

CLIMATE CHANGE

07/2017

Welchen Beitrag können Satellitenfernerkundung und insbesondere Copernicus-Daten und – Dienste für die Ermittlung ausgewählter Indikatoren des Indikatoren-Sets der Deutschen Anpassungs- strategie an den Klimawandel (DAS) leisten

Endbericht

CLIMATE CHANGE 07/2017

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3714 48 103 0
UBA-FB 002411

**Welchen Beitrag können
Satellitenfernerkundung und insbesondere
Copernicus-Daten und –Dienste für die
Ermittlung ausgewählter Indikatoren des
Indikatoren-Sets der Deutschen
Anpassungsstrategie an den Klimawandel
(DAS) leisten**

von

Konstanze Schönthaler, Stefan von Andrian-Werburg
Bosch & Partner GmbH, München

Dr. Marc Zebisch, Daniel Becker
EURAC Institut für Angewandte Fernerkundung, Bolzano/Bozen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

Bosch & Partner GmbH
Pettenkoferstraße 24
80336 München

EURAC Institut für Angewandte Fernerkundung
Drususallee 1
39100 Bozen
Italien

Abschlussdatum:

April 2016

Redaktion:

Fachgebiet I 1.5 Nationale und Internationale Umweltberichterstattung -
Sachgebiet Umweltinformationssysteme und -dienste
Thomas Schultz-Krutisch

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Februar 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3714 48 103 0 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung

Das Copernicus-Programm umfasst seit 1998 die Erhebung, Verarbeitung und Bereitstellung von Erdbeobachtungsdaten zur Untersuchung umwelt- und sicherheitsrelevanter Fragestellungen zum Status der Erde. Die Copernicus Beobachtungsinfrastruktur bestehend aus einer Satelliten- und In situ-Komponente sowie einer Service-Komponente steht für langfristige Planung, nachhaltigen Betrieb und verlässliche Bereitstellung. Ziel ist, die Copernicus-Daten und -Services bestmöglich nutzbar zu machen. Zur Erprobung von Schnittstellen zwischen Copernicus und dem Umweltmonitoring wurde im Rahmen des Vorhabens diskutiert und getestet, inwieweit sich das Indikatorensystem zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS), das Grundlage der regelmäßigen Berichterstattung zur Umsetzung der DAS ist, mithilfe von Satellitendaten weiterentwickeln lässt. Das ressortübergreifend abgestimmte DAS-Indikatorensystem umfasst derzeit 102 Indikatoren zu allen Handlungsfeldern und Querschnittsthemen der DAS.

Ergebnis der Erprobung von Schnittstellen sind konkrete Vorschläge für zusätzliche und weiterentwickelte DAS-Indikatoren sowie Ansätze für perspektivische Weiterentwicklungen. Bedeutende Potenziale des Copernicus-Programms für das DAS-Indikatorensystem liegen neben den allgemein zugänglichen Copernicus-Services auch in der Nutzung und Entwicklung von Value adding-Services, die stärker auf die Fragestellungen der DAS fokussierte Auswertungen zulassen.

Abstract

Since 1998 the Copernicus programme has included the collection, processing and provision of earth observation data in order to investigate environmental and safety-related questions concerning the status of the earth. The Copernicus observation infrastructure is made up of a satellite and in situ component, as well as a service component. This observation infrastructure is characterised by long-term planning, a sustainable operation and reliable supply. The aim is to ensure that the Copernicus data and services provide maximum benefit to the user. In order to test interfaces between Copernicus and environmental monitoring, it was discussed and verified to what extent the indicator system of the German Strategy for Adaptation to Climate Change (DAS) may be further developed by means of satellite data. The cross-departmental coordinated DAS indicators system currently includes 102 indicators covering all DAS action fields and cross-sectional issues and represents the basis for regular reporting on the DAS implementation.

The results of the interface testing are concrete proposals for additional and further-development of the DAS indicators as well as approaches for prospective further developments. Significant potential of the Copernicus programme for the DAS system of indicators lies in the general accessibility of the Copernicus services, as well as in the use and development of value adding services, which allow for better analyses that are more specifically focused on the issues of the DAS.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis.....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	10
Zusammenfassung	15
Summary	24
1 Aufgabenstellung und Ziele	33
2 Ausgangspunkte	35
2.1 DAS-Indikatorensystem	35
2.1.1 Entwicklung, Aufbau und Dokumentation des DAS-Indikatorensystems	35
2.1.2 Lücken im DAS-Indikatorensystem, Weiterentwicklungsmöglichkeiten	37
2.2 Copernicus-Programm	40
2.2.1 Ziele und Funktionsweise des Copernicus-Programms.....	40
2.2.2 Space Komponente des Copernicus-Programms	41
2.2.3 In situ-Komponente des Copernicus-Programms.....	43
2.2.4 Service-Komponente des Copernicus-Programms	44
2.2.4.1 Produkte des Dienstes zur Landüberwachung (Land Monitoring Service)	46
2.2.4.2 Produkte des Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre (Atmosphere Monitoring Service)	48
2.2.4.3 Produkte des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt (Marine Monitoring Service)	49
2.2.4.4 Produkte des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels (Climate Change Service)	50
2.2.4.5 Katastrophen- und Krisenmanagementdienst (Emergency Management Service)	53
2.2.4.6 Dienst für Sicherheitsanwendungen (Security Service)	53
2.2.5 Entwicklung von Value adding-Services.....	53
2.2.6 Copernicus in Deutschland.....	55
2.3 Generelle Anmerkungen zu den Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Dienste und -Daten für DAS-Indikatoren	56
2.3.1 Nutzungsmöglichkeiten der Fernerkundungs-/Sentinel-Daten	57
2.3.2 Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Dienste	58
2.3.3 Nutzungsmöglichkeiten der Value adding-Service.....	60
2.3.4 Nutzungspotenziale jenseits von Copernicus	62
3 Weiterentwicklung von DAS-Indikatoren	64
3.1 Vorgehensweise	64

3.2	Fernerkundungsparameter mit besonderem Potenzial zur Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren	69
3.3	(Weiter-)Entwicklungen von DAS-Indikatoren	74
3.3.1	BAU-R-1: Erholungsflächen	74
3.3.2	WW-R-X: Umfang von Ackerbau im Deichvorland	81
3.4	Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung des DAS-Indikatorensystems	95
3.4.1	Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Dauergrünlandfläche“ (BO-R-2)	95
3.4.2	Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden“ (BO-I-1).....	101
3.4.3	Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Gewässerstruktur“ (WW-R-2).....	107
3.4.4	Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Blaualgenebelastung von Badegewässern“ (GE-I-6).....	109
3.4.5	Ergänzung des DAS-Indikators „Potenzieller und realer Windenergieertrag“ (EW-I-4) durch einen Indikator zum Solarstromertrag	112
3.4.6	Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Schneedecke für den Wintersport“ (TOU-I-4).....	115
3.4.7	Weitere Qualifizierung der Aussagen zu Siedlungs- und Verkehrsflächen	119
3.5	Laufende Weiterentwicklungen von Indikatoren im Meeresbereich.....	126
3.5.1	WW-I-9 „Meeresspiegel“ und WW-I-10 „Intensität von Sturmfluten“	126
3.5.2	WW-I-8 „Wassertemperatur des Meeres“ und TOU-I-1 „Badetemperaturen an der Küste“	131
4	Weiterentwicklung des Copernicus-Programms	138
4.1	Allgemeine Erfahrungen und Empfehlungen	138
4.1.1	Erfahrungen aus der Verarbeitung von Satellitendaten und der Nutzung von Copernicus-Diensten	138
4.1.2	Generelle Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Copernicus-Programms	142
4.2	Ansätze zur Weiterentwicklung der einzelnen Copernicus-Dienste und -Produkte	145
4.2.1	Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Landüberwachung	145
4.2.1.1	Ansätze zur Weiterentwicklung der globalen Komponente	145
4.2.1.2	Ansätze zur Weiterentwicklung der pan-europäischen Komponente	146
4.2.1.3	Ansätze zur Weiterentwicklung der lokalen Komponente	148
4.2.2	Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre	148
4.2.3	Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt	149

4.2.4	Ansätze zur Weiterentwicklung des Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes.....	149
4.3	Vorschläge für den Dienst zur Überwachung des Klimawandels	150
4.4	Weiterentwicklung der Sentinel Satelliten	152
5	Literaturverzeichnis	154

Anhang:

- Anhang 1: Liste der DAS-Indikatoren
- Anhang 2: Ergebnisse der Lückenanalyse zum DAS-Indikatorensystem
- Anhang 3: Überblick über die aktuellen Copernicus-Produkte
- Anhang 4: Fortschreibung der DAS-Hintergrundpapiere
- Anhang 5: Indikator-Factsheets

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ablaufschema für das Vorgehen im Vorhaben	34
Abbildung 2:	Sentinel 1	42
Abbildung 3:	Zeitplan für den Start der Sentinel-Satelliten.....	43
Abbildung 4:	„Wertschöpfungskette“ der Copernicus-Dienste.....	44
Abbildung 5:	Aktueller Stand der Entwicklung der Copernicus-Dienste	45
Abbildung 6:	Kategorisierung von Indikationsmöglichkeiten.....	67
Abbildung 7:	Indikator BAU-R-1 „Erholungsflächen“	75
Abbildung 8:	Landbedeckung im Stadtgebiet München auf der Basis des Copernicus Urban-Atlas 2012.....	77
Abbildung 9:	Landbedeckung im Stadtgebiet München auf der Basis des LBM-DE2012	78
Abbildung 10:	Weiterentwickelter Indikator BAU-R-1 „Erholungsflächen“	80
Abbildung 11:	Auszug aus dem Riparian Zone Layer (hier: Landbedeckung und Landnutzung) am Beispiel eines Flussabschnitts der Ems	83
Abbildung 12:	Auszug aus dem Riparian Zone Layer (hier: Abgrenzung von Auenflächen) am Beispiel eines Flussabschnitts der Ems	84
Abbildung 13:	Auszug aus der Zusammenstellung von Länderinformationen aus den Hochwassergefahrenkarten nach HWRM-RL durch die BfG ..	86
Abbildung 14:	Vergleich der Auenabgrenzung und Kulisse des Kartendienstes Flussauen des BfN und der Potential Riparian Zone für einen Teil des Flussgebiets der Weser.....	87
Abbildung 15:	Vergleich der Auenabgrenzung des Kartendienstes Flussauen des BfN und der Potential Riparian Zone für einen Teil des Flussgebiets der Weser – Detailabgrenzung	88
Abbildung 16:	Prüfung der Überschneidung von HQ ₁₀₀ -Flächen mit den Potential Riparian Zones (Sachsen-Anhalt).....	91
Abbildung 17:	Prüfung der Überschneidung von HQ ₁₀₀ -Flächen mit dem RPZ LC/LU Datensatz (Sachsen-Anhalt)	91
Abbildung 18:	Indikator WW-R-X „Umfang von Ackerbau im Deichvorland“ – Variante 1	94
Abbildung 19:	Indikator WW-R-X „Umfang von Ackerbau im Deichvorland“ – Variante 2.....	94
Abbildung 20:	Indikator BO-R-2 „Dauergrünlandfläche“	95
Abbildung 21:	Änderung der Grünlandfläche (1999-2010) auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte	99
Abbildung 22:	Veränderung des Anteils der Grünlandfläche an der LF (1999-2010) auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte.....	100

Abbildung 23:	Indikator BO-I-1 „Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden“	101
Abbildung 24:	Copernicus SWI-Datensatz im Sommer 2015 (links) und Winter 2015 (rechts)	105
Abbildung 25:	Gemittelter SWI-Datensatz für landwirtschaftliche Flächen.....	106
Abbildung 26:	SWI-Werte im Jahresverlauf 2015 für ein ausgewähltes Pixel in Nordbayern.....	107
Abbildung 27:	Indikator WW-R-2 „Gewässerstruktur“	108
Abbildung 28:	Green linear elements	109
Abbildung 29:	Indikator GE-I-6 „Blualgenbelastung von Badegewässern“ ...	110
Abbildung 30:	Auszug aus der Web-Applikation eoApp – Cyanobakterienbelastung von Seen der Mecklenburger Seenplatte am 19.7.2014	111
Abbildung 31:	Indikator EW-I-4 „Potenzieller und realer Windenergieertrag“.	113
Abbildung 32:	Globalstrahlung in Deutschland	114
Abbildung 33:	Entwicklung des Jahresmittels der Globalstrahlung für Deutschland	114
Abbildung 34:	Indikator TOU-I-4 „Schneedecke für den Wintersport“	115
Abbildung 35:	CryoLand – Fractional Snow Cover Datensatz	116
Abbildung 36:	EURAC – Snow Cover Datensatz.....	117
Abbildung 37:	EURAC – Snow Cover Duration Map für das Jahr 2014/2015 ...	118
Abbildung 38:	Snow Cover Duration Map für den deutschen Alpenraum.....	118
Abbildung 39:	Tage mit Schneebedeckung im Alpenraum	119
Abbildung 40:	Datenlücken im High Resolution Layer Imperviousness	122
Abbildung 41:	Indikator WW-I-9 „Meeresspiegel“	126
Abbildung 42:	Indikator WW-I-10 „Intensität von Sturmfluten“	127
Abbildung 43:	Auszüge aus einem Datensatz zum Meeresspiegelanstieg des Marine Monitoring Service	130
Abbildung 44:	Indikator WW-I-8 „Wassertemperatur des Meeres“	132
Abbildung 45:	Indikator TOU-I-1 „Badetemperaturen an der Küste“	133
Abbildung 46:	Auszüge aus dem NetCDF File zur Meeresoberflächentemperatur des Marine Monitoring Service	134
Abbildung 47:	SST-Datensatz des BSH exemplarisch für die Ostsee	135
Abbildung 48:	Badetemperaturen-Daten des BSH exemplarisch für die Deutsche Bucht	136

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Indikatoren in den Handlungsfeldern.....	35
Tabelle 2:	Tabellarische Übersicht zur den Ergebnissen der Lückenanalyse	40
Tabelle 3:	Parameter-Liste aus dem „Invitation to Tender“ für den Dienst zur Überwachung des Klimawandels	51
Tabelle 4:	Zusammenführung der Ergebnisse aus der Lückenanalyse zum DAS-Indikatorensystem und der Recherchen zum Copernicus-Programm – Beispiel aus dem Handlungsfeld Bauwesen.....	64
Tabelle 5:	Wichtige auf Fernerkundungsdaten basierende Parameter für die DAS.....	70
Tabelle 6:	Vergleich von Städtischen Grünflächen (LBM-DE) bzw. Green urban areas (Urban Atlas)	79
Tabelle 7:	Vergleich der Flächenabdeckung der Hochwassergefahrenbereiche nach HWRM-RL und der Potential Riparian Zone (Anteil an der Landesfläche).....	90
Tabelle 8:	Vergleich der Acker- und Grünlandnutzung in der Potential Riparian Zone am Beispiel der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz.....	92
Tabelle 9:	Grünlandverluste – Vergleich der Berechnung aus dem Change-Datensatz CLC und statistischen Daten für Deutschland	98
Tabelle 10:	Vergleich Imperviousness-Layer (20 m-Auflösung) und Versiegelungsmodellierung	125

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
AATSR	Advanced Along-Track Scanning Radiometer
AGEE-Stat	Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik
ASTER GDEM	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BNetzA	Bundesnetzagentur
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
C3S	Copernicus Climate Change Service

CAMS	Copernicus Atmosphere Monitoring Service
CCI	Climate Change Initiative
CDR	Climate Data Record
CLC	Corine Land Cover
CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
CM SAF	Satellite Application Facility on Climate Monitoring
JRC	Joint Research Centre
DAS	Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel
DEM	Digital Elevation Model
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DMP	Dry Matter Productivity
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EEA	European Environment Agency
EUMETSAT	European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
ECV	Essential Climate Variable
ESA	European Space Agency
FAPAR	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation
FCover	Fraction of Green Vegetation Cover
FP7	Seventh Framework Programme
GCOS	Global Climate Observing System
GEO	Group on Earth Observations
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
GHRSSST	Group of High Resolution Sea Surface Temperature
GIO	GMES Initial Operations
GLE	Datensatz zu Green linear elements (Copernicus Riparian Zone Layer)
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
HRL	High Resolution Layer
H SAF	Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LAI	Leaf Area Index
LABO	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz
LIKI	Länderinitiative Kernindikatoren
LCC	Land Cover Changes

LCLU	Land cover / land use
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LSA SAF	Land Surface Analysis Satellite Application Facility
LST	Land Surface Temperature
LUCAS	Land Use and Coverage Area frame Survey
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
LWF	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
MACC	Monitoring Atmospheric Composition and Climate
MFF	Multiannual Financial Framework
MMU	Minimum Mapping Unit (kleinste kartierbare Einheit)
MMW	Minimum Mapping Width (kleinste kartierbare Breite)
MSG	Meteosat Second Generation
MTG	Meteosat Third Generation
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NDWI	Normalized Difference Water Index
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
O3M SAF	Satellite Application Facility on Ozone and Atmospheric Chemistry Monitoring
OSI SAF	Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility
SAF	Satellite Application Facility
SLSTR	Sea and Land Surface Temperature Radiometer
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SST	Sea Surface Temperature
StBA	Statistisches Bundesamt
SuV	Siedlungs- und Verkehrsfläche
SWI	Soil Water Index
TOC-R	Top of Canopy Reflectance
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VCI	Vegetation Condition Index
VPI	Vegetation Productivity Index
WRRL	Europäische Wasserrahmen-Richtlinie

Kürzel für die DAS-Handlungsfelder und -Querschnittsthemen

BAU	Bauwesen
BO	Boden

BS	Bevölkerungsschutz
BD	Biologische Vielfalt
EW	Energiewirtschaft
FI	Fischerei
FiW	Finanzwirtschaft
FW	Wald und Forstwirtschaft
GE	Menschliche Gesundheit
IG	Industrie und Gewerbe
LW	Landwirtschaft
RO	Raum-, Regional- und Bauleitplanung
VE	Verkehr, Verkehrsinfrastruktur
WW	Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz
TOU	Tourismuswirtschaft

Zusammenfassung

Zielsetzung

Zentrales Ziel des Vorhabens war es zu prüfen, inwieweit das indikatorbasierte Monitoringsystem zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) von den neuesten Daten und Produkten des Europäischen Copernicus Programms zur Erdbeobachtung profitieren könnte. Neben der Ausarbeitung konkreter Vorschläge zusätzlicher oder verbesserter DAS-Indikatoren sollten aus diesen Analysen außerdem allgemeine Schlussfolgerungen zum Potenzial des Copernicus-Programms für das Umweltmonitoring auf nationaler Ebene abgeleitet sowie Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Programms und zur Umsetzung auf der nationalen Ebene ausgesprochen werden.

