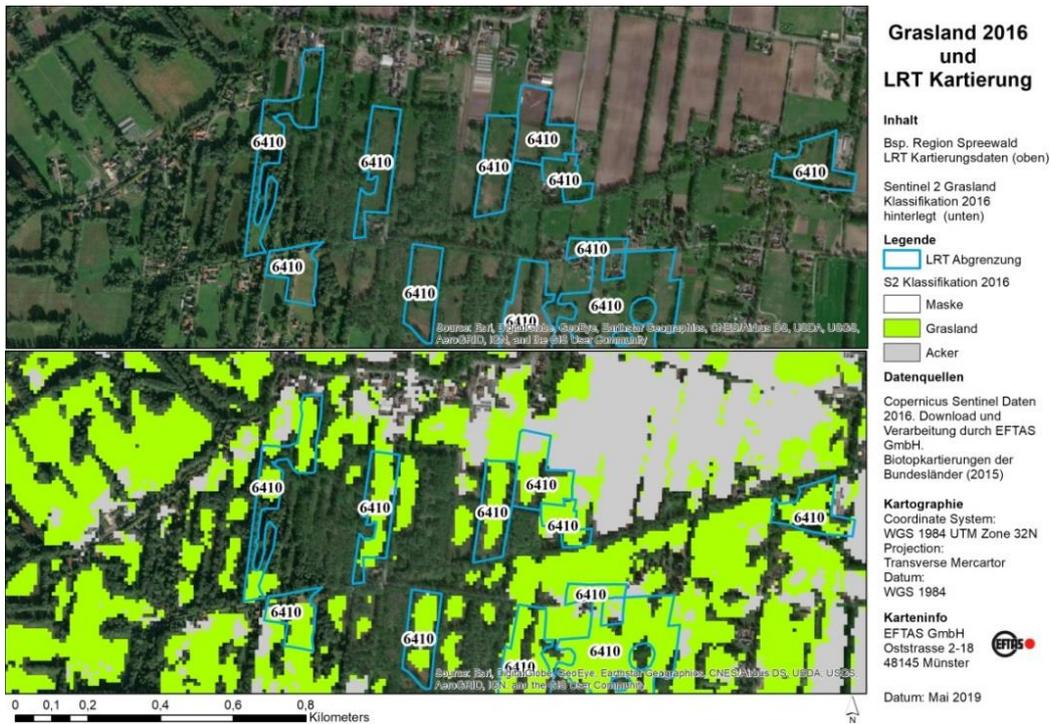


Abb. 58: Gegenüberstellung von LRT6410-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Spreewald, BB).



Abb. 59: Gegenüberstellung von LRT-Kartierung (LRT 6431, 6440) und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Spreewald, BB).



Abb. 60: Gegenüberstellung von LRT6130-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Sauerland, NRW).



Abb. 61: Gegenüberstellung von LRT6210-Kartierung und Grasland 2016 Klassifikation (Testregion Sauerland, NRW).

## 5 Zusammenfassung

Innerhalb des Vorhabens wurden Methoden der Satelliten-Fernerkundung recherchiert, entwickelt und getestet, um die folgenden Kernaspekte zu adressieren:

- Anwendung geeigneter Daten und Methoden zur Erkennung von Landbedeckungsveränderungen (Fokus auf Ackerbau und Grünland) hervorgerufen u.a. durch den Ausbau Erneuerbarer Energien im Zeitraum 1990-2016,
- Methodentests zur quantitativen und qualitativen Bewertung von Grünlandstandorten und -veränderungen,
- Veranschaulichende Anwendung der Verfahren zur Trendanalyse wichtiger Landbedeckungen für die Zielarten Feldhamster und Mornellregenpfeifer.
- Anwendung der Methoden zur Detektion und Unterscheidung von Grünland Lebensraumtypen innerhalb von Natura 2000 Gebieten

Die Auswahl der Methoden und Daten begründete sich vor allem in der Notwendigkeit des (möglichst) kostenfreien Zugangs durch das BfN, um eine zukünftige Operationalisierung der Verfahren zu unterstützen. So wurden primär die kostenfreien Satellitendaten der Sensor-Familien Landsat 4/5 (für die historischen Zeitpunkte 1990 und 2006) und Sentinel-1 und Sentinel-2 für den Zeitschnitt 2016 genutzt. Die Daten dieser Sensorsysteme sind unter einer offenen Daten- und Lizenzpolitik kostenfrei verfügbar.

Für die Verarbeitung der Sensordaten wurden weitestgehend Open Source Software-Lösungen eingesetzt. So wurde die SNAP Toolbox der ESA für die Vorprozessierung der Sentinel-1 Radardaten genutzt und die Sen2Agri Prozesskette für die Vorverarbeitung der Sentinel-2 Daten, sowie die Orfeo Toolbox für die Prozessierung der Landsat-Daten.

Innerhalb der Satellitenbild-Klassifikationsalgorithmen wurden Support Vector Machine Verfahren sowie Random Forest Ansätze untersucht. Vor allem die Random Forest Methoden zeigten dabei eine sehr gute Verwendbarkeit für die multitemporalen Zeitreihen-Auswertungen inklusive der damit verbundenen großen Datenmengen.

Zum Training der Klassifikationsverfahren wurde auf bundesweit einheitliche Geofachdaten zurückgegriffen. Diese konnten um regional verfügbare Zusatzinformationen (vor allem landwirtschaftlicher Anbauinformationen, sowie Geländedaten) ergänzt werden. Die Validierung der Ergebnisse basierte auf einem umfassenden Punkt-Referenzdatensatz aus den LUCAS Geländeinformationen.

Über Indikatoren wurde die naturschutzfachliche Qualität von Grünland untersucht. Zur Erkennung von Mahd-Zeitpunkten und Häufigkeiten wurden Sentinel-1 Radar-Zeitreihen eingesetzt. Neben den guten Ergebnissen in verschiedenen Testregionen in Deutschland wurde hier noch weiterer Untersuchungsbedarf deutlich, um Einflussfaktoren wie z. B. Niederschlag und Bodenfeuchte auf die Kohärenzzeitreihe einer Grünlandfläche besser zu verstehen.

Weitere optische Indikatoren wie NDVI, MASD und Homogenität zeigten ein grundsätzliches Potential zur Unterscheidung von naturschutzfachlich relevantem LRT-Grünland gegenüber Nicht-LRT-Grünland. Angewandt auf zwei Testregionen in Bayern und Baden-Württemberg konnten allerdings keine einheitlichen Aussagen getroffen werden. Hier ist

noch weiterer Untersuchungsbedarf notwendig, um die Übertragbarkeit solcher Indikatoren auf größere Regionen und längere Zeitreihen zu prüfen.

Das Vorkommen und die Veränderung von Graslandflächen (= landwirtschaftliches Grünland und sonstige Grasflächen) in Deutschland wurde über die Referenzzeitpunkte 1990 (1989-1991), 2006 (2005-2007) sowie 2016 mit Hilfe multi-temporalen Zeitreihen aus Landsat 4/5 und Sentinel-2 Daten ausgewertet. Dabei konnten gute bis sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Für den Zeitschnitt 2016 konnte eine Gesamtgenauigkeit von über 90 % erreicht werden. Die hohe Qualität dieses Produkts wurde mit dem europäischen High Resolution Layer Grasland der EEA aus demselben Zeitraum verglichen und bestätigt.

Die historischen Zeitschnitte 1990 und 2006 zeigten nicht ausreichende Qualitäten zur Ableitung einer statistisch validen Trendanalyse 1990-2006. Abweichend zu statistischen Zeitreihen des Umweltbundesamtes (UBA 2018) und der Bundesstatistik (DeStatis 2019), wurde im untersuchten Zeitraum ein Grünlandanstieg von 2006-2016 detektiert, der durch die nicht ausreichende Klassifikationsgenauigkeit sowie die unterschiedliche Sensorik und Datenverfügbarkeit begründet sein könnte.

Die Ergebnisse aus 2016 wurden zur Erstellung einer bundesweiten Flächenstatistik genutzt und mit den verfügbaren Daten aus LUCAS verglichen. Hierbei konnte eine sehr hohe Übereinstimmung festgestellt werden, die zeigt, dass durch eine Kombination der präzisen Feldinformationen aus LUCAS und der Nutzung von Sentinel-2 Zeitreihen ein Grasland-Monitoringverfahren in Deutschland operationell und mit hoher Qualität umgesetzt werden kann.

Die Klassifikationsverfahren wurden abschließend genutzt zur Detektion von Landbedeckungsänderungen innerhalb der Feldhamster-Vorkommensgebiete und der präferierten Rasträume des Mornell-Regenpfeifers in Deutschland im Zeitraum 2006-2016. Es wurde eine Flächenschätzung der landwirtschaftlichen Hauptanbaugruppen durchgeführt, die zeigte, dass es:

- einen leichten Rückgang der Grasland Flächen,
- einen stabilen Anteil an Hackfrüchten,
- eine Zunahme von Mais-Anbauflächen,
- sowie einen Rückgang des Winter- und Sommergetreide-Anbaus gab.

Abschließend wurden die Ergebnisse der FE-basierten Grünland-Klassifikation mit bestehenden terrestrischen Grünland Lebensraumtypenkartierungen verglichen. Innerhalb von drei Testregionen konnten die dominierenden Grünland-LRT sehr zufriedenstellend über die Fernerkundung erkannt werden. Bei wiederholter Anwendung der Fernerkundung könnten somit LRT-Flächenverluste erkannt werden. Probleme ergaben sich im Falle von sehr strukturreichen LRT-Vorkommen, die sich oft aus mehreren Landbedeckungsklassen (z.B. Grünland, Hecken, Bäume, Kleinstgewässer) zusammensetzen.

## **6 Ausblick und Empfehlungen**

Mit der nun erstmalig verfügbaren hohe Datendichte der kostenfreien Sentinel-1 und -2 Systeme und der wachsenden Zahl moderner und performanter Bildverarbeitungsbibliotheken lassen sich enge Zeitreihen bilden, die für ein nationales Monitoring von Grünland eingesetzt werden können. Um diese Verfahren in ein langfristiges und operationelles Monitoring zu übernehmen, sind folgende drei Faktoren von entscheidender Bedeutung.

### **Langfristige Verfügbarkeit der Daten und Methoden**

Für die Erkennung von Grünlandveränderungen ist der Aufbau von langfristigen Zeitreihen notwendig. So muss die Kontinuität der Sensordaten der Sentinel-1 und -2, sowie der Landsat Satellitensysteme langfristig gewährleistet sein und ein (kostenfreier) Zugriff beibehalten werden. Neben den Fernerkundungsdaten ist auch der Zugriff auf Geofachdaten mit deutschlandweiter Abdeckung notwendig. Hier sind vor allem das LBM-DE, LUCAS sowie landwirtschaftliche Anbauinformationen aus dem InVeKoS von Bedeutung.

### **Wiederholte Anwendung und Überführung in operationelle Verfahren**

Durch die Weiterentwicklung und kontinuierliche Anwendung der Verfahren könnten diese in ein operationelles Grünland-Monitoring überführt werden. Hierbei sollten auch die aufgezeigten Synergien mit dem europäischen Copernicus High Resolution Layer (HRL) Grasland genutzt werden. Eine jährliche nationale Erweiterung zu dem alle drei Jahre generierten europäischen Produkt könnte die Klassifikations-Modelle und -Verfahren optimieren und so eine höhere Detailgenauigkeit wie z. B. die Trennung von mehrjährigem Grünland und temporären Ackerbau-Kulturen wie Brachen oder Ackergras ermöglichen.

### **Nutzung und Aufbau von Referenzdaten**

Die berichteten statistischen Trends zur Entwicklung des Grünlandanteils in Deutschland bewegen sich in Abhängigkeit der Datenquelle und des genutzten Verfahrens in einem Bereich von  $< 3\%$  innerhalb mehrerer Jahren. Die in dieser Studie genutzten statistischen Verfahren zur Flächenschätzung von Grünland erlauben hohe Klassifikationsgenauigkeiten, die allerdings nur durch sehr gute Referenzinformationen erreicht werden können. Das Fehlen systematischer Referenzdaten aus den Jahren 1990 und 2006 erschwerte bzw. verhinderte die Veränderungsanalysen in dieser Studie. Für eine zukünftige Anwendung und Weiterentwicklung der Klassifikationsverfahren und deren Validierung ist der Aufbau umfassender Referenzdatenbanken eine zwingende Voraussetzung. Für ihren Aufbau sind jetzt die notwendigen Schritte einzuleiten. Dabei sollten folgende Punkte beachtet werden:

- Die Biotoptypen- und LRT-Fachinformationen der Länder konnten nur regional begrenzt genutzt werden. Durch die Vielzahl der (landestypischen) Datenmodelle und die teilweise fehlende Aktualität konnten diese Daten nicht für die Erstellung bundesweit einheitlicher Produkte genutzt werden. Als Mindestanforderung für eine zukünftige Nutzung ist ein exakter Kartier-Zeitpunkt je Fläche notwendig, um die Verbindung mit Satellitenbild-Aufnahmen zu ermöglichen.
- Der Vergleich der terrestrischen LRT-Kartierungen mit den Sentinel-Klassifikationsdaten verdeutlichte die Schwierigkeiten eines Vergleichs unterschiedlicher Datenmodelle und -genesen. Für Anwendungen der Satelliten-Fernerkundung ist eine strikte Trennung unterschiedlicher Landbedeckungen notwendig, während Biotope oftmals auch als Komplexe kartiert werden können. Eine Beschreibung der Biotop- und

LRT-Datenmodelle über die Landbedeckung wäre hierbei notwendig. Ähnliche Schritte werden derzeit in der Landschaftsmodellierung der amtlichen Vermessung gegangen (Arnold et al. 2017).

- Grünland-Mahd gilt als wichtiger Indikator für die Nutzungsintensität einer Fläche mit direkter Auswirkung auf das Arteninventar. Referenzinformationen, die zur Weiterentwicklung von Mahd-Detektionsverfahren notwendig sind, liegen nicht repräsentativ für nationale Anforderungen vor (Griffiths, Nendel, Pickert, et al. 2019) und sollten aufgebaut werden.
- Die LUCAS-Informationen eignen sich sehr gut als Validierungsdaten. Während die LUCAS-Daten aus 2006 und 2015 noch manuell nachjustiert und für die Fernerkundung aufbereitet werden mussten, erleichtern aktuelle Entwicklungen im LUCAS-Datenmodell, die teilweise schon in LUCAS 2018 (pilothaft) umgesetzt wurden, diese Arbeiten zukünftig. Durch eine Erweiterung der LUCAS-Kartierung an Grünland-Punkten in NRW wurde demonstriert, wie zukünftig auch (vereinfachte) qualitative Grünland-Parameter erhoben werden könnten. Dieser Ansatz sollte weiter untersucht werden, um eine Integration in zukünftige LUCAS-Kampagnen zu erreichen.