Hintergrund

Die 102 DAS-Indikatoren bilden eine wesentliche Grundlage für die regelmäßige Berichterstattung des Bundes zur Umsetzung der DAS. Sie geben mit Bezug auf die 15 Handlungsfelder und Querschnittsthemen der DAS einen Überblick über die Betroffenheit durch Auswirkungen des Klimawandels (Impact-Indikatoren) und über die in den jeweiligen Bereichen bereits initiierten Anpassungsprozesse (Response-Indikatoren). Das DAS-Indikatorenset weist trotz seines bereits großen Umfangs und seiner thematischen Breite aufgrund z. T. fehlender oder unzureichender Daten Lücken auf. Neben den offensichtlichen Lücken durch nicht mit Indikatoren belegte thematische Felder, die inhaltlich aber von Interesse sind, ergeben sich auch Anforderungen an eine weitere Optimierung der bestehenden Indikatoren. Letzteres betrifft u. a. die Verbesserung der räumlichen Abdeckung vor allem für die sogenannten Fallstudien-Indikatoren, die aufgrund eingeschränkter Datenverfügbarkeit auf ausgewählte Räume innerhalb Deutschlands beschränkt sind, oder methodische Verbesserungen, welche die „Treffsicherheit“ der auf den Indikatoren basierenden Aussagen und Interpretationen erhöhen können. Im Rahmen des Vorhabens wurde eine systematische Lückenanalyse des DAS-Indikatorensystems vorgenommen. Auf die identifizierten Lücken konzentrierte sich dann im weiteren Vorhabenverlauf die Suche nach möglichen Ergänzungen und Verbesserungen der DAS-Indikatoren durch Daten aus dem Copernicus-Programm.

Das Copernicus-Programm (ehemals GMES) umfasst seit 1998 die Erhebung, Verarbeitung und Bereitstellung von Erdbeobachtungsdaten zur Untersuchung umwelt- und sicherheitsrelevanter Fragestellungen über den Status der Erde. Das Programm gliedert sich in drei Hauptkomponenten:

1) Space Komponente des Copernicus Programms:

Das Herz der Satellitenfernerkundung unter Copernicus ist die Satellitenreihe „Sentinel“. Sie umfasst insgesamt sechs Satellitenmissionen, die eine Reihe unterschiedlicher Technologien und Sensoren tragen und damit verschiedene Anwendungen der Erdbeobachtung ermöglichen. Jede Mission stützt sich dabei auf zwei einzelne Satelliten (A und B), um langfristig eine hohe zeitliche Abdeckung der Satellitenaufnahmen sicherzustellen. Der Zeitplan sieht eine kontinuierliche Komplettierung des Systems bis in das Jahr 2020 vor und plant eine Fortführung des Messsystems mit weiteren Satelliten, um langfristig eine hohe zeitliche Abdeckung der Satellitenaufnahmen sicherzustellen.

2) Service-Komponente (Copernicus-Dienste):

Innerhalb der Service-Komponente von Copernicus sind grundsätzlich zwei Gruppen von Diensten zu unterscheiden: zum einen die sechs thematischen Copernicus-Kerndienste (im Folgenden als „Dienste“ bezeichnet), die kostenfrei zu Verfügung gestellt werden, zum anderen die meist von kommerziellen Dienstleistern angebotenen Downstream- oder auch Value adding-Services, die aus den Sentinel Daten und den Kerndiensten entwickelt werden.

Die sechs Kerndienste umfassen:

- ▶ den Dienst zur Landüberwachung (Land Monitoring Service), der Informationen zur Landbedeckung (inklusive Binnengewässer), zum Vegetationszustand sowie zum Wasser- und Kohlenstoffkreislauf liefert. Derzeit sind 25 Produkte verfügbar, 13 davon in der sogenannten globalen Komponente, acht in der pan-europäischen Komponente, drei in der lokalen Komponente und ein Produkt in der In situ-Komponente;
- ▶ den Dienst zur Überwachung der Atmosphäre (Atmosphäre Monitoring Service: CAMS). Dieser stellt Informationen über die atmosphärische Zusammensetzung, Luftqualität, Ozonschicht, UV-Strahlung, Solarenergie, Emissionen und andere treibende Faktoren des Klimas zur Verfügung;
- ▶ den Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt (Marine Monitoring Service: CMEMS) der verschiedenen Ozeanparameter umfasst wie z. B. die Meeresoberflächentemperatur, die Meeresspiegelhöhe, Eisbedeckung und Eisdrift, den Salzgehalt, die Wasserfärbung (Chlorophyll / Algen) und Meeresströmungen und außerdem Informationen zur Bekämpfung von Ölverschmutzungen liefert;
- ▶ den Dienst zur Überwachung des Klimawandels (Climate Change Service: C3S), der als Querschnittsdienst angelegt ist. Er befindet sich derzeit noch in der Aufbauphase und wird von einer Reihe von Forschungsvorhaben unterstützt;
- ▶ den Katastrophen- und Krisenmanagementdienst (Emergency Management Service), der in erster Linie der Unterstützung von Rettungsmaßnahmen nach großflächigen Katastrophen dient. Die Mapping Komponente des Dienstes leistet generell kein kontinuierliches Monitoring von Katastrophenereignissen, sondern operiert nur auf konkrete Anfrage;
- ▶ den Dienst für Sicherheitsanwendungen (Security Service), der sich mit der Überwachung der EU-Außengrenzen, der maritimen Überwachung und der Unterstützung von EU-Einsätzen außerhalb Europas beschäftigt. Dabei spielen insbesondere die Überwachung bestehender Abkommen, die Überwachung kritischer Infrastruktur, Migration und Grenzüberwachung sowie Konflikt- und Krisenmanagement eine Rolle.

Die Entwicklung von Value adding-Services läuft generell außerhalb des Rahmens des Copernicus-Programms, nutzt aber die kostenlosen und frei zugänglichen Datenquellen von Copernicus (Satellitendaten und Dienste). Die Bereitstellung der Value adding-Services erfolgt auf Initiative und unter Verantwortung der jeweiligen Nutzergruppe, die auch die Finanzierung und Verfügbarkeit gewährleisten muss.

3) In situ-Komponente:

Zu den In situ-Komponenten des Copernicus-Programms zählen Daten aus Bodenstationen sowie flugzeug- und seegestützte Beobachtungsinfrastrukturen. In situ-Daten dienen insbesondere der Kalibrierung und Validierung der Daten aus der Satellitenfernerkundung. Bisher ist geplant, nur auf national bereits existierende In situ-Datensätze und -Programme zurückzugreifen. Dies ist mit dem Problem verbunden, dass sich die sehr unterschiedlicher Messnetze und Auswertungsmethoden in den europäischen Ländern kaum harmonisieren und zu einer gemeinsamen frei zugänglichen Datengrundlage zusammenführen lassen.

In Deutschland gibt das nationale Copernicus-Maßnahmenprogramm einen Rahmen für die Nutzung von Copernicus vor. Das nationale Maßnahmenprogramm soll ermöglichen, dass Bürger, Unternehmen und Verwaltung (auf Bundes-, Landes- und kommunaler Ebene) in Deutschland vom europäischen Copernicus-Programm profitieren.

Im Rahmen des Vorhabens wurden Recherchen zum aktuellen Entwicklungsstand des Copernicus-Programms durchgeführt. Sie bildeten die Grundlage für die Gegenüberstellung mit den identifizierten Lücken im DAS-Indikatorensystem.

Prüfung der Möglichkeiten von Lückenschlüssen im DAS-Indikatorensystem mithilfe von Daten und Informationen aus der Satellitenfernerkundung

Generell birgt die Nutzung von Daten und Informationen aus der Satellitenfernerkundung (und hier insbesondere aus dem Copernicus-Programm) die im Folgenden dargestellten Potenziale für das Klimafolgenmonitoring und speziell für die Weiterentwicklung des DAS-Indikatorensystems. Zugleich bestehen aber auch Einschränkungen, die realistisch wahrgenommen werden müssen.

Satellitendaten ermöglichen vor allem die flächenhafte Beobachtung einer Vielzahl relevanter Umweltparameter in relativ hoher zeitlicher Auflösung (täglich bis monatlich). Einschränkungen der Nutzung von Satellitendaten ergeben sich aus der gegenüber In situ-Messungen oft geringeren Messgenauigkeit. Zudem entsprechen die aus Satellitendaten direkt ableitbaren Parameter in vielen Fällen nicht unmittelbar den für das Monitoring erwünschten Zielparametern. Satellitendaten werden dementsprechend für das Umweltmonitoring zumeist als (flächenhafte) Ergänzung von In situ-Daten und als Input für Modelle genutzt.

Von besonderem Wert für das Klimafolgenmonitoring sind die Produkte der pan-europäischen Komponente und der lokalen Komponente aus dem Copernicus-Dienst zur Landüberwachung. Diese stellen hochauflösende Karten zu Landbedeckung (z. B. Versiegelung, Grünländer, Flussgebiete, städtische Gebiete) mit einem Aktualisierungsrhythmus von drei Jahren zu Verfügung. Mit Blick auf diese Daten ergeben sich mehrere Überschneidungen mit DAS-Themen, insbesondere im Bereich der Response Indikatoren (Anpassung der Landnutzung).

Daneben sind Produkte aus der globalen Komponente aus dem Dienst zur Landüberwachung von großem Interesse für das Klimafolgenmonitoring. Hier sind vor allem Vegetationsparameter (Vegetationsindex – NDVI, Leaf Area Index – LAI), die Oberflächentemperatur sowie die Bodenfeuchte zu nennen. Diese Produkte sind geeignet, die Dynamik von Prozessen der Landoberflächen in hoher zeitlicher Auflösung (Tage bis Wochen) darzustellen und damit zum Beispiel Effekte einer Sommer-trockenheit zu analysieren. Trotz der hohen Relevanz ergeben sich jedoch nur wenig konkrete Anwendungsmöglichkeiten für die DAS Indikatoren, da die Beziehung zwischen dem konkreten Indikationsgegenstand der DAS Indikatoren (z. B. landwirtschaftlicher Ertrag) und dem Fernerkundungsprodukte (z. B. NDVI) zu indirekt ist. Grundsätzlich gibt es aber ein hohes Potenzial für Weiterentwicklungen an dieser Schnittstelle.

Auch die Produkte aus dem Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt liefern wertvolle Hinweise auf Klimafolgen. Hier sind insbesondere Informationen zur Temperatur, zum Meeresspiegel sowie Informationen zu Algen und Cyanobakterien zu nennen.

Die Produkte des Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre haben weniger Verbindung zu den DAS-Indikatoren. Während die DAS-Indikatoren auf die Impactebene (Klimafolgewirkungen) und die Responses (Anpassungsmaßnahmen) fokussieren, nimmt der Dienst zur Überwachung der Atmosphäre die Klimaveränderungen selbst in den Blick. Nutzungspotenziale mit Blick auf die DAS-Indikatoren bestehen im Bereich Aerosole, Ozon und Solarstrahlung.

Die Produkte aus dem Katastrophen- und Krisenmanagementdienst sind insofern für DAS-Indikatoren interessant, als sie Informationen über die Häufigkeit und Ausdehnung von Hochwasser bereitstellen. Die derzeitige Struktur des Dienstes, der Daten und Informationen nicht kontinuierlich, sondern nur auf Anfrage bereitstellt, widerspricht jedoch der Nutzung zu kontinuierlichen Monitoringzwecken.

Daneben existieren einige für DAS-Indikatoren interessante Parameter, die aus Satellitendaten abgeleitet werden können, aber zurzeit noch nicht als frei zugängliche Copernicus-Produkte bereitgestellt werden. Dazu gehören zum Beispiel die Schneebedeckung sowie Informationen zu Binnengewässern (wie Temperatur, Chlorophyll, Cyanobakterien).

Aus der detaillierten Gegenüberstellung der im Zuge der Analyse des DAS-Indikatorensystems identifizierten Lücken mit den verfügbaren Copernicus-Daten, -Produkten und -Diensten ergaben sich konkrete Ansatzpunkte für den Lückenschluss im DAS-Indikatorensystem. Allerdings ergab die differenziertere Auseinandersetzung mit den Satellitendaten und Auswertungsmöglichkeiten zum Zwecke der Generierung von DAS-Indikatoren große Unterschiede in der Operationalisierbarkeit. Nicht immer liegt die Berechnungsmethode der Indikatoren auf der Hand. So lassen sich manche Indikatoren vergleichsweise unmittelbar aus Copernicus-Daten oder -Produkten ableiten, in anderen Fällen ergibt sich jedoch die Notwendigkeit, zusätzliche Datensätze hinzuzuziehen oder auch auf Value adding-Services zuzugreifen.

Konkrete Erprobungen zur (Weiter-)Entwicklung von DAS-Indikatoren

Die differenzierten Betrachtungen und Erprobungen zur Nutzbarkeit von Satellitendaten für DAS-Indikatoren im Rahmen des Vorhabens ergaben, dass sich Copernicus-Dienste konkret und unmittelbar für die (Weiter-)Entwicklung von zwei Indikatoren zu den DAS-Handlungsfeldern „Bauwesen“ sowie „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz“ nutzen lassen:

- ▶ BAU-R-1 „Erholungsflächen“: Der aktuelle DAS-Indikator ist als Proxy-Indikator und als Fallstudie angelegt und stellt den Anteil der Erholungs- und Friedhofsflächen an den Siedlungs- und Verkehrsflächen in Kernstädten der Agglomerationsräume dar. Die Berechnung des aktuellen DAS-Indikators beruht aus verschiedenen Gründen auf Vereinfachungen, die eine Interpretation des Indikators erschweren. Für eine Verbesserung lassen sich Fernerkundungsdaten nutzen, um zum einen zu einer gegenüber der Flächenstatistik gezielteren Ansprache der für Erholungszecke relevanten Flächenkategorien zu kommen und zum andern für ganz Deutschland Aussagen zu treffen. Am Beispiel der drei Großstädte Berlin, München und Köln wurden vergleichende Auswertungen basierend auf dem Urban Atlas des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung („Green urban areas“) und dem Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2012) des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie durchgeführt. Aufgrund der Vorteile des Urban Atlas (höhere räumliche Auflösung und Anwendung einer einheitlichen Methode für das gesamte Bundesgebiet) wurde eine bundesweite Auswertung für 50 Städte unter Nutzung der Kategorie der „Green urban areas“ durchgeführt.
- ▶ WW-R-X „Umfang von Ackerbau im Deichvorland“: Ergänzend zu den im DAS-Indikatorenset enthaltenen Indikatoren WW-R-2 „Gewässerstruktur“ und BD-I-3 „Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen“, die bereits Maßnahmen des ökologischen Hochwasserschutzes ansprechen, wurde ein Indikator zur Landnutzung in der Aue bzw. im Deichvorland erprobt. Die Frage, ob in den Auen bzw. Deichvorländern hochwasser- / auenverträgliche Landnutzungsformen zum Einsatz gelangen, konnte bisher aus datentechnischen Gründen im DAS-Indikatorenset nicht adressiert werden. Im Rahmen des Vorhabens wurde geprüft, inwieweit Auswertungen zur Landnutzung auf der Grundlage des Copernicus-Produkts Riparian Zones aus der lokalen Komponente des Dienstes zur Landüberwachung oder des oben bereits genannten LBM-DE2012 eine Bearbeitung dieser Frage zulassen. Außerdem wurden unterschiedliche Optionen der Abgrenzung der Deichvorländer vergleichend diskutiert (Abgrenzung der „Riparian Zones“, der Hochwasserrisikogebiete gemäß der HWRM-RL und des Auenzustandsberichts von BMU & BfN 2000). Ein konkreter Indikatorvorschlag wurde basierend auf den Daten des „Riparian Zones“-Produkts entwickelt.