## Literaturverzeichnis

- Arnold, S., Kurstedt, R., Riecken, J., & Schlegel, B. (2017). Paradigmenwechsel in der Landschaftsmodellierung – von der Tatsächlichen Nutzung hin zu Landbedeckung und Landnutzung. *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, (1/2017), 30–37. <https://doi.org/10.12902/zfv-0152-2016>
- BfN. (2014). GRÜNLAND-REPORT Alles im Grünen Bereich? (S. 34). Bundesamt für Naturschutz. [https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK\\_Gruenlandpapier\\_30.06.2014\\_final\\_layout\\_barrierefrei.pdf](https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/presse/2014/PK_Gruenlandpapier_30.06.2014_final_layout_barrierefrei.pdf). Zugegriffen: 17. Juni 2019
- BKG. (2016a, Januar 7). Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland LBM-DE2012. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/lbm-de2012.pdf>. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- BKG. (2016b, April 1). Digitales Basis-Landschaftsmodell (AAA-Modellierung) - Basis-DLM (AAA). Bundesamt für Kartographie und Geodäsie. <http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/basis-dlm-aaa.pdf>. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- Buck, O., Haub, C., Woditsch, S., Lindemann, D., Kleinewillinghöfer, L., Hazeu, G., et al. (2015). Task 1.9 - Analysis of the LUCAS nomenclature and proposal for adaptation of the nomenclature in view of its use by the Copernicus land monitoring services (Service contract report No. 3436/B2015/R0-GIO/EEA.56166) (S. 142). Copenhagen: European Environment Agency (EEA). [http://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/LUCAS\\_Copernicus\\_Report\\_v22.pdf](http://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/LUCAS_Copernicus_Report_v22.pdf)
- Buck, O., Kleinewillinghöfer, L., & Richter, R. (2018). Bericht Copernicus Produkte „Natura2000“ und „High Resolution Layer (HRL) Grasland“ - Bedeutung und Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natura 2000-Gebiete (FKZ 3515 82 3800) (Interner Projektbericht No. D3.2) (S. 67).
- Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3. Aufl.). New York: John Wiley & Sons.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis.
- Czaplewski, R. L. (2003). Accuracy assessment of maps of forest condition. In *Remote sensing of forest environments* (S. 115–140). Springer. [http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-0306-4\\_5](http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-0306-4_5). Zugegriffen: 7. Mai 2014
- DDA. (2018). Ornitho.de. <https://www.ornitho.de>. Zugegriffen: 8. Mai 2018
- DeStatis. (2017). Bodennutzung der Betriebe (Struktur der Bodennutzung) (No. 2030212167004) (S. 229). Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- DeStatis. (2019). Dauergrünland nach Art der Nutzung im Zeitvergleich. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Feldfruechte-Gruenland/Tabellen/zeitreihe-dauergruenland-nach-nutzung.html>. Zugegriffen: 17. Juni 2019

- Deutscher Rat für Landespflege (Hrsg.). (2014). Bericht zum Status des Feldhamsters (*Cricetus cricetus*): zusammengestellt nach Angaben der Bundesländer und den Ergebnissen des F+E-Vorhabens (FKZ 3512 80 2700) „Nationales Expertentreffen zum Schutz des Hamsters“ 2012 auf der Insel Vilm. Bonn-Bad Godesberg: BfN Bundesamt für Naturschutz.
- Dietzen, C., Folz, H.-G., Jönck, M., & Lippok, E. (2008). Der Mornellregenpfeifer (*Charadrius morinellus*) in Rheinland-Pfalz. *Fauna und Flora in Rheinland-Pfalz*, Beiheft 39, 245–266.
- Don H. Card. (1982). Using Known Map Category Marginal Frequencies to Improve Estimates of Thematic Map Accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 48(3), 431–439.
- EEA. (2018). Conservation status of habitat types and species (Article 17, Habitats Directive 92/43/EEC). European Environment Agency. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/article-17-database-habitats-directive-92-43-eec-1>. Zugegriffen: 8. Mai 2018
- EFTAS GmbH. (2015). Protocol for Land Cover validation (Project Report No. D33.2) (S. 42). <https://www.eftas.de/upload/15356999-SIGMA-D33-2-Protocol-for-land-cover-validation-v2.0-2015-06-22vprint.pdf>. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- EFTAS GmbH. (2017). Bericht Datenbeschaffung (D2.2) - Bedeutung und Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natura 2000-Gebiete (FKZ 3515 82 3800) (Interner Projektbericht No. D3.1) (S. 62).
- EFTAS GmbH. (2018). Bericht Methodenentwicklung (D3.1) - Bedeutung und Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natura 2000-Gebiete (FKZ 3515 82 3800) (Interner Projektbericht No. D3.1) (S. 90).
- EFTAS GmbH. (2019). Entwicklung des LUCAS Vorhabens und Projekt-Integration (D3.1 Ergänzung) - Bedeutung und Auswirkungen erneuerbarer Energien auf Natura 2000-Gebiete (FKZ 3515 82 3800) (Interner Projektbericht No. D3.1-Ergänzung).
- EP. Verordnung (EU) Nr. 1306/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Dezember 2013 über die Finanzierung, die Verwaltung und das Kontrollsystem der Gemeinsamen Agrarpolitik und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 352/78, (EG) Nr. 165/94, (EG) Nr. 2799/98, (EG) Nr. 814/2000, (EG) Nr. 1290/2005 und (EG) Nr. 485/2008 des Rates. , 1306/2013 (2013). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX:32013R1306>. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- Esch, T., Metz, A., Marconcini, M., & Keil, M. (2014). Combined use of multi-seasonal high and medium resolution satellite imagery for parcel-related mapping of cropland and grassland. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.12.007>
- Eurostat. (2017). LUCAS EU-Erhebung zur Landnutzung und Landbedeckung - Ausgabe 2017 (2017. Aufl.). Luxembourg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/4031688/8541080/KS-01-17-069-DE-N.pdf/86b28c7d-ec4c-44db-9066-003bbaa0d4d8>. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*, 80(1), 185–201.

- Frampton, W. J., Dash, J., Watmough, G., & Milton, E. J. (2013). Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 82, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007>
- Franke, J., Keuck, V., & Siegert, F. (2012). Assessment of grassland use intensity by remote sensing to support conservation schemes. *Journal for Nature Conservation*, 20(3), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2012.02.001>
- GEOSS. (2009). Best practices for crop area estimation with remote sensing. Ispra: JRC.
- Griffiths, P., Nendel, C., & Hostert, P. (2019). Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sensing of Environment*, 220, 135–151. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.10.031>
- Griffiths, P., Nendel, C., Pickert, J., & Hostert, P. (2019). Towards national-scale characterization of grassland use intensity from integrated Sentinel-2 and Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 111124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.03.017>
- Inglada, J., Arias, M., Tardy, B., Hagolle, O., Valero, S., Morin, D., et al. (2015). Assessment of an Operational System for Crop Type Map Production Using High Temporal and Spatial Resolution Satellite Optical Imagery. *Remote Sensing*, 7(9), 12356–12379. <https://doi.org/10.3390/rs70912356>
- Inglada, J., Vincent, A., Arias, M., Tardy, B., Morin, D., & Rodes, I. (2017). Operational High Resolution Land Cover Map Production at the Country Scale Using Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 9(1), 95. <https://doi.org/10.3390/rs9010095>
- Jahn, R., & Heiser, F. (2010). Durchzug des Mornellregenpfeifers *Charadrius morinellus* in Unterfranken 1999-2009, 17.
- Khatami, R., Mountrakis, G., & Stehman, S. V. (2016). A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment*, 177, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.028>
- Lu, D., Mausel, P., Brondízio, E., & Moran, E. (2004). Change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), 2365–2401. <https://doi.org/10.1080/0143116031000139863>
- Mack, B., Leinenkugel, P., Kuenzer, C., & Dech, S. (2017). A semi-automated approach for the generation of a new land use and land cover product for Germany based on Landsat time-series and Lucas in-situ data. *Remote Sensing Letters*, 8(3), 244–253. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1249299>
- Nitsch, H., Osterburg, B., Roggendorf, W., & Laggner, B. (2012). Cross compliance and the protection of grassland—Illustrative analyses of land use transitions between permanent grassland and arable land in German regions. *Land Use Policy*, 29(2), 440–448.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>

- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N., & Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high resolution satellite image time series over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 187, 156–168. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.010>
- Pott, W., Joest, R., & Müller, A. (2009). Auf der Durchreise aus dem hohen Norden - Zum Vorkommen des Mornellregenpfeifers (*Charadrius morinellus*) in der Hellwegbörde von 1967-2008. *ABU Info*, (31/32), 38–47.
- Reiners, T. (2017). Abgeschätzte aktuelle Verbreitung des Feldhamsters. Forschungsinstitut Senckenberg, Standort Gelnhäusen.
- Schuster, C., Schmidt, T., Conrad, C., Kleinschmit, B., & Förster, M. (2015). Grassland habitat mapping by intra-annual time series analysis – Comparison of RapidEye and TerraSAR-X satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 25–34. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.06.004>
- Stehman, S. V., & Czaplewski, R. L. (1998). Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*, 64(3), 331–344.
- Strahler, A. H., Boschetti, L., Foody, G. M., Friedl, M. A., Hansen, M. C., Herold, M., et al. (2006). Global land cover validation: Recommendations for evaluation and accuracy assessment of global land cover maps (No. 25) (S. 51). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. [http://cndwebzine.hcp.ma/cnd\\_sii/IMG/pdf/Document2222222222-17.pdf](http://cndwebzine.hcp.ma/cnd_sii/IMG/pdf/Document2222222222-17.pdf). Zugegriffen: 28. November 2013
- Sutcliffe, L., Schraml, A., Eiselt, B., & Oppermann, R. (2019). The LUCAS Grassland Module Pilot – qualitative monitoring of grassland in Europe, (40), 27–31. <https://doi.org/10.21570/EDGG.PG40>
- Tamm, T., Zalite, K., Voormansik, K., & Liina Talgre. (2016). Relating Sentinel-1 Interferometric Coherence to Mowing Events on Grasslands. *Remote Sensing*, 8(10), 802. <https://doi.org/10.3390/rs8100802>
- Thanh Noi, P., & Kappas, M. (2017). Comparison of Random Forest, k-Nearest Neighbor, and Support Vector Machine Classifiers for Land Cover Classification Using Sentinel-2 Imagery. *Sensors*, 18(2), 18. <https://doi.org/10.3390/s18010018>
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*, 8(2), 127–150.
- UBA. (2016, Januar 7). CORINE Land Cover – CLC. CORINE Land Cover – Europaweit harmonisierte Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/boden-landwirtschaft/flaechensparen-boeden-landschaften-erhalten/corine-land-cover-clc>. Zugegriffen: 17. Juni 2019
- UBA. (2018, Oktober 11). Grünlandumbruch. Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/print/daten/land-forstwirtschaft/gruenlandumbruch>. Zugegriffen: 17. Juni 2019

- Waldhoff, G., Lussem, U., & Bareth, G. (2017). Multi-Data Approach for remote sensing-based regional crop rotation mapping: A case study for the Rur catchment, Germany. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 61, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.04.009>
- Zillmann, E., Gonzalez, A., Montero Herrero, E. J., van Wolveaer, J., Esch, T., Keil, M., et al. (2014). Pan-European Grassland Mapping Using Seasonal Statistics From Multi-sensor Image Time Series. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(8), 3461–3472. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2321432>

## Anhang

### Anhang 1 Fernerkundungsdaten: Übersicht und Bewertung

Name	Kurzinfo	Lizenz	Laufzeit	Fortbestand	Konsistenz	Anwendbarkeit
Sentinel-2	Optische Satellitendaten des ESA Copernicus Programms	Open Data Lizenz	seit Okt. 2015		Einheitliches Datenmodell	Daten sind über Web-Schnittstelle automatisiert abrufbar. Aufbereitung notwendig zur Wolkenmaskierung, Zeitreihen-Erstellung.
Sentinel-1	Radar C-Band Satellitendaten des ESA Copernicus Programms	Open Data Lizenz	seit Sept. 2014		Einheitliches Datenmodell	Daten sind über Web Schnittstelle automatisiert abrufbar. Aufbereitung zur Zeitreihen-Erstellung notwendig.
Landsat 4/5	Optische Satellitendaten der Landsat-Reihe	Open Data Lizenz	Bis Nov. 2011	Über Landsat 7 und Landsat 8	Einheitliches Datenmodell	Die Daten stehen für eine Verwendung für das Jahr 2000 zur Verfügung, Ein weiterer Vergleich der Datenqualität und Dichte mit den IMAGE 2000 Daten (Landsat 7) ist geplant.
Landsat 7	Optische Satellitendaten der Landsat-Reihe	Open Data Lizenz	Bis 2003	Über Landsat 8	Einheitliches Datenmodell	Die Daten stehen für eine Verwendung für das Jahr 2000 zur Verfügung, Ein weiterer Abgleich mit den IMAGE 2000 Daten (ebenfalls Landsat 7) ist geplant.
Landsat 8	Optische Satellitendaten der Landsat-Reihe	Open Data Lizenz	Seit 2013	Landsat 9 in Planung ab 2020	Einheitliches Datenmodell	Die Daten wurden aufgrund der hohen Verfügbarkeit der Sentinel-2 Daten nicht aufbereitet.

Name	Kurzinfo	Lizenz	Laufzeit	Fortbestand	Konsistenz	Anwendbarkeit
Aster	Optische Satellitendaten der Aster-Reihe der NASA	Open Data Lizenz	Seit 2000	Nicht bekannt	Einheitliches Datenmodell	Der Einsatz von ASTER Daten wurde für das Jahr 2012 untersucht. Auf Basis des Sensors konnte keine vollständige Abdeckung des Bundesgebietes (mit Bevölkerung < 20 %) erreicht werden, da der Sensor nicht kontinuierlich aufgezeichnet.
VHR_IMAGE_2015	1 VHR Abdeckung für 2014-2016	ESA „Public Authority“	2014-2016	VHR 2018	Verschiedene Sensoren	Daten liegen als Zip-files in nicht einheitlicher Logik auf ESA ftp-Server, keine automatisierte Aufbereitung möglich. Tlw. nicht vollständige Abdeckungen sowie Dunst/Wolken.
HR_IMAGE_2015	2 HR Abdeckungen innerhalb der Vegetationsperioden 2014-2015	ESA „Public Authority“	2014-2015	HR_Image 2018 über Sentinel-2	Verschiedene Sensoren	s. VHR IMAGE 2015
MR_IMAGE_2015	8 monatliche MR Abdeckungen zwischen März und Oktober 2014	ESA „Public Authority“	2014	MR_IMAGE_2018 über Sentinel-2/3	Einheitlicher Sensor	s. VHR IMAGE 2015; vollständige Abdeckung, aber tlw. Dunst/ Wolken.
EUR_HR2_MU LTITEMP	7 monatliche HR Abdeckungen Apr-Okt 2015	ESA „Public Authority“	2015	Über Sentinel-2	Verschiedene Sensoren	s. VHR IMAGE 2015; vollständige Abdeckungen, aber tlw. Dunst/ Wolken.
DWH_MG2_CORE_01	2 HR Abdeckungen (Image 2012)	ESA „Public Authority“	2011-2013	–	Einheitlicher Sensor innerhalb der jeweiligen Abdeckungen.	s. VHR IMAGE 2015; vollständige Abdeckungen, aber tlw. Dunst/ Wolken.
DWH_MG2_CORE_02	2 HR Abdeckungen je Referenzzeitraum (Image2006, Image2009)	ESA „Public Authority“	2005-2007 2008-2010	–	Nicht geprüft	Nicht geprüft