Mit Blick auf zwei weitere DAS-Indikatoren liegt die Nutzung von Copernicus-Produkten nahe. Dies sind WW-I-8 „Wassertemperatur des Meeres“ (auch in Verbindung mit TOU-I-1 „Badetemperaturen an der Küste“) und WW-I-9 „Meeresspiegel“ (auch in Verbindung mit WW-I-10 „Intensität von Sturmfluten“). Dabei ergab der Austausch mit dem BSH, das zum einen die nationale Fachkoordination des Copernicus-Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt innehat und zum anderen die Zulieferungen der beiden DAS-Indikatoren übernimmt, dass dieses ein großes Eigeninteresse daran hat, die Einbindung von Fernerkundungsdaten in die Generierung von DAS-Indikatoren voranzutreiben und dies teilweise auch bereits erfolgt. Dadurch ergab sich für das Vorhaben kein spezifischer Handlungsbedarf.

Über die genannten Indikatoren hinaus, für die konkrete Vorschläge der Operationalisierung ausgearbeitet werden konnten, wurde mit dem Vorhaben die Diskussion um weitere Indikatoren angestoßen, für deren Generierung aus Copernicus-Daten oder anderen Satellitendaten aufwändigere Verfahren erforderlich sind und / oder methodische oder datenbezogene Schwierigkeiten bei der Auswertung bestehen. Konkret wurde zu den folgenden Indikatoren gearbeitet:

- ▶ GE-I-6 „Blualgenbelastung von Badegewässern“ aus dem DAS-Handlungsfeld „Menschliche Gesundheit“: Ziel ist hier die Überführung der Fallstudie in einen bundesweiten Indikator. Auf der Grundlage von In situ-Daten können nur sehr wenige Seen betrachtet werden, da es an ausreichend hochfrequent erhobenen Daten zum Cyanobakterienvorkommen in Seen mangelt. Satellitengestützt ist ein sowohl zeitlich als auch räumlich hochaufgelöstes Monitoring der Blualgenbelastung möglich. Bisher gibt es allerdings hierzu kein frei verfügbares Copernicus-Produkt, sondern lediglich Value adding-Services (wie z. B. die von EOMAP entwickelte Webapplikation), die aber vielversprechende Auswertungsmöglichkeiten eröffnen würden.
- ▶ WW-R-2 „Gewässerstruktur“ aus dem DAS-Handlungsfeld „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz“: Der aktuelle DAS-Indikator entspricht dem Indikator „Gewässerstruktur“ der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI) und beschreibt den Grad der Abweichung der Gewässerstruktur vom natürlichen Zustand für „erheblich veränderte“ und „nicht erheblich veränderte“ Fließgewässer. Der Indikator erfasst lediglich Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet ab 10 km² und lässt sich nur alle sechs Jahre fortschreiben. Diskutiert wurde im Rahmen des Vorhabens, inwieweit eine Erfassung naturnaher flussbegleitender Vegetation mit Hilfe der Daten des „Riparian Zone Layers“, speziell des Layers „Green Linear Elements“ (GLE) möglich ist. Für eine Operationalisierung bedürfte es allerdings weiterer umfangreicher Überlegungen zur Qualifizierung der GLE mit Blick auf die genannte Fragestellung.
- ▶ BO-I-1 „Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden“ aus dem DAS-Handlungsfeld „Boden“: Der aktuelle DAS-Indikator basiert auf Daten des Deutschen Klimaatlas des DWD und verwendet die Berechnungsvorschriften des AMBAV-Modells (Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung). Der Indikator ist eine starke Vereinfachung der räumlich hoch differenzierten Verhältnisse von Böden und Witterung innerhalb Deutschlands. Grundsätzlich ist Bodenfeuchte mit Hilfe von Satellitendaten gut für offene, z. B. landwirtschaftlich genutzte, Flächen zu bestimmen, und Satellitendaten wären damit geeignet, die modellgestützten Daten durch Beobachtungsdaten zu ergänzen. Als Teil des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung wird unter der globalen Komponente ein Produkt zur Bodenfeuchte angeboten. Der sogenannte „Soil Water Index“ (SWI) ist voll operationell und wird täglich global in einer räumlichen Auflösung von 0,1° (in etwa 11 km) erhoben, was einer mit Blick auf die Auswertungsfrage groben räumlichen Auflösung entspricht. Konkrete Auswertungsmöglichkeiten und deren Validierung müssten im Detail erprobt und diskutiert werden.

- ▶ BO-R-2 „Dauergrünlandfläche“ aus dem DAS-Handlungsfeld „Boden“: Mit Blick auf den aktuellen DAS-Indikator wäre es vor allem von Interesse, zum einen differenzierter über Nutzungs- und Qualitätsunterschiede innerhalb des Grünlands und zum anderen innerhalb Deutschlands über räumliche Unterschiede der Grünlandentwicklung (Verlust- und Zugewinnregionen) berichten zu können. Die Fernerkundung erlaubt grundsätzlich eine stärkere Differenzierung, wobei eine solche bei den bisher angebotenen Produkten bzw. Datensätzen auch nur eingeschränkt operationalisiert worden ist. Relevant sind hier neben den bereits bundesweit vorliegenden Datensätzen von CORINE Land Cover (CLC) und LBM-DE2012 sowie deren Changes-Datensätze auch der allerdings noch in Entwicklung befindliche „HRL Grassland“ der pan-europäischen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung sowie der „Riparian Zones Layer“ und der Natura2000-Datensatz, beides Produkte der lokalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung, die jedoch räumlich auf die weiteren Aueflächen mittelgroßer und großer Flüsse bzw. die Natura2000 Gebiete beschränkt sind. Im Rahmen des Vorhabens wurden vergleichende Auswertungen der CLC- und LBM-DE2012 mit Daten der Flächenstatistik vorgenommen und diskutiert. In allen Fällen bedürfte es einer Validierung der Changes-Datensätze und weiterführender Überlegungen zur sinnvollen räumlichen Aggregation der Daten.
- ▶ EW-I-4 „Potenzieller und realer Windenergieertrag“ aus dem DAS-Handlungsfeld „Energiewirtschaft“: Der aktuelle DAS-Indikator stellt den jährlichen potenziellen Windenergieertrag in Deutschland der tatsächlichen Windstromerzeugung gegenüber und ermöglicht dadurch Rückschlüsse auf die unterschiedliche Qualität der Windjahre, die z. B. durch zu niedrige oder zu hohe Windstärken beeinflusst sein kann, sowie auf mögliche Auswirkungen für die Windenergiebranche. Auf der Grundlage von Satellitenfernerkundungsdaten zur Globalstrahlung wäre in Ergänzung zu diesem Indikator die Entwicklung eines Indikators zur Stromerzeugung aus Photovoltaik-Anlagen denkbar. Allerdings wären hierzu weiteren Details zur Verfügbarkeit zusätzlicher relevanter Datenquellen (u. a. zur regional installierten Leistung der Photovoltaik-Anlagen) und zur Konstruktion des Indikators erforderlich.
- ▶ TOU-I-4: Schneedecke für den Wintersport aus dem DAS-Handlungsfeld „Tourismuswirtschaft“: Der aktuelle DAS-Indikator stellt die durchschnittliche Anzahl von Tagen mit mindestens 30 cm Schneedecke in vier Skitouristischen Räumen („Alpen“, „Schwarzwald“, „Mittlere und zentrale Mittelgebirge“ sowie „Östliche Mittelgebirge“) dar und wurde in Zusammenarbeit mit dem DWD auf der Grundlage von Daten aus der Schneedeckenbeobachtung ermittelt. Die Berechnung ist vergleichsweise aufwändig. Eine Bestimmung der Schneebedeckung mittels Satellitendaten ist methodisch ausgereift und kann vollautomatisiert durchgeführt werden. Dies beweisen auch bereits vorliegende Value adding-Services (z. B. „Cryoland“ oder ein aus MODIS Daten entwickeltes Schneedeckenprodukt der EURAC). Ein Copernicus-Service zur Schneebedeckung ist derzeit nicht verfügbar, allerdings ist der Parameter „snow cover“ bzw. „snow area extent“ in aktuellen Ausschreibungen für die Dienste zur Überwachung des Klimawandels und zur Landüberwachung enthalten.
- ▶ RO-R-5 „Siedlungs- und Verkehrsfläche“ sowie RO-R-6 „Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen“ aus dem DAS-Querschnittsthema „Raum-, Regional- und Bauleitplanung“: Beide DAS-Indikatoren sind mit dem Problem konfrontiert, dass sich die für die Indikatorenausgabe relevante tatsächlich versiegelte Fläche aus der Flächenstatistik nicht unmittelbar entnehmen lässt. Für satellitenbildgestützte Informationen zu versiegelten Flächen bieten sich insbesondere die folgenden Datenquellen an: LBM-DE2012, „Riparian Zones“ und High Resolution Layer zur Versiegelung (HRL Imperviousness) der pan-europäischen Komponente des Dienstes zur Landüberwachung. Im Rahmen des Vorhabens wurden vergleichende Auswertungen zu den beiden räumlichen Auflösungen des HRL Imperviousness vorgenommen und

diskutiert. Da das Produkt bisher aber noch größere Datenlücken aufweist, lässt sich ein Indikator auf dieser Grundlage trotz der vielversprechenden Auswertungsmöglichkeiten noch nicht generieren.

Zur Dokumentation des DAS-Indikatorensystems wurde für jedes DAS-Handlungsfeld und -Querschnittsthema ein sogenanntes Hintergrundpapier erstellt und im Verlauf der Indikatorenentwicklung sukzessive fortgeschrieben, um den Diskussionsprozess zu den jeweiligen Indikationsmöglichkeiten festzuhalten. Diese Hintergrundpapiere wurden im Rahmen des Vorhabens fortgeschrieben, um auch die diskutierte Auswertungsmöglichkeit zu Satellitendaten entsprechend zu dokumentieren.

Aus der Erprobungsphase lässt sich schlussfolgern, dass Satellitendaten derzeit vor allem im Bereich der differenzierten Landnutzungserfassung konkrete und operationalisierbare Ansätze für die Generierung von DAS-Indikatoren liefern. Aber auch in diesem Bereich ließen sich weitere Optimierungen (u. a. differenziertere Nutzungserfassung, Validierung der Changes-Datensätze) herbeiführen, die der Generierung von DAS-Indikatoren zugutekämen. Insgesamt sind mehrere potenziell interessante Copernicus-Dienste und -Produkte noch in der Entwicklung und / oder Validierung, sodass ein abschließendes Urteil über die Nutzbarkeit von Copernicus für die DAS-Indikatoren derzeit noch nicht möglich ist. Im Bereich der Value adding-Services gibt es zahlreiche Entwicklungen vor allem im Bereich der Erfassung von Binnengewässern, die auch für die (Weiter-)Entwicklung von DAS-Indikatoren von großem Interesse wären, da damit eine bundesweit harmonisierte Datengrundlage zur Verfügung gestellt werden könnte. Da die Gewässererfassung im Zuständigkeitsbereich der Länder liegt, ist eine Zusammenstellung von In situ-Daten immer mit einem erheblichen Aufwand verbunden, bzw. der länderübergreifenden Auswertung sind (zumindest über die Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie hinausgehend) enge Grenzen gesetzt.

Generelle Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Copernicus Programms

Auf den im Rahmen des Vorhabens vorgenommenen Recherchen und Erprobungen ergeben sich zunächst die folgenden allgemeinen Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Copernicus Programms mit Blick auf die für das Umweltmonitoring auf nationaler Ebene relevanten Anforderungen:

- ▶ Die Bereitstellung der Sentinel Daten über das ESA Sentinel Scientific Data Hub sollte konsequent verbessert werden. Das umfasst verbesserte Downloadgeschwindigkeiten, die Zugänglichkeit des kompletten Sentinel-Archivs sowie die Bereitstellung von weiter prozessierten Daten.
- ▶ Die Bereitstellung und die Dokumentation der Copernicus Dienste Produkte über die jeweiligen Datenportale sollten verbessert werden. Das betrifft eine konsistentere und vereinfachte Gestaltung der Datenportale, eine verbesserte Dokumentation der Daten sowie eine Referenzierung der Copernicus Produkte zu anderen existierenden Produkten aus nicht-Copernicus Initiativen.
- ▶ Die Produkte der Copernicus Dienste sollten transparent und unabhängig validiert werden. Zwar liegen für die meisten Produkte in der ein oder anderen Form Validierungen und Qualitätshinweise vor, diese folgen aber über die Dienste und zum Teil über die Produkt hinweg keinen einheitlichen Standards und sind in den wenigsten Fällen von unabhängigen Stellen durchgeführt worden. Außerdem ist diese Information oft schwer oder gar nicht zugänglich. Viele Produkte werden außerdem bis jetzt als nicht oder nur teilweise validiert auf den Datenportals geführt (z. B. die hochauflösenden Produkte des Dienstes zur Landüberwachung).
- ▶ Die Weiterentwicklung der kostenfreien Copernicus-Dienste in Richtung der Auswertung konsistenter Zeitreihen für Monitoringaufgaben sollte konsequent vorangetrieben werden.

- ▶ Die Koordination und Information bezüglich der kommerziellen Value adding-Services auf europäischer Ebene sollte verbessert werden.
- ▶ Die In situ-Komponente sollte stärker in die Copernicus Dienste integriert werden.
- ▶ Um für nationale Monitoringaufgaben unter Nutzung von Copernicus-Produkten die nötige Absicherung zu haben, sollte auf nationaler Ebene ein systematischer Vergleich und Abgleich der Copernicus-Produkte mit nationalen amtlichen Datensätzen ähnlichen Inhalts erfolgen.
- ▶ Das erfolgreiche Konzept der nationalen Fachkoordinatoren sollte weitergeführt werden. Ihnen kommt für die verbesserte Nutzung von Satellitendaten eine wichtige Rolle zu, da sie nationale Nutzerinteressen gegenüber dem Copernicus Programm vertreten können, aber auch die Entwicklung von nationalen Value adding-Services mitgestalten können. In diesem Zusammenhang kommt auch der „Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland (CODE-DE)“ eine wichtige Rolle zu. Bei der Entwicklung von CODE-DE sollten die Fachkoordinatoren eingebunden werden.

Spezifische Empfehlungen zu Weiterentwicklung der Copernicus-Dienste und -Produkte

Über die allgemeinen Empfehlungen hinaus lassen sich mit Blick auf die Verbesserung der Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Dienste und -Produkte für das Umweltmonitoring im Allgemeinen und die Generierung von DAS-Indikatoren im Besonderen die folgenden Empfehlungen aussprechen.

Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Landüberwachung:

- ▶ Generell sollten in Zukunft konsequent Sentinel-Daten berücksichtigt werden. Dabei sollte nicht nur auf Daten in mittlerer Auflösung (Sentinel 3 Daten) zurückgegriffen werden, sondern auch die Verwendung der hochauflösenden Daten von Sentinel 1 und 2 angestrebt werden. Die Abgrenzung zur pan-europäischen Komponente müsste in diesem Fall diskutiert werden.
- ▶ Mindestens mittelfristig sollte die Konsistenz der Landbedeckungsinformation aller Datensätze der pan-europäischen und der lokalen Komponente gewährleistet werden. Eine weitere Harmonisierung der unterschiedlichen Landnutzungsdatensätzen (CLC, HRL) mit nationalen Datensätzen ist für nationale Monitoringaufgaben unerlässlich. Auch für mehrere DAS-Indikatoren sind Landnutzungsdatensätze und insbesondere auch validierte Changes-Datensätze von herausragendem Interesse.
- ▶ HRL Forest: Eine Unterscheidung von Baumarten bzw. Waldtypen innerhalb des Forest Layers wäre wünschenswert und wird von vielen Nutzern aus dem forstlichen Bereich gefordert.
- ▶ HRL Imperviousness: Datenlücken durch Bewölkung in den aktuellen Datensätzen sollten beseitigt werden. Auch sollten die Inkonsistenzen zwischen dem 20 m Datensatz und dem 100 m Datensatz über die Berücksichtigung des Veränderungslayers bereinigt werden.
- ▶ HRL Layer Grassland: Hier sollte eine möglichst weitgehende Differenzierung der unterschiedlichen Grünlandtypen angestrebt werden. Zumindest sollte eine Unterscheidung zwischen intensiver genutztem Wirtschaftsgrünland und naturnahem Grünländer möglich sein.
- ▶ Es fehlt zudem ein hochauflösender Dienst zum Thema Ackerflächen inklusive einer möglichen Klassifizierung der Fruchtarten bzw. Fruchtfolgen.
- ▶ Für die pan-europäische Komponente könnten neue Monitoringprodukte in hoher räumlicher Auflösung entwickelt werden. Hierzu zählen mögliche Produkte zu Binnengewässern, Schneebedeckung, Vegetationszustand, Bodenfeuchte sowie zu Wattflächen.
- ▶ Für die lokale Komponente kommt der konsistenten Weiterführung der Produkte „Urban Atlas“ und „Riparian Zones“, die sich im Rahmen dieses Vorhabens als sehr nützlich erwiesen haben, eine wichtige Rolle zu. Diese Produkte sollten auf nationaler Ebene mit den Datensätzen aus ATKIS abgestimmt werden. Auch die geplante (Weiter-)Entwicklung des Natura2000-Produkts wäre anzustreben.