Name	Kurzinfo	Lizenz	Laufzeit	Fortbestand	Konsistenz	Anwendbarkeit
DWH_MG2-3_CORE_08	Monatsweise optimierte MR Abdeckungen zwischen März-Oktober 2011 und 2012	ESA „Public Authority“	2011-2013	–	Nicht anwendbar in Deutschland	Daten aus Lizenzgründen nicht verfügbar für deutsche Abdeckung
DWH_MG2b_CORE_03	VHR Abdeckung EU 2011-2013	ESA „Public Authority“	2011-2013	–	Verschiedene Sensoren, tlw. Dunst/Wolken	s. VHR IMAGE 2015
Orthophotos (DOP20/DOP40):	Digitale Orthophotos der Bundesländer	Kostenfrei für Bundesbehörden	Variabel innerhalb der Bundesländer	Fortlaufend aktualisiert in 2-3 Jahre Turnus durch die Bundesländer	Unterschiedliche Bildflugprogramme und Aktualitäten	Daten liegen über WMS Dienste nur als komprimierte Ansichten vor, sie können daher nicht in FE-Klassifikationsprozesse integriert werden.

## Anhang 2 Geofachdaten: Übersicht und Bewertung

Name	Kurz-beschreibung	Lizenz	Zeiträume	Fortbestand	Datenqualität	Anwendbarkeit
EEA Natura2000 Local Component	Kartierung ausgewählter Natura2000 Gebiete auf Basis einer visuellen Interpretation von Satellitendaten der Jahre 2006 und 2012	Frei verfügbar	2005-2007, 2011-2013	Offen, voraussichtlich sechs-jährig	>85 % thematische Genauigkeit	Daten frei und via Download verfügbar. Zukünftige Änderungen der Spezifikation vorgesehen.
EEA Riparian Zone Local Component	Kartierung ausgewählter Flussauen-Gebiete auf Basis einer visuellen Interpretation von Satellitendaten des Jahres 2012	Frei verfügbar	2011-2013	2018, voraussichtlich drei-jährig	>85 % thematische Genauigkeit	Daten frei und via Download verfügbar. Zukünftige Änderungen der Spezifikation vorgesehen.
Forest: Copernicus High Resolution Layer (HRL)	Automatisierte Klassifikation der Waldtypen (Nadel-, Laub-, Mischwald)	Frei verfügbar	2011-2013	2015, voraussichtlich drei-jährig	>85 % thematische Genauigkeit	Daten frei verfügbar. Produktreihe durch wiederholte Erstellung vorhanden.
Wetland HRL	Automatisierte Klassifikation zum Vorkommen von Feuchtgebieten (ja/nein)	Frei verfügbar	2011-2013	2015, voraussichtlich drei-jährig	Bestehender Layer wird aufgrund bekannter qualitativer Mängel abgelöst.	Daten frei verfügbar. Produktreihe noch nicht erreicht, Änderungen der Spezifikation für 2015 vorgesehen.
Grassland HRL	Automatisierte Klassifikation zum Vorkommen natürlicher und semi-natürlicher Grünlandflächen (ja/nein)	Frei verfügbar	2011-2013	2015, voraussichtlich drei-jährig	Bestehender Layer wird aufgrund bekannter qualitativer Mängel abgelöst.	Grassland HRL 2012 beinhaltet nur „Natürliche und semi-natürliche Standorte“, d.h. kein Wirtschaftsgrünland. Grassland Layer 2015 wird einer neuen (noch nicht finalen) Spezifikation folgen.
Permanent Water Bodies HRL	Automatisierte Klassifikation zum Vorkommen permanenter Wasserflächen (ja/nein)	Frei verfügbar	2011-2013	2015, voraussichtlich drei-jährig	Daten sind auf 100 m Pixel-größe reduziert. >90 % thematische Genauigkeit	Daten frei und via Download verfügbar.
Imperviousness HRL	Automatisierte Klassifikation zum Versiegelungsgrad der Erdoberfläche	Frei verfügbar	2006-2009-2012	2015, voraussichtlich drei-jährig	Die verschiedenen Imperviousness Layer sind nicht direkt miteinander vergleichbar.	Daten frei und via Download verfügbar. Zukünftige Änderungen der Spezifikation vorgesehen. Neuprozessierung und Kalibrierung der bestehenden Layer vorgesehen.

Name	Kurz-beschreibung	Lizenz	Zeiträume	Fortbestand	Datenqualität	Anwendbarkeit
CORINE Land Cover (CLC)	Europaweiter Datensatz zur Landbedeckung. Er wird von der Europäischen Umweltagentur beauftragt und kostenfrei im Rahmen des Copernicus-Programms zur Verfügung gestellt.	Frei verfügbar	1990, 2000, 2006 und 2012	2018, voraussichtlich sechsjährig	Einheitliche Produktion und Klassen- definition für alle Zeiträume.	Direkte Anwendbarkeit der Agrar-Klassen eingeschränkt auf Grund der Mindestkartierflächen Größe von 25 ha.
LUCAS	Bodenbedeckungs-/Boden-nutzungs-statistik der europäischen Statistikbehörde EUROSTAT. Erhebung durch Feldbegehungen.	Frei verfügbar	2006 2009 2012 2015	2018, voraussichtlich dreijährig	Hohe statistische Genauigkeit. Neben LC/LU Klasse weitere Vor-Ort-Informationen in Form von Geländefotos verfügbar.	Daten sind frei verfügbar. Weitere Vorprozessierung notwendig zur Integration in FE-Prozesse. Punktbezogene Informationen. Kontinuierliche veränderliche Entwicklung der LC/LU Klassendefinitionen.
LBM-DE 2009	Landbedeckungsmodell für Deutschland 2009. Erstellung durch FE-Interpretation.	Kostenfrei für Bundesbehörden	2009	–	Einheitliches Datenmodell, Trennung Landbedeckung/Landnutzung. Erstellung auf Basis von FE-Daten.	Bundesweit verfügbar
LBM-DE 2012	Landbedeckungsmodell für Deutschland 2012. Erstellung durch FE-Interpretation.	Kostenfrei für Bundesbehörden	2012	Voraussichtlich 2018 entsprechend CLC Rhythmus	Einheitliches Datenmodell, Trennung Landbedeckung/Landnutzung. Erstellung auf Basis von FE-Daten.	Bundesweit verfügbar
Basis-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell (ATKIS-Basis-DLM). Erhebung durch Vor-Ort Informationen, DOP Auswertung u.a.	Kostenfrei für Bundesbehörden	Fortlaufende länderspezifische Aktualisierung, Objektartenabhängige Aktualisierungszyklen	Kontinuierlich, Grundaktualität: 5-jähriger Fortführungszyklus Spitzenaktualität: 3 bis 12 Monate für bestimmte Objektarten	Einheitliches Datenmodell. Thematische Qualität abhängig von Aktualisierungsrate. Hohe geometrische Genauigkeit durch Erstellung auf Basis DOP.	Daten über BKG bundesweit harmonisiert und verfügbar