Ansätze zur Weiterentwicklung der Dienste zur Überwachung der Atmosphäre, Meeresumwelt und des Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes:

- ▶ Für den Atmosphärendienst ist vor allem ein klarer Bezug zu den existierenden Produkten der EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring und des noch zu entwickelnden Copernicus-Dienstes zur Überwachung des Klimawandels herzustellen.
- ▶ Für den Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt ist vor allem die Weiterentwicklung der Altimetrie-Produkte mit Hilfe von Sentinel 3 und Sentinel 6 sowie der Produkten zu Chlorophyllgehalt, Meeresalgen, und Cyanobakterien, Sedimentfrachten (suspended matter) und Trübung mit Sentinel 2 anzustreben.
- ▶ Für den Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes wäre von Interesse zu prüfen, ob dieser auch für Monitoringzwecke ausgebaut werden kann. Dies würde ein kontinuierliches Monitoring z. B. von Hochwasserereignissen ab einer bestimmten Größe erfordern.

Vorschläge für den Dienst zur Überwachung des Klimawandels:

Der Dienst zur Überwachung des Klimawandels (Climate Change Service - auch C3S) ist als Querschnittsdienst angelegt und befindet sich noch in der Aufbauphase. Bis jetzt ist das Konzept sehr breit und offen angelegt. Dies bietet einerseits Raum für Vorschläge, andererseits erschwert es die Formulierung von konkreten Ansprüchen oder Verbesserungsvorschlägen. Wichtig wäre vor allem eine klare Abstimmung und Bezugnahme zu bestehenden europäischen Initiativen.

Folgende allgemeine Empfehlungen können ausgesprochen werden:

- ▶ Mit Blick auf die Klimadaten (Säule „Climate Data Store“) sollte eine klare Bezugnahme zu existierenden Initiativen zur Bereitstellung von konsistenten Klimadaten (z. B. Climate SAF) und Klimaszenarien (z. B. EURO-CORDEX) vorgenommen werden. An Daten wären hier neben den Klimadaten vor allem räumlich hochauflösende und Bias-korrigierte Klimaszenarien wünschenswert.
- ▶ Für den sektoralen Informationsdienst sollte das Profil der möglichen Produkte geschärft und eine Abstimmung mit dem EEA Indikatorensystem zu Klimawandel und der EEA Climate Adapt-Plattform vorgenommen werden.

Weiterentwicklung der Sentinel-Satelliten

Über Weiterentwicklungen der Copernicus-Dienste und Produkte hinaus sind auch technische Weiterentwicklungen der Sentinel-Satelliten erstrebenswert.

Für die Sentinel-Satelliten innerhalb des Copernicus-Programms ist in erster Linie Kontinuität erwünscht, um ein wirkliches Langzeitmonitoring zu ermöglichen. Das heißt, zukünftige Satelliten sollten die genau gleichen Charakteristika aufweisen wie die aktuelle Generation. Als neue Sensoren wären vor allem ein hochauflösender Thermalsensor, ein Hyperspektralsensor sowie multi-band Radar Konstellationen von Interesse, um die Möglichkeiten im Bereich des terrestrischen und aquatischen Monitoring weiter zu verbessern. Wichtig wäre in Zukunft zudem eine bessere Abstimmung zwischen den ESA Satelliten und den Satelliten anderer Satellitenbetreiber (z. B. Landsat, RapidEye) bezüglich Referenzsystemen, technischen Spezifikationen und gemeinsamen Produkten.

Summary

Objective

The central aim of the project was to examine the extent to which the indicator-based monitoring system of the German Strategy for Adaptation to Climate Change (DAS) could benefit from the latest data and products of the European Copernicus Programme for Earth Observation. Apart from elaborating concrete proposals for additional or improved DAS indicators this analysis should come to general conclusions about the potential of the Copernicus programme for environmental monitoring at the national level. The project also presents recommendations for further development of the programme and for its implementation at national level.

Background

The 102 DAS indicators constitute an essential basis for the regular reports produced by the federal government for the implementation of the DAS. They give an overview with respect to the 15 action fields and cross-sectional issues of the DAS relating to climate change impact (impact indicators) and concerning the already initiated processes of adaptation in the respective areas (response indicators). Despite its large scale and thematic breadth the DAS Indicator Set contains gaps due to missing or insufficient data. Apart from the obvious gaps in certain thematic fields that are not covered by indicators but would be of interest, there is also a demand for a further optimisation of the existing indicators. The issue of optimisation relates, amongst other topics, to improvement of spatial coverage, particularly of the so called case-study indicators, which are limited to selected areas within Germany due to insufficient data availability. Another issue of optimisation is methodological improvement that increases the accuracy of the message and the interpretation derived from the indicators. A systematic gap analysis of the DAS Indicator System has been undertaken within the project. Further investigation has been focused on these gaps for possible additions and improvements to the DAS indicators through data from the Copernicus programme.

Since 1998 the Copernicus programme (formerly GMES) has encompassed the collection, processing and provision of earth observation data to investigate environmental and safety-related questions about the status of the earth. The programme is divided into three main components:

1) The space component of the Copernicus programme:

The heart of the satellite remote sensing under Copernicus is the Satellite series "Sentinel". Sentinel comprises altogether six satellite missions that carry a number of different technologies and sensors and thus enable various applications of earth observation. Each Mission relies on two individual satellites (A and B) in order to ensure long-term high temporal coverage of satellite imagery. The schedule provides a continuous completion of the system up until 2020 and plans to continue the measuring system with further satellites, in order to ensure a long term high temporal coverage of satellite images.

2) The Service component (Copernicus services):

There are principally two groups of services to be distinguished within the service component of Copernicus: First, the six thematic Copernicus Core Services (hereafter referred to as "services") that are made available free of charge, and secondly, the downstream or value adding services, which are usually offered by commercial service providers, and which are developed based on the Sentinel data and the core services.

The six core services include:

- ▶ The service for land monitoring (Land Monitoring Service) that delivers information on the land-cover (including inland waters), vegetation condition as well as water and carbon cycle. Currently 25 products are available, 13 of which are contained within the so called global component, eight in the pan-European component, three in the local component and one product in the in situ component.
- ▶ The service for atmospheric monitoring (Atmospheric Monitoring Service: CAMS). This service provides information on atmospheric composition, air quality, the ozone layer, UV radiation, solar energy, emissions and other factors influencing the climate.
- ▶ The service for monitoring the marine environment (Marine Monitoring Service: CMEMS) of various ocean parameters including sea surface temperature, sea level, ice cover and ice drift, salinity, water colouring (Chlorophyll /algae) and sea currents, as well as the supply of information for oil spill response.
- ▶ The service for monitoring climate change (Climate Change Service: C3S), which is applied as a cross-sectional service. This service is currently still in the development phase and is supported by a number of research projects.
- ▶ The disaster and crisis management response service (Emergency Management Services), which is used primarily to support emergency measures in the aftermath of large-scale disasters. The mapping component of the service does not generally provide a continuous monitoring of catastrophic events, but operates only on specific request.
- ▶ The service for security applications (Security Service), which deals with the surveillance of the EU external borders, maritime surveillance and support for EU missions outside Europe. In particular, the monitoring of existing agreements, the monitoring of critical infrastructure, migration and border-monitoring as well as conflict and crisis management, play a role.

The development of value adding services generally runs outside the framework of the Copernicus programme, but uses the free and freely accessible data sources from Copernicus (satellite data and services). The provision of value adding services takes place on the initiative and under the responsibility of the user group, which must also guarantee their funding and availability.

3) In situ component:

The in situ component of the Copernicus programme includes data from ground stations as well as airborne and sea-based observation infrastructures. In situ data are used in particular for calibration and validation of data from satellite remote sensing. So far, it has been planned to rely only on national pre-existing in situ data sets and programmes. This is associated with the problem that the very different measurement networks and evaluation methods in European countries allow for little data harmonization and therefore hamper a common, merged and freely accessible data base.

In Germany, the national Copernicus programme of measures provides a framework for the use of Copernicus. The national programme of measures is designed to enable citizens, businesses and government (at federal, state and local levels) in Germany to benefit from the European Copernicus programme.

Within the framework of this project investigations were carried out with respect to the current level of development of the Copernicus programme. These investigations formed the basis for comparison with the identified gaps in the DAS Indicator System.

Examination of the possibilities of closing gaps in the DAS system of indicators using data and information from satellite remote sensing

In general, the use of data and information from satellite remote sensing (and in this case, particularly data and information from the Copernicus programme) offers the potential for climate impact monitoring presented below, especially for the development of the DAS Indicator System. However, at the same time there are also data constraints that must be taken seriously.

Satellite data enable, above all, the aerial observation of a large number of relevant environmental parameters in relatively high temporal resolution (daily to monthly). However, the use of satellite data is restricted by their lower measurement accuracy compared with in situ measurements. In addition, the parameters that are directly derivable from satellite data often do not conform entirely to the desired target parameters required for monitoring. Accordingly, within the context of environmental monitoring, satellite data are often used as aerial supplement to in situ data and as input for models.

Of particular value for Climate Impact Monitoring are the products of the pan-European and local components of the Copernicus services for land monitoring. These products represent high-resolution maps of land cover (e.g. soil sealing, grasslands, river basins, urban areas), which are available with an update every three years. Looking at this data there are several overlaps with the DAS themes, particularly in the field of response indicators (adaptation of land use).

In addition, products from the global component of the Land Monitoring Service are of great interest for climate impact monitoring, particularly the vegetation parameters (Vegetation Index – NDVI, Leaf Area Index – LAI), surface temperature and soil moisture. These products are suitable for representing the dynamics of land surface processes in high temporal resolution (days to weeks) and thus, for example, for the analysis of the effects of a summer drought. However, despite its high relevance there are few concrete application options for DAS indicators, because the relationship between the concrete indicator item of the DAS indicators (e.g. agricultural yield) and the remote sensing products (e.g. NDVI) is too indirect. However, fundamentally there is a high potential for further development with respect to this interface.

In addition, the products from the Marine Monitoring Service provide valuable information on climate impacts. Here information about temperature, sea level and information on algae and cyanobacteria can be mentioned in particular.

The products of the Atmosphere Monitoring Service have less connection to the DAS indicators. While the DAS indicators focus on the climate consequences (climate impacts) and responses (adaptation measures), the service's attention is on climate change itself. The potential for DAS indicators exist in the areas of aerosols, ozone and solar radiation.

The products from the Emergency Management Service are interesting for DAS indicators, as they provide information about the frequency and extent of flooding. However, the current structure of the service, where data and information are not provided continuously but only on request, is not compatible with use for continuous monitoring purposes.

There are also some interesting parameters for DAS indicators that can be derived from satellite data, however they are not yet available as freely accessible Copernicus products. These include, for example, snow cover as well as information on inland waters (such as temperature, chlorophyll, toxic blue-green algae).

The detailed comparison of the gaps identified from the analysis of the DAS Indicator System with available Copernicus data, products and services revealed concrete starting points for closing gaps in the DAS Indicator System. However, grappling with the satellite data and scrutinizing the possibili-

ties of analysing them for the purpose of generating DAS indicators, resulted in the emergence of major differences in the potential for operationalization. The method for the calculation of indicators is not always obvious. Thus, some indicators can be derived relatively directly from Copernicus data or products, whilst in other cases it is necessary to consult additional data sources or refer to other value adding services.

Specific tests for the (further) development of DAS indicators

The detailed consideration and testing of the utilisation of satellite data for DAS indicators within the framework of the project showed that Copernicus services can be applied specifically and directly for the (further) development of two indicators to the DAS action fields “construction” and “water regime, water management, coastal and marine protection”:

- ▶ **BAU-R-1 “recreation areas”:** The current DAS indicator is designed as a proxy indicator and as a case study, and portrays the proportion of recreational and cemetery areas with-in settlement and transport zones in the core cities within urban agglomerations. For various reasons, the calculation of the current DAS indicators is based on simplifications that complicate the interpretation of the indicator. For improvement, remote sensing data can be used on the one hand to enhance the specification of spatial categories relevant for recreation (in comparison to the available spatial statistics), whilst on the other hand allowing for conclusions that cover the whole area of Germany. Using the example of the three major cities of Berlin, Munich and Cologne, comparative evaluations were performed based on the Urban Atlas of the Copernicus land monitoring services (“Green urban areas”) and the digital land cover model for Germany (LBM DE2012) of the Federal Agency for Cartography and Geodesy. Due to the advantages of the Urban Atlas (higher spatial resolution and application of a uniform method for the whole of Germany), a nationwide evaluation of 50 towns using the category of “Green urban areas” was accomplished.
- ▶ **WW-R-X “extent of agriculture on land in front of dykes”:** In addition to the indicators WW-R-2 “structure of waters” and BD-I-3 “recovery of natural flooding areas” of the DAS indicator set, which already address measures of ecological flood control, one indicator was tested for land use on alluvial zones and land use of land in front of dykes, respectively. The question of whether the type of land use on alluvial plains and on land in front of dykes is appropriate for floodplain areas could so far not be addressed in the DAS indicator set, due to technical reasons related to the data. Within the scope of this project it was verified in how far the analysis of land use based on the Copernicus product Riparian Zones, stemming from the local component of the service for land monitoring or the above mentioned LBM DE2012, allows for work on this question. In addition, different options for the delimitation of land in front of dykes were compared and discussed (demarcation of the “Riparian Zones”, of the flood risk areas of the EU Floods Directive and of the report on the present condition of alluvial areas from BMU & BfN 2000). A concrete indicator proposal was developed based on the data from the “Riparian Zones” product.

Looking at two further DAS indicators, the use of Copernicus products becomes quite obvious. These are the WW-I-8 “marine water temperature” (in conjunction with TOU-I-1 “coastal bathing temperatures”) and WW-I-9 “sea level” (in conjunction with WW-I-10 “intensity of storm surges”). Within this context the BSH (Federal Maritime and Hydrographic Agency) was contacted as the entity that firstly, manages the national coordination of the Copernicus Marine Monitoring Service and secondly, takes over the data supply for these two DAS indicators. This revealed that the BSH has a large vested interest in fostering the integration of remote sensing data in the generation of DAS indicators,

and that this is partly already achieved. As a result there is no specific need for action from the project.

For the above mentioned indicators the project developed concrete proposals relating to their operationalisation. In addition, the project initiated discussion about further indicators, the generation of which face particular problems. These problems are either related to complex procedures and/or bear methodological or data related difficulties for their generation from Copernicus data or other satellite data. Concretely, the following indicators have been worked on:

- ▶ GE-I-6 “toxic blue-green algal blooms in bathing waters” from the DAS action field “Human Health”: The aim here is the transfer of the case study into a nationwide indicator. Based on in situ data, only very few lakes can be considered since the frequency of data collected for cyanobacteria occurrence in lakes is insufficient. With satellite supported data, both temporally and spatially high-resolution monitoring of the cyanobacteria strain is possible. However, at present there is no freely available Copernicus-product, only value adding services (such as those developed by the EOMAP web application), which nevertheless would open up promising analysis possibilities.
- ▶ WW-R-2 “structure of waters” from the DAS action field “water supply, water management, coastal and marine protection”: The current DAS indicator complies with the indicator “waters structure” taken from the Countries Initiative Core Indicators (LIKI) and describes the degree of divergence of the waters structure from its natural state for “heavily modified” and “not heavily modified” watercourses. This indicator includes only watercourses with a catchment area of at least 10 square kilometers and can only be updated every six years. Within the framework of the project, discussion concerned the extent to which it is possible to detect natural river-related vegetation using the “Riparian Zone Layers” data, specifically the “Green Linear Element” (GLE) layer. Operationalisation, however, would require further extensive consideration of the qualification of GLE with a view to the above mentioned issue.
- ▶ BO-I-1 “soil moisture levels in farmland soil” from the DAS action field “soil”: The current DAS indicator is based on data from the DWD’s (German Weather Service) German Climate Atlas and uses the calculation rules of the AMBAV model (agrometeorological model for calculating current evaporation). The indicator is a strong simplification of the spatially highly differentiated conditions of soil and weather conditions in Germany. Generally, satellite data is good for determining soil moisture in open spaces such as agricultural land. Satellite data would thus be appropriate for complementing the model-based data with observation data. A product for soil moisture is offered as part of the Copernicus Land Monitoring Service, available under the global component. The so called “Soil Water Index” (SWI) is fully operational and is acquired globally on a daily basis at a spatial resolution of 0.1 ° (approximately 11 km), which can be seen as rather coarse spatial resolution with respect to the question of concern. Concrete analysis options and their validation must be tested and discussed in detail.
- ▶ BO-R-2 “permanent pasture” from the DAS action field “soil”: Looking at the current DAS indicator it would be of particular interest to be able to report more sophisticatedly on the variations concerning the utilisation and quality of pastureland. It would also be of interest to be able to report on spatial differences of grassland development within Germany (regions of loss and gain). Remote sensing principally allows for a stronger differentiation. However, this differentiation has only partially be operationalised for the products and data sets offered so far. Of relevance here are the existing Corine Land Cover (CLC) and LBM DE2012 data sets, as well as their Changes data sets, which are currently available nationwide. In addition, of significance but still under development is the “HRL Grassland” data set from the pan-European component of the Copernicus Land Monitoring Service, as well as the “Riparian zones layer” and the Natura 2000 data sets, both products of the local component of the Copernicus Land

Monitoring Service. However, these products are spatially restricted to the floodplains of middle-sized and large rivers, and the Natura2000 areas, respectively. Under the project, comparative analyses of the CLC and LBM DE2012 with area statistics data were carried out and discussed. In all cases, a validation of the Changes data sets would be required as well as further consideration of a meaningful spatial aggregation of the data.

- ▶ EW-I-4 “potential and actual wind energy yields” from the DAS action field “energy industry”: The current DAS indicator compares the annual potential wind energy yield in Germany with the actual wind power generation, thus allowing for conclusions about the variable quality of yearly winds, which may be influenced, for example, by too low or too high wind strengths, as well as possible implications for the wind energy industry. In addition to this indicator, based on satellite remote-sensing data related to global radiation, the development of an indicator relating to the generation of electricity from photovoltaic systems could be considered. However, for this purpose further details would be required related to the availability of additional relevant data sources (amongst others, on the performance of regionally installed photovoltaic systems), and for the construction of the indicator.
- ▶ TOU I-4 “Snow cover for winter sports” from the DAS action field “tourism industry”: The current DAS indicator represents the average number of days with a snow pack of at least 30 cm in four ski resort areas (“Alps”, “Black Forest”, “middle and central low mountain range” and “eastern low mountain range”) and has been developed in cooperation with the DWD on the basis of data from the snow pack monitoring activities. The calculation is relatively complex. A determination of snow cover using satellite data is methodologically sound and can be carried out fully automatically. This is proved by the pre-existing value adding services (e. g. “Cryoland” or a snowpack product based on MODIS data developed by EURAC). A Copernicus service for snow cover is currently unavailable, but the parameter “snow cover” or “snow area extent” is included in the current tender for the Climate Change Service and Land Monitoring Service.
- ▶ RO-R-5 “land used for human settlements and transport infrastructure” and RO-R-6 “Settlement use in flood-risk areas” from the DAS cross-sectional issue “spatial, regional and physical development planning”: Both DAS indicators are confronted with the problem that the indicator statement relevant parameter of the actual sealed area cannot be obtained immediately from the area statistics. For satellite-image-based information on sealed surfaces in particular, the following data sources are offered: LBM-DE2012, “Riparian Zones” and the high resolution layer for soil sealing (HRL imperviousness) of the pan-European component of the Service for Land Monitoring. Within the framework of the project comparative analyses of the two spatial resolutions of HRL imperviousness were performed and discussed. As the product still has major data gaps, an indicator cannot yet be generated despite the promising analysis possibilities.

To document the DAS Indicator System for each DAS action field and for each cross-sectional issue, a background paper was created and updated successively during indicator development in order to record the discussion process on the respective indication possibilities. These background papers were updated during the course of the project in order to document the discussed analysis possibilities of satellite data.

From the testing phase it can be concluded that satellite data currently provide concrete and operationalized approaches for the generation of DAS indicators, mainly in the field of differentiated land use detection. However, even in this area further optimisations (amongst others, more refined land use detection and validation of the Changes data sets) could be achieved that would be of benefit to the generation of DAS indicators. Overall, a number of potentially interesting Copernicus services

and products are still in development and / or under validation. Therefore a final verdict on the usability of Copernicus for DAS indicators is not yet possible. In the field of value adding services, there are numerous developments, particularly in the area of the detection of inland waters, which would also be of great interest for the (further) development of DAS indicators, since it could support the provision of a nationwide harmonized data base. As the detection of waters is under state responsibility, a compilation of in situ data is always associated with considerable effort and the transnational analysis has severe limitations (at least when going beyond the requirements of the EC Water Framework Directive).

General recommendations for the further development of the Copernicus programme

Based on the investigations and trials made within the scope of this project, the following initial general recommendations for further development of the Copernicus programme can be given with a view to relevant requirements for environmental monitoring at the national level:

- ▶ Provision of the Sentinel data through the ESA Sentinel Scientific Data Hub should be consistently improved. This includes improved download speeds, access to the entire Sentinel archive and the provision of further processed data.
- ▶ Provision and documentation of Copernicus services products via the respective data portals should be improved. This relates to a more consistent and simplified design of data portals, improved documentation of data and a referencing of Copernicus products to other existing products from non-Copernicus initiatives.
- ▶ Products of Copernicus services should be validated transparently and independently. While, for most products validations and quality notes exist in one form or another, these do not follow any uniform standards with respect to the services and the products. What's more, they are only carried out by independent bodies in a few cases. In addition, this information is often difficult or impossible to access. Moreover, many products are listed in the data portal as not, or only partially, validated (e.g. the high-resolution products of the Land Monitoring Service).
- ▶ Further development of free Copernicus services towards the evaluation of consistent time series for monitoring tasks should be rigorously pursued
- ▶ Coordination and information relating to the commercial value adding services at European level should be improved.
- ▶ The in situ component should be more integrated into the Copernicus services.
- ▶ Systematic comparison and adjustment of Copernicus products with official national records of similar content should be undertaken at the national level in order to have the necessary protection for national monitoring tasks using Copernicus products.
- ▶ The successful concept of national technical coordinators should be continued. They play an important role for the enhanced use of satellite data, since they can represent the national interests of users vis-à-vis the Copernicus programme. They can also help in shaping the development of national value adding services. In this context, the "Copernicus Data and Exploitation Platform - Germany (CODE DE)" has an important role to play. Subject coordinators should be involved in the development of the CODE DE.

Specific recommendations for further development of Copernicus services and products

Beyond the general recommendations, the following recommendations can be articulated with a view to improving the possibilities for the utilisation of Copernicus services and products for environmental monitoring in general and the generation of DAS indicators in particular.

Approaches to the development of the Land Monitoring Service:

- ▶ In general, in future Sentinel data should always be considered. Thereby not only taking data in medium resolution (Sentinel 3) into account, but also aspiring to the use of Sentinel 1 and 2 data at high-resolution. In this case, the demarcation of the pan-European component would have to be discussed.
- ▶ At least in the medium term, the consistency of land cover information of all records of the pan-European and local components should be ensured. Further harmonization of the different land use data sets (CLC, HRL) with national data sets is essential for national monitoring tasks. Land use data sets, and particularly validated Change data sets, are of great interest for several DAS indicators.
- ▶ HRL Forest: A differentiation of tree species or forest types within the Forest Layers would be desirable and is demanded by many forest area users.
- ▶ HRL imperviousness: Data gaps caused by clouds in the current data sets should be eliminated. In addition, the inconsistencies between the 20 m data set and the 100 m data set should be adjusted by taking into consideration the change layer.
- ▶ HRL Layer Grassland: Here, the greatest possible differentiation of the different types of grassland should be sought. At the minimum, a distinction between intensively cultivated grassland and semi-natural grasslands should be possible.
- ▶ A high-resolution service relating to arable land, including a possible classification of crops or crop rotations, is also lacking.
- ▶ For the pan-European component, new monitoring products could be developed in high spatial resolution. These include possible products related to inland waters, snow cover, vegetation status, soil moisture and mudflats.
- ▶ For the local component, an important role will be played by the consistent further development of the “Urban Atlas” and “Riparian Zones” products, which have been found to be very useful in this project. These products should be harmonised at the national level with the ATKIS data sets. In addition, the planned (further) development of the Natura2000 product would be desirable.

Approaches for the further development of the Atmosphere Monitoring Service, the Marine Monitoring Service and the Emergency Management Service:

- ▶ The atmosphere service requires a clear link to both the existing EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring products and the still to be developed Copernicus Climate Change Service.
- ▶ For the Marine Monitoring Service, the following issues need to be sought after: Development of altimetry products with help from Sentinel 3 and Sentinel 6, as well as Chlorophyll content, marine algae, and cyanobacteria; sediment loads (suspended matter); and turbidity from Sentinel 2.
- ▶ With respect to the Emergency Management Service it would be of interest to examine whether this service can be expanded for monitoring purposes. This would require continuous monitoring, for example, of floods beyond a certain size.

Proposals for Climate Change Service:

The Climate Change service (also C3S) is designed as a cross-cutting service and is still in its construction phase. Until now, the concept has been very broad and open. On the one hand this allows for space for proposals, but on the other hand it hampers the formulation of concrete demands or suggestions for improvement. Of importance would be a clear alignment and reference to existing European initiatives,

The following general recommendations can be made:

- ▶ Looking at the climate data (column “Climate Data Store”), a clear reference to existing initiatives for providing consistent climate data (e.g. Climate SAF) and climate scenarios (e.g. EURO-CORDEX) should be made. Apart from climate data, high spatial resolution and bias-corrected Climate scenario data would be particularly desirable.
- ▶ For the sectoral information service, the profile of possible products should be sharpened and an alignment with the EEA indicator system to climate change as well as the EEA Climate Adapt platform should be carried out.

Development of Sentinel satellites

Beyond the advancements in Copernicus services and products, further technical developments of Sentinel satellites are desirable.

Primarily, continuity for the Sentinel satellites within the Copernicus programme is desirable in order to allow for genuine long term monitoring. That means, future satellites should have exactly the same characteristics as the current generation. With respect to new sensors, of particular interest are a high-resolution thermal sensor, a hyperspectral sensor as well as multi-band radar constellations, in order to further enhance potential in the field of terrestrial and aquatic monitoring. An improved co-ordination between ESA satellites and the satellites of other satellite operators (e.g. Landsat, RapidEye) regarding reference systems, technical specifications and common products, would also be of importance in the future.

1 Aufgabenstellung und Ziele

Im Februar 2015 wurde der erste Monitoringbericht zu Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS) veröffentlicht. Er ist Teil des ersten ressortübergreifenden Fortschrittsberichts der Bundesregierung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Das dem Fortschrittsbericht zugrunde liegende Indikatorensystem bezieht sich auf alle 15 Handlungsfelder und Querschnittsthemen der DAS und umfasst insgesamt 102 Indikatoren. Das Indikatorensystem ist als fortschreibbares System angelegt und soll in den nächsten Jahren mit fortschreitendem Kenntnisstand weiterentwickelt werden. Eine Weiterentwicklung des Systems kann auch dann von Interesse sein, wenn sich neue Datenquellen erschließen lassen. Zu diesen möglichen neuen Datenquellen gehören auch Fernerkundungsdaten.

Die intensive Diskussion um die Nutzungsoptionen des europäischen Copernicus-Programms, das von der europäischen Kommission ins Leben gerufen wurde und ein unabhängiges und leistungsstarkes europäisches Erdbeobachtungsprogramm installiert, führte zu Überlegungen, die Nutzbarkeit der speziell von Copernicus angebotenen Daten und Dienste für die Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren zu prüfen. So versprechen die besonderen Qualitäten von Fernerkundungsdaten neue Indikationsmöglichkeiten zur Darstellung von Sachverhalten, die sich bisher nicht mit dem Indikatorensystem abbilden ließen. Zugleich bietet das DAS-Indikatorensystem als gut strukturiertes und thematisch sehr breit angelegtes System, das zudem die Grundlage für eine in Zukunft regelmäßige Fortschreibung des Monitoringberichts liefert, ein interessantes Anwendungsfeld für die Erprobung des Einsatzes von Fernerkundungsdaten für das regelmäßige Monitoring. Die Weiterentwicklung des Copernicus-Programms kann davon profitieren, dass aus solchen probeweisen Anwendungen klare Nutzeranforderungen an seine Dienste herangetragen werden und die Weiterentwicklung damit besser fokussiert werden kann.

Ein weiteres zentrales Ziel des Vorhabens bestand darin, Grundlagen zu schaffen, um die umweltfachliche Anwendung der Satellitenfernerkundung voranzubringen und das Thema auch innerhalb des Umweltbundesamts (UBA) zu etablieren.

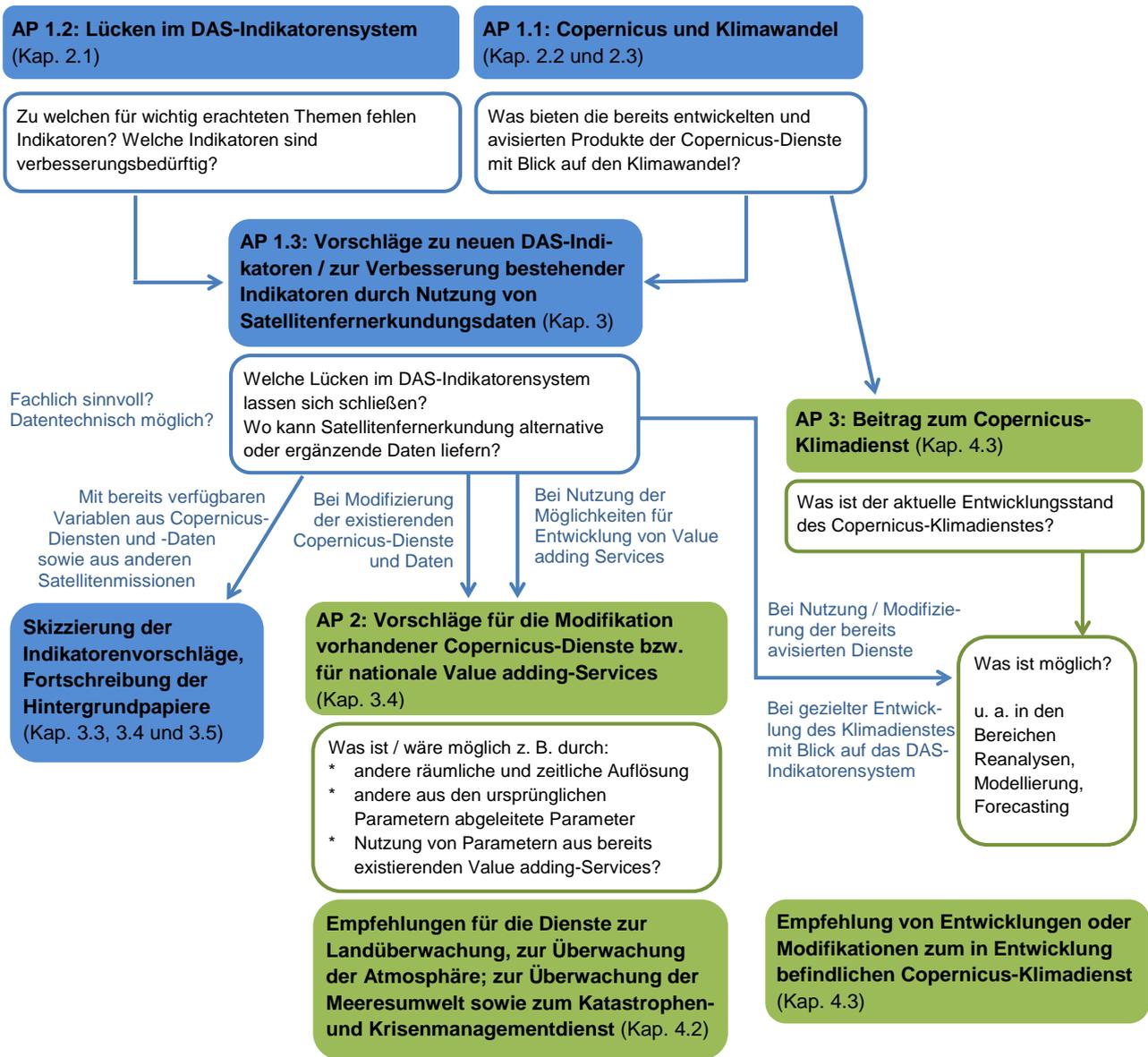
Im Rahmen des Vorhabens ging es darum, den Einsatz von Diensten und Daten aus dem Copernicus-Programm und aus anderen Satellitenfernerkundungsmissionen als Grundlage für die Entwicklung neuer bzw. die Anpassung bestehender DAS-Indikatoren zu untersuchen. Das UBA erwartete sich Aussagen zu Nutzen, Aufwand und Ressourceneinsatz sowie Hinweise darauf, ob und ggf. wie auf der Grundlage von Satellitendaten Lücken im Indikatorensystem der DAS geschlossen werden können. Ferner sollte das Vorhaben einen Beitrag zur (Weiter-)Entwicklung der bisherigen Dienste und des noch nicht im operationellen Betrieb befindlichen Copernicus-Klimadienstes liefern.

Das Vorhaben wurde in die folgenden Arbeitspakete gegliedert:

- ▶ **Arbeitspaket 1:** Analyse des DAS-Indikatorensets im Hinblick auf Anwendbarkeit von Methoden der Satellitenfernerkundung
- ▶ **Arbeitspaket 2:** Vorschläge für die Modifikation vorhandener Copernicus-Dienste
- ▶ **Arbeitspaket 3:** Beitrag zum Copernicus-Klimadienst
- ▶ **Arbeitspaket 4:** Projektmanagement
- ▶ **Arbeitspaket 5:** Berichte

Das Ineinandergreifen der verschiedenen Arbeitspakete und der darin durchzuführenden Arbeitsschritte illustriert Abbildung 1.

Abbildung 1: Ablaufschema für das Vorgehen im Vorhaben



2 Ausgangspunkte

Entsprechend der Zielsetzung des Vorhabens sind die beiden zentralen Ausgangspunkte der Arbeiten zum einen das DAS-Indikatorensystem (s. Kap. 2.1) und zum anderen das Copernicus-Programm (s. Kap. 2.2).