Name	Kurz-beschreibung	Lizenz	Zeiträume	Fortbestand	Datenqualität	Anwendbarkeit
LRT /Biotopkartierungen der Länder	Lebensraumtypen-Kartierungen der Bundesländer. Erhebung i.d.R. durch Vor-Ort-Kartierungen.		nicht auf einzelne Zeiträume beschränkt; Regional und fachlich bedingt unterschiedliche Aktualitäten	Fortlaufende bundesland-spezifische Aktualisierung	Sehr unterschiedliche Datenmodelle und Verfügbarkeiten innerhalb der Bundesländer.	Keine zentralen Schnittstellen zur bundesweiten Abfrage vorhanden.
OpenStreet-Map	Topographische Informationen der OpenStreetMap Initiative. Erhebung durch freiwillige Kartierer, keine standardisierten Vorgehen.	ODBL	Kontinuierlich und abhängig von freiwilligen Kartieren	ODBL	Datenqualität und Dichte sehr variabel	Datenzugriff und Verwendung automatisierbar.

### Anhang 3 Datensteckbriefe Fernerkundungsdaten

Die ausgewählten Primärdatenquellen der Referenzjahre 2016, 2006 und 1990 werden in den folgenden Steckbriefen nochmals näher vorgestellt.

Tab. 33: Datenspezifikation Sentinel-2.

Datensatz	Sentinel-2																				
Kurzinformatio	Multispektrales optisches Satellitenpaar der Sentinel-Flotte der ESA: Sentinel-2A: seit 23. Juni 2015 Sentinel-2B: seit 7. März 2017 geplante Lebensdauer: mind. 7 Jahre																				
Räumliche Auflösung	10 m bis 60 m pro Pixel																				
Aktualisierung	Wiederholrate eines Überflugs ist 5 Tage, wenn beide Satelliten Sentinel-2A und Sentinel-2B Bilder liefern.																				
Inhalt	<p>13 Spektralkanäle, vier davon mit 10 m räumlicher Auflösung:</p> <table data-bbox="419 757 699 891"> <tr><td>Blau</td><td>490 nm</td></tr> <tr><td>Grün</td><td>560 nm</td></tr> <tr><td>Rot</td><td>665 nm</td></tr> <tr><td>NIR</td><td>842 nm</td></tr> </table> <p>sechs davon mit 20 m räumlicher Auflösung:</p> <table data-bbox="419 958 699 1093"> <tr><td>Red Edge</td><td>705 nm</td></tr> <tr><td>Red Edge</td><td>740 nm</td></tr> <tr><td>Red Edge</td><td>783 nm</td></tr> <tr><td>Red Edge</td><td>865 nm</td></tr> <tr><td>SWIR</td><td>1610 nm</td></tr> <tr><td>SWIR</td><td>2190 nm</td></tr> </table> <p>Drei weitere mit 60 m räumlicher Auflösung für Wolkendetektion und Atmosphärenkorrekturen (443, 945 und 1375 nm).</p>	Blau	490 nm	Grün	560 nm	Rot	665 nm	NIR	842 nm	Red Edge	705 nm	Red Edge	740 nm	Red Edge	783 nm	Red Edge	865 nm	SWIR	1610 nm	SWIR	2190 nm
Blau	490 nm																				
Grün	560 nm																				
Rot	665 nm																				
NIR	842 nm																				
Red Edge	705 nm																				
Red Edge	740 nm																				
Red Edge	783 nm																				
Red Edge	865 nm																				
SWIR	1610 nm																				
SWIR	2190 nm																				
Quelle	ESA Sentinel Data Hub: <a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a> Ein Webportal, über das alle aufgenommenen Bilder gesucht und heruntergeladen werden können.																				
Kosten	kostenfrei																				
Beispiel																					

Tab. 34: Datenspezifikation Sentinel-1.

Datensatz	Sentinel-1
Kurzinfo	<p>C-Band Synthetic Aperture Radar Satellitenpaar der Sentinel-Flotte der ESA:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sentinel-1A: seit 03. April 2014</li> <li>• Sentinel-1B: seit 25. April 2016</li> </ul> <p>liefern wetter- und tageszeitunabhängige Radarbilder; geplante Lebensdauer: mind. 7 Jahre</p>
Räumliche Auflösung	<p>je nach Bearbeitungsmodi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Strip-Map-Mode: 5 x 5 m/Pixel bei 80 km breiten Aufnahmestreifen</li> <li>• Interferometric Wide-Swath-Mode: 5 x 20 m/Pixel bei 250 km breiten Aufnahmestreifen (Default über Land)</li> <li>• Extrawide-Swath-Mode: 20 x 40 m/Pixel bei 400 km breiten Aufnahmestreifen</li> <li>• Wave-Mode: 5 x 5 m/Pixel für 20 x 20 km Aufnahmekacheln</li> </ul>
Aktualisierung	Wiederholrate eines Überflugs ist 6 Tage
Inhalt	Sensor besitzt ein Radar-Band: C-Band Synthetic Aperture Radar (SAR) bei 5,405 GHz
Quelle	ESA Sentinel Data Hub: <a href="https://scihub.copernicus.eu/">https://scihub.copernicus.eu/</a>
Kosten	kostenfrei
Beispiel	

Tab. 35: Datenspezifikation Landsat-4/5.

Datensatz	Landsat-4/5
Kurzinfo	Landsat-4 und Landsat-5 waren baugleiche Satelliten der Landsat-Mission der NASA. Landsat-4 war von 1982 bis 1993, Landsat-5 von 1984 bis 2013 in Betrieb.
Räumliche Auflösung	30 m bzw. 120 m pro Pixel
Aktualisierung	Wiederholrate eines Überflugs beträgt 16 Tage
Inhalt	<p>7 Kanäle,</p> <p>sechs Spektralkanäle mit einer Auflösung von 30 m:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Blau                    450 – 520 nm</li> <li>• Grün                    520 – 600 nm</li> <li>• Rot                      630 – 690 nm</li> <li>• NIR                     760 – 900 nm</li> <li>• SWIR                    1550 – 1750 nm</li> <li>• SWIR                    2080 – 2350 nm</li> </ul> <p>ein Thermalkanal mit 120 m Auflösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• TIR                      10400 – 12500 nm</li> </ul>
Quelle	<p>Die Daten können über verschiedene Webportale des U.S. Geological Survey (USGS) heruntergeladen werden.</p> <p><a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a></p> <p><a href="http://glovis.usgs.gov/">http://glovis.usgs.gov/</a></p>
Kosten	Kostenfrei
Beispiel	

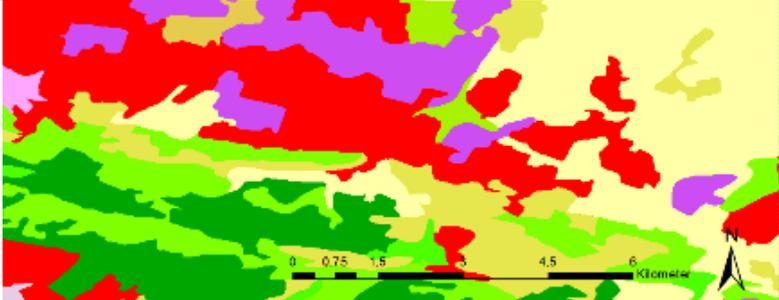
Tab. 36: Datenspezifikation Digitale Orthophotos.

Datensatz	Digitale Orthophotos der Landesvermessungen
Kurzinfo	Die Bundesländer führen jedes Jahr für ein Drittel ihrer Landesfläche eine Befliegung durch. Als Ergebnis stehen digitale Luftbilder als Orthophotokacheln zur Verfügung.
Räumliche Auflösung	20 cm pro Pixel und 40 cm pro Pixel
Aktualisierung	Alle drei Jahre. Jedes Jahr wird ein Drittel der Landesflächen befliegen, so dass in einem 3-jährigen Turnus eine komplette Neu-Befliegung vorliegt.
Inhalt	<p>Aufnahme von 4 Spektralkanälen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rot</li> <li>• Grün</li> <li>• Blau</li> <li>• nahes Infrarot</li> </ul> <p>Die Orthophotos werden als zwei 3-Kanal-Varianten RGB und CIR oder als eine 4-kanalige RGBI-Datei angeboten.</p>
Quelle	Die Digitalen Orthophotos können über den Geodatenshop des BKG bezogen werden.
Kosten	Für Bundesbehörden kostenfrei als WMS Dienst verfügbar.
Beispiel	

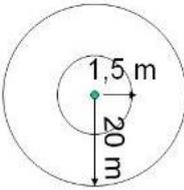
## Anhang 4 Datensteckbriefe Geofachdaten

Neben den Fernerkundungsdaten wurden Geofachdaten für das Projekt verwendet. Die Geofachdaten stellen sowohl aus Fernerkundungsdaten abgeleitete Produkte dar, sowie über Gelände-Begehungen erhobene Fachdaten. Die folgenden Steckbriefe stellen die verwendeten Geofachdaten für die Referenzjahre 1990, 2006 und 2016 kurz vor.

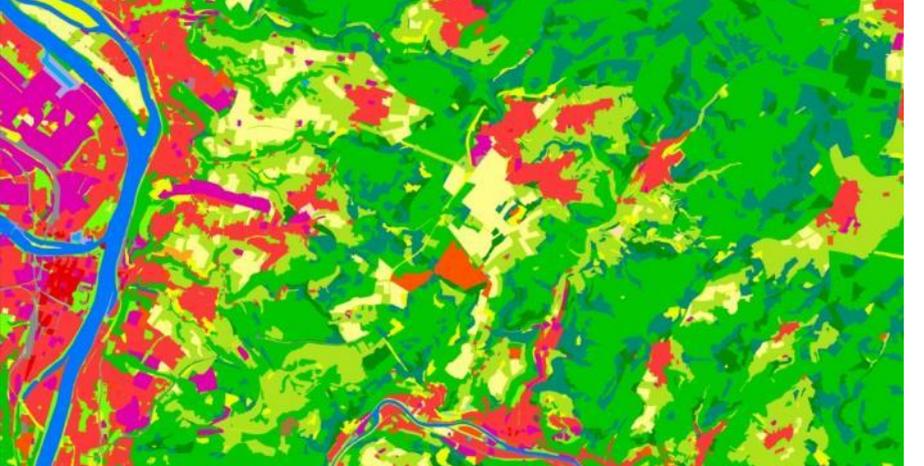
Tab. 37: Datenspezifikation CORINE Land Cover (CLC) 1990 und 2006.

Datensatz	CORINE Land Cover (CLC)
Kurzinfo	Das europaweite Projekt CORINE (Coordination of Information on the Environment) Land Cover der Europäische Union hat die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa zum Ziel.
Räumliche Auflösung	Mindestkartierfläche: <ul style="list-style-type: none"> <li>• „Land Cover/Land Use“: 25 ha</li> <li>• „Land Cover/Land Use Change“: 5 ha</li> </ul> Mindestkartierbreite: „Land Cover/Land Use“: 100 m
Aktualisierung	<b>1990</b> , 2000, <b>2006</b> , 2012
Inhalt	Flächendeckende Landnutzungs/-bedeckungsklassifikation unter Nutzung eines hierarchischen Klassifikationsschlüssels mit 44 Klassen, von denen 37 in Deutschland relevant sind. Die Kartierung der Bodenbedeckung und Landnutzung wurde europaweit auf der Basis von Satellitendaten im Maßstab 1:100.000 durchgeführt. Seit 2012 wird CLC für Deutschland aus dem LBM-DE durch Generalisierungsmethoden abgeleitet.
Quelle	Die Daten können als Vektordatensatz im ESRI Geodatabase Format oder als SQL Lite Datenbank heruntergeladen werden.  <a href="http://land.copernicus.eu/">http://land.copernicus.eu/</a>
Kosten	kostenfrei
Beispiel	

Tab. 38: Datenspezifikation LUCAS.

Datensatz	LUCAS
Kurzinfo	Flächenstichprobenerhebung zur Bodennutzung und Boden-bedeckung in Europa.
Räumliche Auflösung	Punktdaten-Informationen. Erfassung der Landbedeckung und Landnutzung innerhalb eines 1,5 m bzw. 20 m Radius bei heterogen Landbedeckungen
Aktualisierung	3 Jahre: <b>2006</b> , 2009, 2012, <b>2015</b> , 2018
Inhalt	Vor-Ort Geländekartierung der Landbedeckung (83 Klassen in 2012) und Landnutzung (33 Klassen in 2012). Die Erfassung von Landbedeckung und Landnutzung erfolgt separat. Die Verortung und Auswahl der Kartier-Punkte erfolgt auf Basis einer regelmäßigen Punkteverteilung (2 km Raster) und unter Verwendung einer statistischen Stichprobenverteilung.
Quelle	Punktinformationen in CSV Format bei Eurostat erhältlich: <a href="http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/primary-data/2012">http://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas/data/primary-data/2012</a> Landschaftsfotos in alle Himmelsrichtungen ausgehend vom kartierten Standort können auf Nachfrage bereitgestellt werden.
Kosten	kostenfrei
Beispiel	  <p>Exemplarische Verteilung der LUCAS Punkte im 2km Raster (links) und Standard-Erfassungs-Radien (1,5m für homogene Landbedeckung/Landnutzung bzw. 20m für heterogene Bereiche)</p> <p><small>Source: Gogle Earth, 2007</small></p> <p><small>Source: M. Fritz, EUROSTAT E1, 2007</small></p>

Tab. 39: Datenspezifikation DLM-DE (2009) und LBM-DE (2012).

Datensatz	LBM-DE
Kurzinformatio	Das Landbedeckungsmodell Deutschland ist ein einheitlicher deutschlandweiter Datensatz mit Informationen zur Landbedeckung und -nutzung in hoher Auflösung. Bis 2012 hieß das Modell noch DLM-DE.
Räumliche Auflösung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestkartierfläche: 1 ha</li> <li>• Mindestkartierbreite: 15 m</li> </ul>
Aktualisierung	Datensatz für die Referenzjahre 2009 (DLM-DE) und 2012 zur Verfügung.
Inhalt	<p>Trennung von Landbedeckung und Landnutzung. Vektorformat. Flächendeckende Landnutzungs-/bedeckungsklassifikation unter Nutzung eines hierarchischen Klassifikationsschlüssels:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Landbedeckung: 8 Hauptklassen (A bis H) mit insgesamt 36 Unterteilungen</li> <li>• Landnutzung: 8 Hauptklassen mit insgesamt 17 Unterteilungen</li> </ul>
Quelle	Vektordatensatz, BKG
Kosten	kostenfrei für Bundesbehörden
Beispiel	

Tab. 40: Datenspezifikation Basis-DLM.