2.1 DAS-Indikatorensystem

2.1.1 Entwicklung, Aufbau und Dokumentation des DAS-Indikatorensystems

Die DAS-Indikatoren wurden in einem mehrjährigen Entwicklungs- und Abstimmungsprozess mit behördlichen Vertretern unterschiedlicher Ressorts auf Bundes- und teilweise auch Landesebene sowie nicht-behördlichen Fachexperten erarbeitet. Die Indikatoren geben mit Bezug auf die 15 Handlungsfelder und Querschnittsthemen der DAS einen Überblick über die Betroffenheit durch Auswirkungen des Klimawandels und über die in den jeweiligen Bereichen bereits initiierten Anpassungsprozesse. Insgesamt umfasst das DAS-Indikatorensystem 102 Indikatoren, 55 davon beschreiben Auswirkungen des Klimawandels (Impact-Indikatoren), 42 Anpassungsmaßnahmen oder Aktivitäten und Bedingungen, die den Anpassungsprozess beeinflussen (Response-Indikatoren). Fünf Indikatoren sind handlungsfeldübergreifende Indikatoren, die übergreifende Aktivitäten der Bundesregierung darstellen, mit denen der Anpassungsprozess an den Klimawandel unterstützt wird.

Für die Aufnahme der Indikatoren in das DAS-Indikatorensystem war letztendlich entscheidend, dass (s. SCHÖNTHALER & VON ANDRIAN 2015)

- ▶ für den Indikator ein enger inhaltlicher Zusammenhang mit der Thematik Klimawandel und Anpassung beschrieben ist: Im Fall der sogenannten „Impact-Indikatoren“ wird die Entwicklung des Indikators zumindest in Teilen durch Auswirkungen des Klimawandels beeinflusst, bzw. dies wird für die Zukunft erwartet (Klimawandelfolgen); die „Response-Indikatoren“ bilden Aktivitäten ab, die den Anpassungsprozess unterstützen, oder sie beschreiben ggf. auch Entwicklungen, die diesem Prozess zuwiderlaufen;
- ▶ Daten zur Generierung des Indikators zur Verfügung stehen: Dabei muss gesichert sein, dass die Daten auch in Zukunft für einen absehbaren Zeitraum bereit gestellt werden können, sich mit einem vertretbaren Aufwand und vertretbaren Kosten beschaffen lassen und bundesweite Auswertungen zulassen;
- ▶ der Indikator so verständlich ist, dass er von den Zielgruppen politische Entscheidungsträger und interessierte Öffentlichkeit erfasst werden kann und sich gut beschreiben und darstellen lässt.

Im DAS-Indikatorensystem sind alle Handlungsfelder und Querschnittsthemen der DAS berücksichtigt. Die wichtigsten thematischen Schwerpunkte von Klimawandelfolgen und Anpassungsaktivitäten innerhalb der einzelnen Handlungsfelder und Querschnittsthemen sind, sofern es die Daten erlauben, mit Indikatoren abgebildet. Aufgrund der unterschiedlichen thematischen Breite der Handlungsfelder und Datenverfügbarkeiten sind die Indikatoren nicht gleichmäßig auf die Handlungsfelder und Querschnittsthemen verteilt (s. Tabelle 1). Eine Gesamtliste aller bisherigen DAS-Indikatoren ist diesem Bericht in seinem Anhang 1 beigelegt.

Tabelle 1: Indikatoren in den Handlungsfeldern

Handlungsfelder und Querschnittsthemen	Impact-Indikatoren	Response-Indikatoren	gesamt
Menschliche Gesundheit	6	3	9
Bauwesen	2	3	5

Handlungsfelder und Querschnittsthemen	Impact-Indikatoren	Response-Indikatoren	gesamt
Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meereschutz	10	3	13
Boden	2	3	5
Biologische Vielfalt	3	2	5
Landwirtschaft	5	6	11
Wald und Forstwirtschaft	7	6	13
Fischerei	2	-	2
Energiewirtschaft (Wandel, Transport und Versorgung)	4	4	8
Finanzwirtschaft	3	1	4
Verkehr, Verkehrsinfrastruktur	2	-	2
Industrie und Gewerbe	1	1	2
Tourismwirtschaft	7	-	7
Raum-, Regional- und Bauleitplanung	-	6	6
Bevölkerungsschutz	1	4	5
gesamt	55	42	97
Handlungsfeldübergreifende Indikatoren	5		102

Quelle: Schönthaler & von Andrian 2015: 16 ff.

Das Indikatorensystem ist Grundlage für den in Zukunft regelmäßig fortzuschreibenden indikatoren-gestützten Monitoringbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Der 256 Sei-ten umfassende erste Monitoringbericht wurde im Februar 2015 nach einer umfassenden ressort-übergreifenden fachlichen und politischen Abstimmung fertiggestellt und publiziert (UBA 2015).

Alle in das DAS-Indikatorensystem aufgenommenen Indikatoren wurden ausführlich dokumentiert, um ihre Reproduzierbarkeit abzusichern. Hierzu wurden für jeden Indikator zwei Dokumente angelegt, ein Indikator- und ein Daten-Factsheet. Die Indikator-Factsheets begründen die Auswahl des Indikators, ordnen diesen in die Systematik des Indikatorensystems ein, legen die genaue Berechnungsvorschrift fest und verweisen auf die für die Berechnung genutzten Datenquellen. Sie diskutieren außerdem die Schwächen des Indikators hinsichtlich der Interpretierbarkeit, Datenverfügbarkeit und Verständlichkeit und legen die Verantwortlichkeiten bei der Fortschreibung fest. In den Daten-Factsheets werden die Grafiken generiert, über die die Indikatoren im Monitoringbericht präsentiert werden. Die Daten-Factsheets, die als Excel-Dateien angelegt sind, beinhalten dazu alle Datensätze, die zur Indikatorenberechnung bzw. -darstellung erforderlich sind, sowie die relevanten Metadaten über diese Datensätze. Auf der Grundlage der Datensätze werden in den Daten-Factsheets mithilfe mathematischer Formeln die Indikatorenwerte berechnet, was insbesondere dann von Bedeutung ist, wenn für die Indikatorenwerte mehrere Datensätze miteinander verrechnet werden (SCHÖNTHALER & VON ANDRIAN 2015: 17). Bei jeder Fortschreibung des DAS-Indikatorensystems sind auch die Indikator- und Daten-Factsheets anzupassen, bzw. es sind für neue in das System aufzunehmende Indikatoren zusätzliche Factsheets zu erstellen.

Ergänzend zu den Factsheets wurde begleitende zur Erarbeitung des DAS-Indikatorensystems für jedes DAS-Handlungsfeld und –Querschnittsthema ein sogenanntes Hintergrundpapier erstellt und im Verlauf der Indikatorenentwicklung sukzessive fortgeschrieben. In den Hintergrundpapieren wurde

der Diskussionsprozess dahingehend festgehalten, dass auch „Sackgassen“ von Indikatorenentwicklungen oder künftige Optionen für Indikatorenentwicklungen (z. B. durch neue Datenquellen oder auch methodische Ausarbeitungen) dokumentiert wurden, um dies bei einer künftigen Weiterentwicklung des Indikatorensystems berücksichtigen zu können. Bei einer Weiterentwicklung des DAS-Indikatorensystems sind auch diese Hintergrundpapiere fortzuschreiben. Die Hintergrundpapiere sind bisher nicht publiziert worden.

2.1.2 Lücken im DAS-Indikatorensystem, Weiterentwicklungsmöglichkeiten

Auch wenn der Monitoringbericht zu DAS und das dahinter liegende DAS-Indikatorenset mit 102 Indikatoren bereits sehr umfangreich und auch thematisch sehr umfassend sind, haben sich im Zuge der Indikatorenentwicklung Lücken aufgetan, die sich aufgrund fehlender oder auch unzureichender Daten nicht mit Indikatoren abbilden lassen, und bei deren Füllung sich die thematische Breite und Aussagekraft des DAS-Indikatorensets weiter verbessern ließen.

Eine systematische Analyse der Lücken im DAS-Indikatorensystem und eine Qualifizierung derselben im Hinblick auf grundsätzliche Ansatzpunkte für einen Lückenschluss mithilfe von Satellitendaten war ein wichtiger Ausgangspunkt für die weitere Überlegung zur Nutzung von Satellitendaten im Rahmen dieses Vorhabens. Die Lücken im DAS-Indikatorensystem können dabei ganz unterschiedliche Ursachen haben und müssen daher differenziert betrachtet werden. Im Folgenden sind die sechs wichtigen Lücken-Fälle beschrieben.

Als Grundlage für die Auswahl der DAS-Indikatoren wurden im Entwicklungsprozess der Indikatoren in einem ersten Schritt für jedes der DAS-Handlungsfelder und Querschnittsthemen sogenannte „Indikationsfelder“ differenziert für die Impact- und die Response-Ebene abgegrenzt. Dabei handelt es sich um thematische Unterpunkte, die möglichen „Indikandi“, also Indikationsgegenständen entsprechen, die sich mit konkreten Indikatoren abbilden lassen. Aus der Analyse der DAS selbst und ergänzenden Recherchen in der Literatur konnte eine Fülle von Indikationsfeldern abgeleitet werden. Diese wurden zum größten Teil noch weiter in „thematische Teilaspekte“ differenziert (SCHÖNTHALER & VON ANDRIAN 2015: 51 ff). Aufgrund der großen Zahl von Indikationsfeldern (es wurden insgesamt mehr als 200 Impact- und Response-Indikationsfelder beschrieben) musste der Auflistung der Indikationsfelder ein Selektionsprozess nachgeschaltet werden, um in nachvollziehbarer Weise thematische Schwerpunkte für die Indikatorenentwicklung festzulegen. Diese Priorisierung wurde mit der Unterstützung von Experten vorgenommen. Folgende Kriterien waren hierfür leitend: Thematische Relevanz, Abschätzung der Datenlage, Ursache-Wirkungsbezug zum Klima, Verständlichkeit, Betroffenheit, bundesweite Relevanz und Handlungsmöglichkeiten.

Die Priorisierung war leitend für die gesamte sich daran anschließende Diskussion möglicher Indikatoren. Ziel war, zu jedem der priorisierten Indikationsfelder zumindest einen Indikator entwickeln zu können. Nicht in jedem Falle war dies jedoch möglich. In den Hintergrundpapieren zu den DAS-Handlungsfeldern und Querschnittsthemen (s. Kap. 2.1.1), die Bestandteil des Dokumentationssystems zum DAS-Indikatorensystem sind, sind die nach der fachlichen und politischen Abstimmung in das System aufgenommenen Indikatoren den Indikationsfeldern in einer Übersicht zugeordnet. Daraus wird ersichtlich, für welche Indikationsfelder keine Indikatoren gefunden werden konnten. Die Gründe hierfür wurden ebenfalls in den Hintergrundpapieren erläutert.

Für die Handlungsfelder Biologische Vielfalt, Finanzwirtschaft, Industrie und Gewerbe sowie Bevölkerungsschutz wurde bei der DAS-Indikatorenentwicklung aus unterschiedlichen Gründen keine Priorisierung der Impact-Indikationsfelder vorgenommen. Für diese Handlungsfelder werden jeweils alle Indikationsfelder als priorisierte Indikationsfelder behandelt. Für die Response-Indikationsfelder wurde grundsätzlich keine Priorisierung vorgenommen. Sind in der Response-Kategorie einem Indikationsfeld keine Indikatoren zugeordnet, so ist auch dies als Lücke im DAS-Indikatorensystem zu interpretieren.

- ▶ Fall ①: Konnten einem priorisierten Indikationsfeld oder einem Response-Indikationsfeld **keine Indikatoren** zugeordnet werden, so lässt sich daraus eine inhaltliche Lücke im System ableiten. Es ist in diesen Fällen zu prüfen, inwieweit Satellitendaten eine geeignete Datenquelle sein können, um **neue DAS-Indikatoren** zu generieren.

Über diese inhaltlichen Lücken durch tatsächlich fehlende Indikatoren hinaus gibt es weitere Lücken im DAS-Indikatorensystem, die durch verbesserungsbedürftige Indikatoren entstehen.

So sind im DAS-Indikatorenset Indikatoren enthalten, die auf der Grundlage der verfügbaren Daten räumlich keine bundesweite Aussage ermöglichen. Diese Indikatoren wurden im DAS-Indikatorenset als sogenannte „Fallstudien“ klassifiziert. Sie zeigen anhand konkreter räumlich begrenzter Datensätze (z. B. nur für ein oder mehrere Bundesländer), welche Aussagen sich bei entsprechender Datenverfügbarkeit auch bundesweit generieren ließen. Sie stehen also immer stellvertretend für bundesweite Auswertungen und Darstellungen. So dient beispielsweise der Indikator BO-I-2 „Regenerosivität“ als thematischer Aufhänger für die Problematik der Bodenerosion. Da es kein bundesweites Erosionsmonitoring gibt, wurde mit der Regenerosivität eine die potenzielle Bodenerosion stark bestimmende Größe ausgewählt, die darüber hinaus im engen Zusammenhang mit dem Klimawandel zu sehen ist. Möglich ist aber derzeit nur eine Fallstudie für Nordrhein-Westfalen, wo im Rahmen einer Auftragsarbeit des LANUV NRW eine Datenreihe zur Regenerosivität für den Zeitraum 1973 bis 2007 erstellt wurde, die künftig auch fortgeschrieben werden soll. Solche Fallstudien-Indikatoren wurden allerdings nur dann in das DAS-Indikatorensystem aufgenommen, wenn eine konkrete Perspektive für die bundesweite Darstellung in Zukunft besteht.

- ▶ Fall ②: Konnten einem priorisierten Indikationsfeld oder einem Response-Indikationsfeld nur **Fallstudienindikatoren** zugeordnet werden, so lässt sich daraus eine inhaltliche Lücke im System ableiten. Es ist in diesen Fällen zu prüfen, inwieweit Satellitendaten eine alternative oder ergänzende Datenquelle sein können, um die **bestehenden DAS-Indikatoren** zu **verbessern** oder ggf. auch durch Indikatoren, die bundesweite Aussagen ermöglichen, zu **ersetzen**.

DAS-Indikatoren können außerdem als sogenannte „Proxy-Indikatoren“ lediglich eine Annäherung an den Indikationsgegenstand darstellen, zu denen es aber zum Zeitpunkt der Entwicklung des DAS-Indikatorensystems insbesondere aufgrund von Datenbeschränkungen keine Alternative gab. Sie müssen in Zukunft konzeptionell und / oder methodisch weiterentwickelt werden, um das jeweilige Indikationsfeld tatsächlich gut repräsentieren zu können. So basiert der Indikator BAU-R-1 „Erholungsflächen“ (in Kernstädten von Agglomerationsräumen) beispielsweise auf flächenstatischen Daten. Diese bringen mit Blick auf die konkrete Fragestellung verschiedene Unschärfen mit sich: Zunächst werden in der Flächenstatistik auch versiegelte Flächen den für den Indikator berücksichtigten Kategorien der Erholungsflächen und Friedhofsflächen zugeordnet. Diese bringen aber nicht die abzubildende Kühlungswirkung wärmebelasteter Räume. Außerdem geben die statistischen Daten keine Auskunft darüber, wo innerhalb des Gemeinde- / Stadtgebietes die Erholungsflächen liegen. Würden diese beispielsweise eher im Randbereich liegen, sind die positiven Effekte für die innerstädtischen Gebiete nur sehr begrenzt.

- ▶ Fall ③: Konnten einem priorisierten Indikationsfeld oder einem Response-Indikationsfeld nur **Proxy-Indikatoren** zugeordnet werden, so lässt sich daraus eine inhaltliche Lücke im System ableiten. Es ist in diesen Fällen zu prüfen, inwieweit Satellitendaten eine alternative oder ergänzende Datenquelle sein können, um die **bestehenden DAS-Indikatoren durch aussagekräftigere Indikatoren** zu **ersetzen**.

Im DAS-Indikatorenset sind außerdem einige Indikatoren enthalten, die nur so niederfrequent aktualisiert werden können, dass nicht bei jeder Fortschreibung des Monitoringberichts (alle vier Jahre

vorgesehen) neue Daten zur Verfügung stehen. So werden für den Indikator WW-R-2 „Gewässerstruktur“ beispielsweise nur alle sechs Jahre Daten für die Berichterstattung zur europäischen Wasserrahmenrichtlinie zur Verfügung gestellt.

- ▶ Fall ④: Können DAS-Indikatoren nur **niederfrequent** fortgeschrieben werden, ist eine Aktualisierung der Datenreihen nicht für jede Berichtsfortschreibung gesichert. Es ist in diesen Fällen zu prüfen, inwieweit **Ergänzungen** durch Satellitendaten eine **höherfrequente Aktualisierung** ermöglichen. Im Falle dieser Indikatoren ist allerdings zusätzlich kritisch zu prüfen, inwieweit die niederfrequente Datenaktualisierung inhaltlich begründet ist. So wird beispielsweise die Bundeswaldinventur, deren Daten mehreren Indikatoren im Handlungsfeld Wald und Forstwirtschaft zugrunde liegen, auch deshalb nur alle zehn Jahre wiederholt, da Veränderungen im Ökosystem Wald i. d. R. auch erst in diesen Zeiträumen kenntlich und messbar werden.