Datensatz	Basis-DLM
Kurzinfo	Das Digitale Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft im Vektorformat für das gesamte Bundesgebiet. Objekte werden einer bestimmter Objektart zugeordnet und durch ihre räumliche Lage, ihren geometrischen Typ, beschreibende Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten definiert. Somit wird im ATKIS-Basis-DLM die Landschaft durch punkt-, linien- und flächenförmige Objekte beschrieben.
Räumliche Auflösung	i. d. R. 1 ha, jedoch sind Flächen <1 ha erlaubt
Aktualisierung	Objekte der Spitzenaktualisierung werden in abgestuften Aktualisierungszeiträumen von 3, 6 oder 12 Monaten überprüft und bei Veränderungen fortgeführt. Alle nicht der Spitzenaktualisierung unterliegenden Objekt-, Attribut- und Wertarten werden mindestens innerhalb eines fünf-jährigen Aktualisierungszeitraumes überprüft und bei Veränderungen fortgeführt (Grundaktualisierung).
Inhalt	<p>Flächendeckende und überlagernde Beschreibung der Landschaft nach vornehmlich topographischen Gesichtspunkten. Durch das Netz der Straßen, Hauptwirtschafts- und Wirtschaftswege, schienengebundenen Verkehrswege und Gewässer, den sogenannten Maschenbildnern, wird die Landschaft in Maschen aufgeteilt. Diese Maschen werden durch flächenförmige Objekte aus dem Objektartenbereich der tatsächlichen Nutzung redundanzfrei und lückenlos gefüllt. Der Objektartenbereich 'Tatsächliche Nutzung' enthält die Objektartengruppen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gewässer</li> <li>• Siedlung</li> <li>• Vegetation</li> <li>• Verkehr</li> </ul>
Quelle	Vektordatensatz, BKG
Kosten	kostenfrei für Bundesbehörden
Beispiel	

Tab. 41: Datenspezifikation LPIS.

Datensatz	
Kurzinfo	Das Land Parcel Identification System (LPIS) ist Teil des seit 1992 schrittweise eingeführten Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) zur Umsetzung einer einheitlichen Agrarpolitik in Europa. Es ermöglicht in diesem Zusammenhang in einer GIS-Umgebung die Identifikation, Verortung und administrative Prüfung der landwirtschaftlichen Parzellen. Für die Definition dieser Referenzparzellen werden in Deutschland durch die Agrarverwaltungen der Länder unterschiedliche Referenzsysteme genutzt: Feldblock, Feldstück, Flurstück, Schlag.
Räumliche Auflösung	Entsprechend der Realnutzung.
Aktualisierung	Die Daten des LPIS sind einer kontinuierlichen Aktualisierung unterzogen. Diese beruht auf der Verfügbarkeit aktualisierter Orthophotos der Länder, die in je nach Bundesland in 2-3 jährigem Turnus aktualisiert werden.
Inhalt	Eine Referenzparzelle im LPIS ist eine eindeutig identifizierte und geografisch abgegrenzte landwirtschaftliche Fläche. Thematisch werden zwischen Acker- und Grünland-Referenzparzellen unterschieden (noch nicht flächendeckend umgesetzt).
Quelle	Vektordatensatz, Bundesländer
Kosten	Nicht bekannt
Beispiel	

## Anhang 5 Bewertung Biotop- und LRT-Kartierungen der Bundesländer

Überblick über Biotop- und LRT-Kartierungen der Bundesländer (Quelle: BfN interne Studie, ergänzt durch Auftragnehmer).

Bundesland	Abdeckung der Biotoptypen- und LRT-Kartierung	Biotopkartierung flächendeckend auswertbar?	LRT-Kartierung flächen-deckend auswertbar?	Daten-aktualität*
Brandenburg	FFH-Gebiete und Großschutzgebiete flächendeckend, außerhalb selektiv geschützte Biotope und LRT (außer einzelne Landkreise)	ja (mit Ausnahme einzelner Landkreise)	ja (mit Ausnahme einzelner Landkreise)	2009
Berlin	flächendeckend	ja	ja	nicht bekannt
Baden-Württemberg	selektiv, aber weder FFH-Gebiete (in fast 35 % der FFH-Gebiete keine LRT-Angaben) noch außerhalb vollständige Abdeckung	ja	nein	2001-2014
Bayern	flächendeckend selektiv, in ALP nur sehr wenige LRT-Angaben; nur in FFH-Gebieten vollständige Angabe zu Wald-LRT, aber insgesamt in fast 33 % der FFH-Gebiete keine LRT-Angaben	ja (nur Offenlandbiotope)	nein	1984-2014
Bremen	–	nein	nein	nicht bekannt
Hamburg	–	nein	nein	nicht bekannt
Hessen	FFH-Gebiete vollständig, außerhalb flächendeckend selektive Biotoptypenkartierung	ja	nein	1997-2012
Mecklenburg-Vorpommern	FFH-Gebiete nicht vollständig mit LRT-Kartierung (in gut 18 % der FFH-Gebiete keine LRT-Angaben), außerhalb nicht vorliegend; Biotopkartierung deckt ganzes Land ab (1996-2013)	ja	nein	2004-2014

Bundesland	Abdeckung der Biotoptypen- und LRT-Kartierung	Biotopkartierung flächendeckend auswertbar?	LRT-Kartierung flächen-deckend auswertbar?	Daten-aktualität*
Niedersachsen	FFH-Gebiete nicht vollständig mit LRT- (in > 25 % der FFH-Gebiete keine LRT-Angaben) und Biotoptypen-Kartierung, außerhalb vollständig fehlend	nein	nein	1995-2014
Nordrhein-Westfalen	FFH-Gebiete fast vollständig, außerhalb weitgehend flächendeckend selektive LRT- und Biotoptypenkartierung	ja	ja	1991-2015
Rheinland-Pfalz	FFH-Gebiete vollständig, außerhalb flächendeckend selektive LRT- und Biotoptypenkartierung	ja	ja	nicht bekannt
Schleswig-Holstein	–	nein	nein	2005-2012
Saarland	–	nein	nein	nicht bekannt
Sachsen	–	nein	nein	1992-2016
Sachsen-Anhalt	FFH-Gebiete weitgehend vollständig (in ATL effektiv 12 % und in KON effektiv 7 % ohne LRT-Angabe), außerhalb weitgehend flächendeckend selektive LRT- und Biotoptypenkartierung	ja	ja	ab 2009
Thüringen	FFH-Gebiete weitgehend vollständig (in knapp 7 % der FFH-Gebiete keine LRT-Angaben), außerhalb flächendeckend selektive LRT- und Biotoptypenkartierung; Biotoptypen-Angaben nur für Offenland-Biotopkartierung vorliegend, in Wald-Biotopkartierung fehlend (Stand: 22.11.2016)	ja	ja	Nicht eindeutig, Großteil vor 2007

\* laut Metadaten Informationen (Zeitstempel) der beigegebenen Daten