Neben diesen klar kennzeichenbaren Lücken gibt es weitere Indikatoren, die ihre Indikationsaufgabe bereits gut erfüllen und daher auch nicht als Fallstudien oder Proxy-Indikatoren eingestuft wurden, zu denen aber dennoch Weiterentwicklungsmöglichkeiten in den jeweiligen Indikator-Factsheets festgehalten wurden.

- ▶ Fall ⑤: Liegen für DAS-Indikatoren grundsätzlich **Weiterentwicklungsoptionen** nahe, kann geprüft werden, ob und inwieweit Satellitenfernerkundung zu einer solchen **Weiterentwicklung** oder auch **Ergänzung weiterer Sachverhalte** innerhalb des gleichen Indikators beitragen können.

Einige DAS-Indikatoren basieren auf kostenpflichtigen Daten oder die Berechnung ist mit einem hohen Aufwand verbunden.

- ▶ Fall ⑥: Für Indikatoren, die aus **kostenpflichtigen Daten** generiert werden, ist zu prüfen, inwieweit Satellitendaten **kostenlose Alternativen** darstellen können oder eine **weniger aufwändige** Berechnung der Indikatorwerte ermöglichen.

Zur Dokumentation der Lücken im DAS-Indikatorensystem erfolgte eine systematische Analyse für alle Handlungsfelder. Neben den offensichtlichen Lücken durch nicht mit Indikatoren belegte Indikationsfelder (Fälle ①, ② und ③), die sich unmittelbar aus dem DAS-Indikatorenset heraus erkennen lassen, wurden außerdem die Indikator-Factsheets und die Hintergrundpapiere daraufhin geprüft, in welchen Fällen noch Verbesserungsoptionen bzw. -notwendigkeiten bestehen (Fälle ④, ⑤ und ⑥).

Die Lückenanalyse fokussierte, sofern für die DAS-Handlungsfelder bei der DAS-Indikatorentwicklung eine Priorisierung der Impact-Indikationsfelder vorgenommen worden war, auf die priorisierten Indikationsfelder, um das thematische Spektrum der DAS-Indikatoren nicht zu sehr auszuweiten. Allerdings kam im damaligen Prozess der Priorisierung der Indikationsfelder auch das Kriterium der Datenverfügbarkeit zum Tragen, das nun – im Lichte der Möglichkeiten zur Nutzung von Satellitendaten – möglicherweise anders zu bewerten ist. Daher wurden auch die anderen Indikationsfelder in die Betrachtung einbezogen. Für den Fall, dass eine Möglichkeit zur Verwendung von Satellitendaten zur Indikation des jeweiligen Indikationsfelds gesehen wurde, wurde in der Analyse begründet, ob diese Möglichkeit mit Blick auf die ursprünglichen Priorisierungsgründe weiter verfolgt werden sollte.

Die Ergebnisse der Lückenanalyse wurden tabellarisch dokumentiert. Die Tabelle nimmt die Gliederung nach den DAS-Indikationsfeldern und thematischen Teilaspekten auf und ist – wie in Tabelle 2 dargestellt – gegliedert. Ergebnis der Lückenanalyse ist eine vorläufige Einschätzung, zu welchen

thematischen Teilaspekten eine weitere Diskussion der möglichen Nutzung von Satellitendaten sinnvoll erscheint (s. letzte Spalte von Tabelle 2). Dabei wurden die Einstufungen wie folgt vorgenommen:

- kein Anknüpfungspunkt erkennbar
- (X)** Weitere Diskussion erscheint nachrangig, da es für den thematischen Teilaspekt bereits einen funktionierenden Indikator gibt, oder ein ergänzender Indikator nur auf kompliziertem Wege generierbar erscheint
- X** weiter zu diskutierender Anknüpfungspunkt; Anknüpfung wäre wünschenswert

Tabelle 2: Tabellarische Übersicht zur den Ergebnissen der Lückenanalyse

Indikationsfeld (priorisierte Felder sind durch Fettdruck hervorgehoben)	Thematischer Teilaspekt	Indikatoren	Lückenfall	Generelle Ansatzpunkte für Nutzung von Satellitendaten	Weiter diskutieren
Gemäß DAS-Indikatorenprojekt	Gemäß DAS-Indikatorenprojekt	Gemäß DAS-Indikatorenprojekt	s.o.: ①, ②, ③, ④, ⑤ oder ⑥	Ideen für den Einsatz von Satellitendaten, zunächst ohne Rückkopplung mit den Ergebnissen aus AP 1.1	s.o.: -, (X) oder X

Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Anhang 2 dieses Berichts dokumentiert. Sie waren Ausgangspunkt für die Zusammenführung mit den Ergebnissen der Analyse des Copernicus-Programms zu den nutzbaren Daten und Diensten (s. Kap. 2.2).

2.2 Copernicus-Programm

2.2.1 Ziele und Funktionsweise des Copernicus-Programms

Das Programm Copernicus (bis 2012 unter dem Namen Global Monitoring for Environment and Security GMES) wurde 1998 von der europäischen Kommission mit dem Ziel lanciert, ein unabhängiges und leistungsstarkes europäisches Erdbeobachtungsprogramm zu installieren. Copernicus umfasst die Erhebung, Verarbeitung und Bereitstellung von Erdbeobachtungsdaten zur Untersuchung umwelt- und sicherheitsrelevanter Fragestellungen über den Status der Erde. Die Daten werden von einer Reihe unterschiedlicher Systeme erhoben, wobei Erdbeobachtungssatelliten die bedeutendste Rolle einnehmen (Space Komponente, s. Kap. 2.2.2). Diese stützen sich insbesondere auf die Entwicklung und den Betrieb der neuesten Satellitengeneration, den Sentinel-Satelliten, die ab dem Jahr 2014 nach und nach gestartet wurden bzw. werden. Darüber hinaus werden aber auch bestehende terrestrische, marine und flugzeuggestützte Messnetzwerke in das Copernicus Programm integriert (In situ-Komponente, s. Kap. 2.2.3). Alle Daten und Produkte aus dem Copernicus-Programm stehen den Nutzern generell kostenfrei zur Verfügung. Es ist dabei ein zentrales Anliegen des Programms, über die Datenerhebung und Datenbeschaffung hinaus auch eine Aufbereitung der Daten in Form von leicht zugänglichen Services bzw. Diensten bereitzustellen, die eine direkte Nutzung oder gute Weiterverarbeitung ermöglichen (Service-Komponente, s. Kap.2.2.4). Daher wurden sechs Copernicus-Dienste entwickelt, die sich in unterschiedliche thematische Bereiche gliedern.

Seit dem Jahr 2008 befindet sich Copernicus in der präoperationellen Phase. Im Jahr 2011 wurden erste operative Tätigkeiten in Betrieb genommen (GMES Initial Operations GIO). Copernicus wird von der europäischen Kommission koordiniert. Die Space Komponente wird dabei von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) und EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) durchgeführt. Die In situ-Komponente wird unter der Leitung der Europäischen Umweltagentur (EEA) durchgeführt, die Service-Komponente unter Leitung der europäischen Kommission und unter Mithilfe von EEA, JRC (Joint Research Centre), ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), Mercator Ocean, FRONTEX (Frontières extérieures for external borders), EMSA (European Maritime Safety Agency) und EUSC (European Union Satellite Centre). Im globalen Kontext trägt Copernicus damit zum Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), der internationalen Initiative zur Erdbeobachtung, die von der GEO (Group on Earth Observations) koordiniert wird, bei.

Das Copernicus-Programm ist langfristig angelegt. Bislang wurden 6 Milliarden Euro in die Entwicklung der Erdbeobachtungssatelliten investiert, weitere 2 Milliarden Euro in die Entwicklung der Dienste, die in der Struktur des Programms auch die In situ-Komponente einschließen. Die Finanzierung ist derzeit bis zum Jahr 2020 über das EU Multiannual Financial Framework (MFF 2014-2020) abgesichert. Die Finanzierung ab 2021 soll mit dem nächsten MFF gesichert werden. Feste Zusagen gibt es zwar noch nicht, jedoch kann von einer weiteren Finanzierung ausgegangen werden, insbesondere vor dem Hintergrund, dass bereits an der Planung der nächsten Sentinel-Generation gearbeitet wird. Dadurch wären die Kontinuität des Copernicus-Programms und eine durchgehende Satellitendatenerhebung bis mindestens 2030 gesichert. Die hohen Investitionen führen dazu, dass die Nutzung der Daten und Dienste seitens der EU und der Mitgliedsstaaten stark forciert wird. Potenzielle Nutzer sind vorwiegend politische Entscheidungsträger, Behörden, Wissenschaftler, die Industrie und generell auch interessierte Bürger.

Alle Informationen zum Copernicus-Programm werden zentral auf der Website des Programms bereitgestellt (www.copernicus.eu).

2.2.2 Space Komponente des Copernicus-Programms

Das Herz der Satellitenfernerkundung unter Copernicus ist die Satellitenreihe Sentinel. Sie umfasst insgesamt sechs Satellitenmissionen, die eine Reihe unterschiedlicher Technologien und Sensoren tragen und damit verschiedene Anwendungen der Erdbeobachtung ermöglichen. Jede Mission stützt sich dabei auf zwei einzelne Satelliten (A und B), um langfristig eine hohe zeitliche Abdeckung der Satellitenaufnahmen sicherzustellen:

- ▶ Sentinel-1 liefert Radar-Satellitenbilder für das Monitoring der Land- und Meeresoberfläche. Sentinel-1A wurde als erster Satellit im April 2014 gestartet (s. Abbildung 2).
- ▶ Sentinel-2 liefert hochauflösende, multispektrale optische Satellitenbilder für das Monitoring der Land- und Meeresumwelt. Sentinel-2A wurde im Juni 2015 gestartet. Der Start von Sentinel-2B ist für die zweite Jahreshälfte 2016 angekündigt.
- ▶ Sentinel-3 liefert optische Bilder in mittlerer Auflösung sowie altimetrische und radiometrische Daten für das Monitoring der Land- und Meeresoberfläche. Er ist erfolgreich am 16. Februar 2016 gestartet worden (die Daten sollen erstmalig im Mai 2016 auf ESA Living Planet Symposium in Prag vorgestellt werden, erste Bilder lassen sich inzwischen abrufen¹), Sentinel-3B wird 2017 folgen.
- ▶ Sentinel-4 soll die Zusammensetzung der Atmosphäre über Spektrometer überwachen und wird auf EUMETSAT Satelliten der Meteosat Third Generation (MTG) Reihe in geostationärem Orbit installiert. Die Sentinel-4 Mission soll 2021 gestartet werden.

¹ www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/First_views_of_Earth_from_Sentinel-3A

- ▶ Sentinel-5 widmet sich ebenfalls dem Monitoring der atmosphärischen Zusammensetzung und wird auf einem EUMETSAT Satelliten installiert, dem MetOp Second Generation Satellite in polarem Orbit. Um die Datenlücken zwischen dem im Jahr 2012 ausgefallenen ENVISAT Erdbeobachtungssatelliten und dem Start von Sentinel-5 im Jahr 2021 zu überbrücken, soll 2016 der sogenannte Sentinel-5 Precursor gestartet werden.
- ▶ Sentinel-6 wird über Radar-Altimeter Messungen des Meeresspiegels durchführen. Die Sentinel-6 Mission soll 2020 starten.

Abbildung 2: Sentinel 1

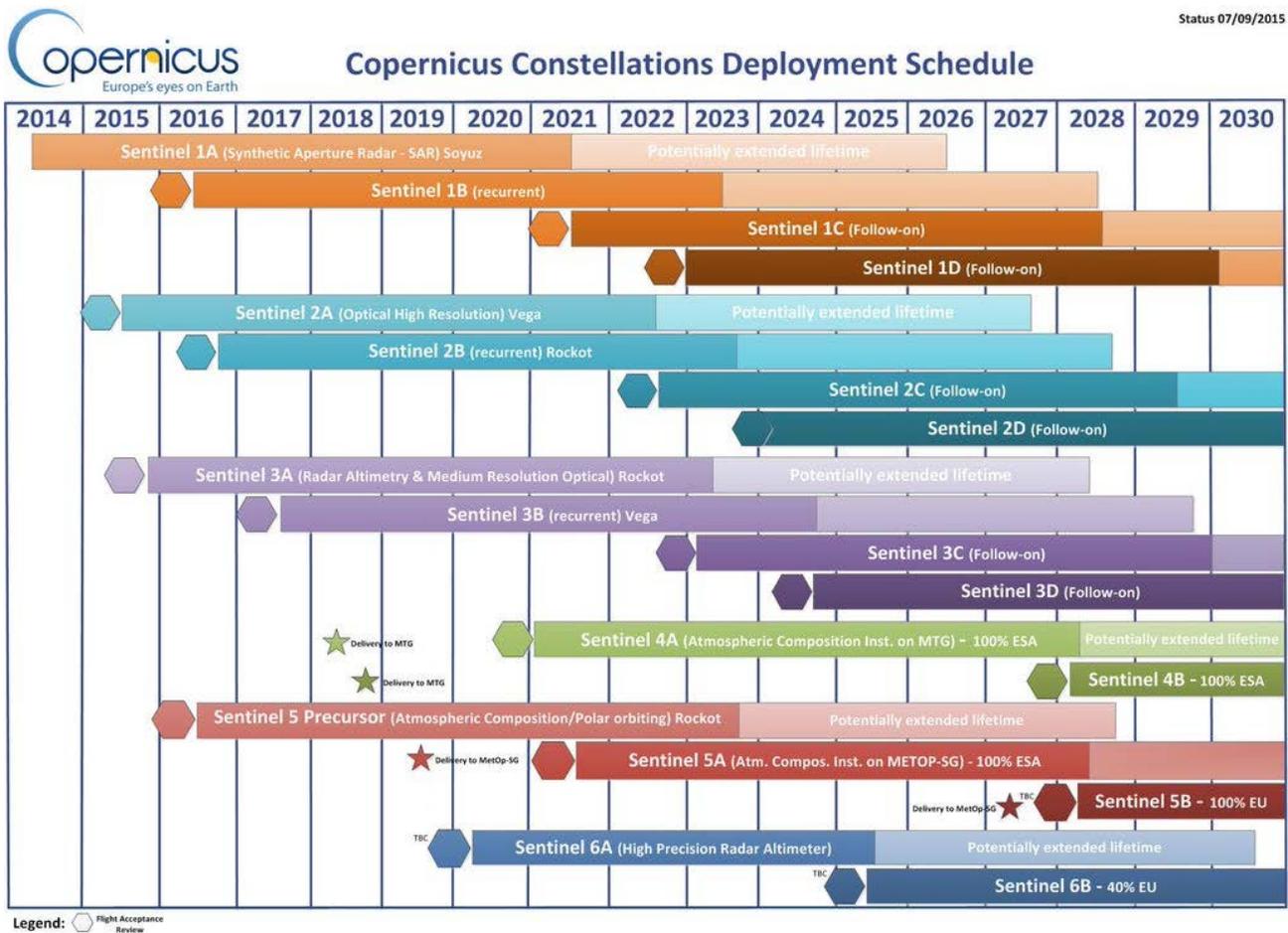


Quelle: www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1

Neben den derzeitigen bereits gestarteten, bzw. im Bau befindlichen A- und B-Satelliten der ersten Sentinel Generation, wird bereits an der zweiten Generation (C- und D-Satelliten) gearbeitet. In Abhängigkeit der Lebensdauer der A- und B-Satelliten (diese werden auf 12 Jahre konzipiert, erfahrungsgemäß funktionieren die Satelliten jedoch länger) sollen schließlich die C- und D-Satelliten gestartet werden, um langfristig eine kontinuierliche Datenerhebung zu gewährleisten. Abbildung 3 verdeutlicht die langfristige Planung in der Copernicus Space Komponente.

Um die Lücken in der Datenerhebung aus der Satellitenfernerkundung bis zum operationellen Einsatz aller Sentinel-Satelliten zu überbrücken, wird im Copernicus Programm auf die sogenannten contributing missions zurückgegriffen. Diese umfassen eine Reihe europäischer (z. B. TerraSAR-X, TanDEM-X, SPOT, CryoSat, Cosmo-SkyMed, MSG) und nicht-europäischer Satellitenmissionen (z. B. RADARSAT-2). Aktuell werden auf diese Weise etwa 30 Satelliten im Copernicus-Programm verwendet und fließen in die Produkte der Copernicus-Dienste ein. Auch wenn sich alle Sentinel-Satelliten 2021 in der operativen Phase befinden werden (bzw. vermutlich später, da sich der Start der einzelnen Satelliten erfahrungsgemäß verzögert), sollen über die contributing missions weiterhin komplementäre Daten im Copernicus-Programm genutzt werden.

Abbildung 3: Zeitplan für den Start der Sentinel-Satelliten



Quelle: Copernicus (<https://twitter.com/copernicuseu/status/642308403612753920>)

2.2.3 In situ-Komponente des Copernicus-Programms

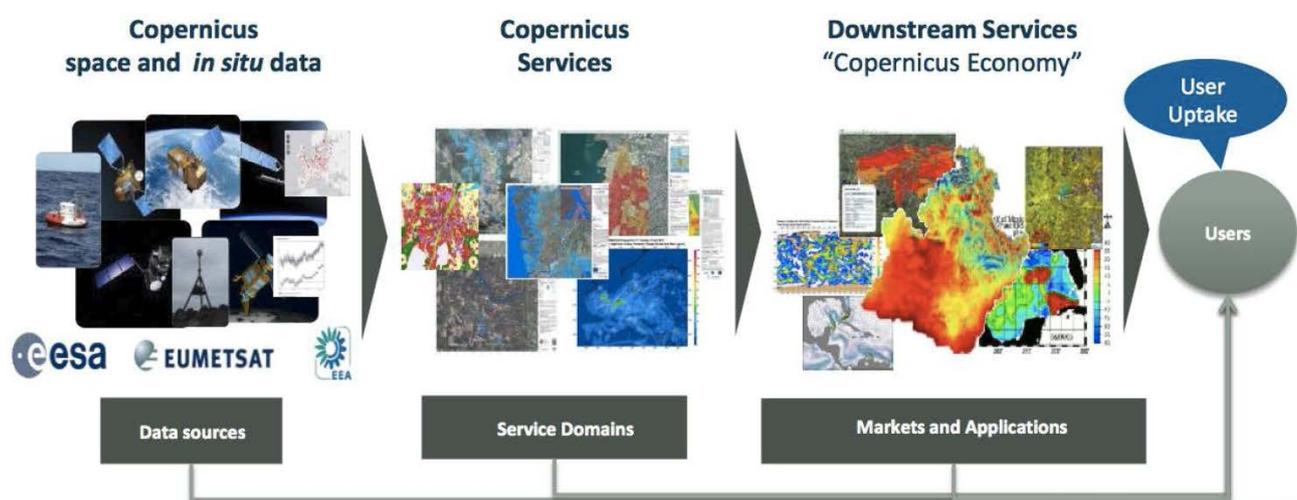
Die In-situ-Komponente des Copernicus-Programms wird als wesentliche Voraussetzung für die sachgerechte Nutzung der Satellitendaten gesehen. Unter Copernicus werden als In situ-Daten alle Daten verstanden, die von Sensoren stammen, die sich nicht im Weltraum befinden. Dazu zählen Daten aus Bodenstationen sowie flugzeug- und seegestützte Beobachtungsinfrastrukturen (meteorologische Messeinrichtungen, Sonden an Meeresbojen und Wetterballons, Flusspegel, Fernerkundungsinstrumente an Flugzeugen etc.). In situ-Daten dienen insbesondere der Kalibrierung und Validierung der Daten aus der Satellitenfernerkundung. Des Weiteren liefern sie aktuelle und präzise Informationen und Datensätze für Analysen und Modelle, die nicht aus Satellitendaten erhoben werden können. Auch die In situ-Daten werden für die Entwicklung von Copernicus-Produkten in den Diensten frei zugänglich gemacht.

Die In situ-Komponente wird jedoch im Rahmen des Programms noch eher „stiefmütterlich“ behandelt. Bisher ist nicht geplant, zusätzliche Daten zu erheben, sondern auf national bereits existierende in-situ Datennetze und Programme zurückzugreifen. Von einer operationellen Nutzung ist man noch weit entfernt. Hier besteht das Problem, dass sich die sehr unterschiedlicher Messnetze und Auswertungsmethoden in den europäischen Ländern kaum harmonisieren und zu einer gemeinsamen Datengrundlage zusammenführen lassen, unter anderem da die Hoheit über die Nutzbarmachung der in situ-Daten für Copernicus bei den Nationalstaaten liegt.

2.2.4 Service-Komponente des Copernicus-Programms

Die Dienste sind das zentrale Element von Copernicus, denn Copernicus versteht sich als nutzergesteuertes Programm, und die Dienste stellen die Schnittstelle zwischen den Nutzern und den durch Satellitendaten und In situ-Messungen gewonnenen Informationen dar. Dabei sind grundsätzlich zwei Gruppen von Diensten zu unterscheiden: zum einen die sechs thematischen Kerndienste, die kostenfrei in der Zuständigkeit der Europäischen Kommission durch das Programm zur Verfügung gestellt werden, zum anderen die sogenannten Downstream-oder auch Value adding-Dienste. Letztere werden aus den Informationen der Kerndienste bzw. direkt aus den Daten der Copernicus-Beobachtungssysteme und teilweise unter zusätzlicher Nutzung externer Daten von privaten oder öffentlichen Organisationen entwickelt (s. Kap. 2.2.5). Gemäß dieser „Wertschöpfungskette“ der Copernicus Service-Komponente sind die Value adding-Dienste enger an den jeweiligen Nutzerinteressen und konkreten Anwendungsfällen angegliedert und werden private Unternehmen stärker miteinbezogen (s. Abbildung 4).

Abbildung 4: „Wertschöpfungskette“ der Copernicus-Dienste



Quelle: Vortrag von Hugo Zunker / Europäische Kommission auf dem Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus 2015 am 04.11.2015

Die sechs Copernicus-Kerndienste (im Folgenden: Copernicus-Dienste) sind in sechs thematische Bereiche gegliedert:

- ▶ Dienst zur Landüberwachung (s. Kap. 2.2.4.1),
- ▶ Dienst zur Überwachung der Atmosphäre (s. Kap. 2.2.4.2),
- ▶ Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt (s. Kap. 2.2.4.3),
- ▶ Dienst zur Überwachung des Klimawandels (s. Kap. 2.2.4.4),
- ▶ Katastrophen- und Krisenmanagementdienst (s. Kap. 2.2.4.5),
- ▶ Dienst für Sicherheitsanwendungen (s. Kap. 2.2.4.6).

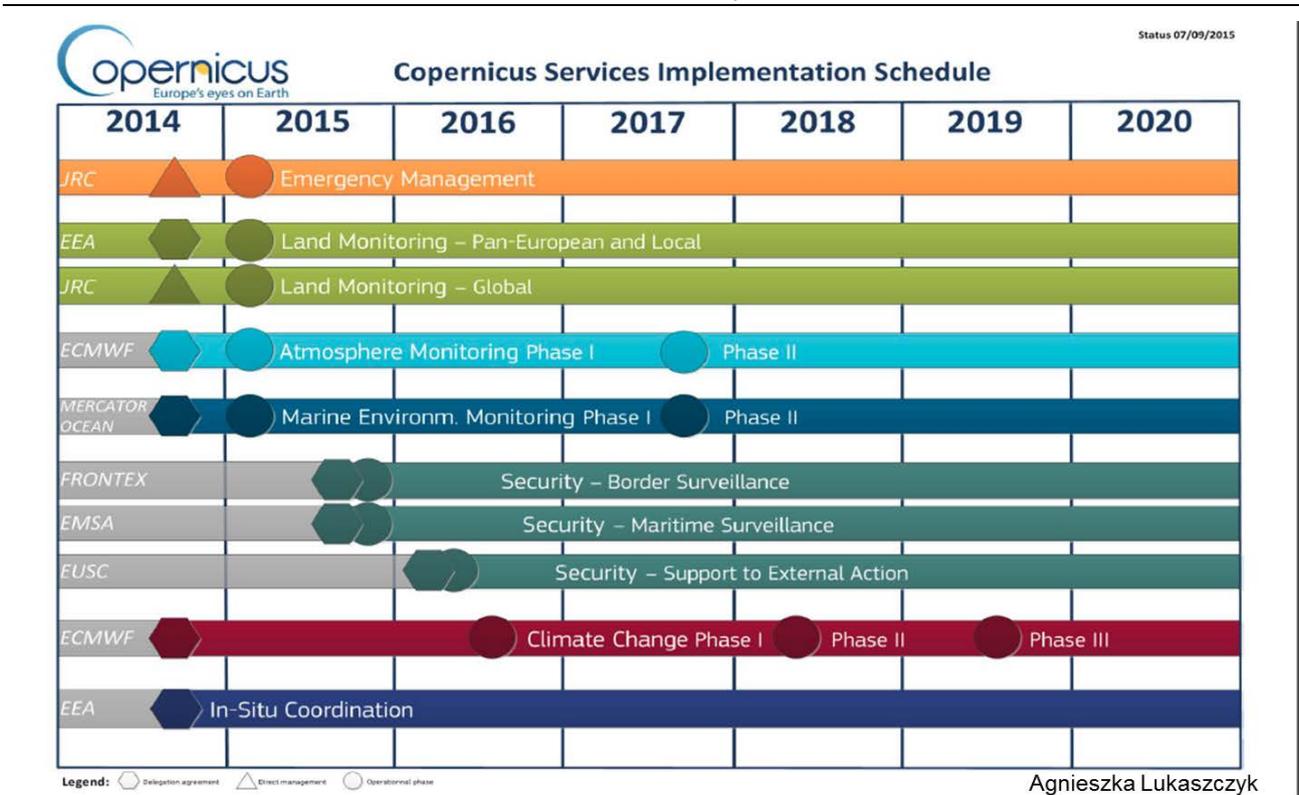
Der Katastrophen- und Krisenmanagementdienst sowie der Dienst zur Landüberwachung sind seit 2012 aktiv. Der Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt und der Dienst zur Überwachung der Atmosphäre sind seit 2015, zumindest in Teilen, im operationellen Betrieb. Der Dienst zur Überwachung des Klimawandels und der Dienst für Sicherheitsanwendungen sind noch in Vorbereitung (s. Abbildung 5). Für das Vorhaben spielen insbesondere die Dienste zur Landüberwachung, zur Überwachung der Meeresumwelt, zur Überwachung der Atmosphäre sowie zur Überwachung des Klimawandels eine Rolle, mit geringerer Bedeutung auch der Katastrophen- und Krisenmanagementdienst.

Die (Weiter-)Entwicklung der Dienste ist stets im Fluss, und nach außen wird nicht immer deutlich, an welchen Diensten gerade gearbeitet wird. Aufgrund der Vielzahl von Produkten in den Diensten, die meist aus FP7-Vorgängerprojekten hervorgegangen sind, ist das Angebot insgesamt z. T. noch recht undurchsichtig, und Verbesserungen hinsichtlich der Nutzerfreundlichkeit der Dienste sind erforderlich.

Die folgenden Darstellungen geben daher auch nur den aktuell vor allem über das Internet recherchierbaren Stand (Februar 2016) ab. Umfangreicher sind die internetgestützten Informationen insbesondere zum Dienst zur Landüberwachung (<http://land.copernicus.eu>), Dienst zur Überwachung der Atmosphäre (<http://atmosphere.copernicus.eu>) und zum Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt (<http://marine.copernicus.eu>). Wichtige Anhaltspunkte über vorgesehene künftige Weiterentwicklungen der Dienste liefern die öffentlichen Ausschreibungen des Copernicus Programms (www.copernicus.eu/main/tenders-grants). Eine Analyse der aktuellen Ausschreibungen auf der Copernicus-Seite liefert daher zusätzliche Informationen zum Stand des Dienste-Angebots. Ergänzend wurden im Februar 2016 noch zwei Telefoninterviews mit den nationalen Fachkoordinatoren der Dienste zur Überwachung der Atmosphäre und des Klimawandels (beide: Herr Tobias Fuchs, Deutscher Wetterdienst (DWD)) und des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt (Herr Bernd Brügge, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH)) geführt, die zusätzliche Informationen zum aktuellen Stand und den zukünftigen Entwicklungen in den Diensten lieferten.

Einen Überblick über alle derzeit angebotenen Produkte des Dienstes zur Landüberwachung, zur Überwachung der Meeresumwelt und zur Überwachung der Atmosphäre gibt Anhang 3 dieses Berichts.

Abbildung 5: Aktueller Stand der Entwicklung der Copernicus-Dienste



Quelle: Präsentation von Agnieszka Lukaszczyk / EU Kommission auf dem Copernicus Treffen in Mailand.

2.2.4.1 Produkte des Dienstes zur Landüberwachung (Land Monitoring Service)

Der Dienst zur Landüberwachung stellt dem Nutzer Informationen zur Landbedeckung (inklusive Binnengewässer), zum Vegetationszustand und zum Wasser- und Kohlenstoffkreislauf zur Verfügung. Er ist aus mehreren FP7 Forschungsprojekten hervorgegangen (z. B. Geoland-1 und 2) und befindet sich seit 2012 in der operationellen Phase. Derzeit listet er 26 Produkte auf, dreizehn davon in der sogenannten globalen Komponente, acht in der pan-europäischen Komponente, drei in der lokalen Komponente und zwei Produkte (DEM and derived products sowie LUCAS) in der In situ-Komponente:

Globale Komponente:

Die Produkte der globalen Komponente beschreiben die globale Verteilung biophysikalischer Parameter. Es werden die folgenden Parameter behandelt (zur Erläuterung der Parameter s. Anhang 3, Kap. 3.1):

- ▶ Fraction of Photosynthetically Active Radiation Absorbed by the Vegetation (FAPAR)
- ▶ Fraction of Green Vegetation Cover (FCover)
- ▶ Leaf Area Index (LAI)
- ▶ Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- ▶ Vegetation Condition Index (VCI)
- ▶ Vegetation Productivity Index (VPI)
- ▶ Dry Matter Productivity (DMP)
- ▶ Burnt Area
- ▶ Land Surface Temperature (LST)
- ▶ Top of Canopy Reflectance (TOC-R)
- ▶ Surface Albedo
- ▶ Soil Water Index (SWI)
- ▶ Water Bodies

Die Parameter werden täglich aus Satellitendaten berechnet und weltweit zur Verfügung gestellt. Die räumliche Auflösung beträgt meist 1 km/Pixel, für einzelne Parameter jedoch auch gröber. Die Daten können dabei entweder aus dem Archiv oder in naher Echtzeit innerhalb von drei Tagen nach deren Erstellung bezogen werden. Die Datenreihen der Produkte reichen z. T. bis Dezember 1998 zurück, viele Produkte werden jedoch erst seit 2007 oder später berechnet. Es stehen i. d. R. verschiedene Produktversionen zur Verfügung, die auf unterschiedliche Algorithmusversionen basieren. Ältere Versionen befinden sich meist in der vollständig operationellen Phase und besitzen mehrjährige Archive, allerdings enden sie i. d. R. mit Erscheinen neuerer Version. Die neusten Versionen befinden sich meist noch in der Entwicklungsphase und werden erst in den kommenden Monaten vollständig operationell sein². Von Seiten des Dienstes wird empfohlen, verschiedene Produktversionen nicht miteinander zu kombinieren, da sich die Berechnungsweisen der Algorithmen z. T. unterscheiden können.

Pan-europäischen Komponente:

Die pan-europäischen Komponente produziert vier hochauflösende Datensätze, die Hauptcharakteristika der Landbedeckung beschreiben. Dazu zählen:

- ▶ High Resolution Image Mosaics
- ▶ Corine Land Cover (CLC)

² s. <http://land.copernicus.eu/global/products>

- ▶ High Resolution Layers (HRLs):
 - Imperviousness
 - Forests
 - Grassland
 - Wetlands
 - Permanent Water Bodies
- ▶ Related Pan-European products (European Settlement Map)

Die Produkte verfügen über eine räumliche Auflösung von 20-100 m und sind europaweit verfügbar. Die Daten liegen meist für einzelne Jahre vor, so z.B. die Jahre 1990, 2000, 2006 und 2012 für den Corine Land Cover (CLC) Datensatz oder das Jahr 2012 für die meisten High Resolution Layers (HRL). Regelmäßige und durchgehende Zeitreihen, wie in der globalen Komponente, werden nicht angeboten. Alle Produkte können heruntergeladen werden, z. T. steht die letzte Validierung der Datensätze jedoch noch aus.

Lokale Komponente:

Die lokale Komponente befasst sich mit der detaillierten Kartierung der Landbedeckung in speziellen umwelt- und sicherheitsrelevanten Hotspots. Derzeit umfasst sie drei Datensätze:

- ▶ Urban Atlas
- ▶ Riparian Zones
- ▶ Natura 2000 (N2K)

Der Urban Atlas wurde für die Jahre 2006 und 2012 erstellt. In Zukunft soll er alle drei Jahre aktualisiert werden. Der Datensatz von 2006 wurde für alle europäischen Städte („Functional Urban Areas“) über 100.000 Einwohner erstellt. Der Datensatz von 2012 für die meisten Städte über 50.000 Einwohner erstellt (n=695). Zusätzlich wird ein Change Layer 2006-2012 zur Verfügung gestellt. Der Urban Atlas verfügt über eine Minimum Mapping Unit (MMU = kleinste kartierbare Einheit) von 0,25 ha.

Der Riparian Zones Datensatz dient dem Monitoring von Auenflächen (insbesondere im Rahmen der EU Biodiversitätsstrategie 2020) und setzt sich aus drei Datensätzen zusammen: Ein Datensatz zur Abgrenzung von Auenflächen (potential, actual, observable), ein Datensatz zur Landnutzung und ein Datensatz zu grünen linearen Elementen in Auenflächen. Er steht momentan nur für das Jahr 2012 zur Verfügung.

Der Natura 2000 Datensatz dient dem Biodiversitätsmonitoring und enthält eine Auswahl an Natura2000-Flächen in Europa mit einer spezifischen Landnutzungsklassifikation. Der Schwerpunkt des bisherigen Datensatzes liegt auf den Grünlandhabitaten. Dieser liegt für die Jahre 2006 und 2012 vor. Weitere Klassifikationen und Natura 2000-Flächen sollen kontinuierlich hinzugefügt werden.

In situ-Komponente:

Der Dienst zur Landüberwachung bietet auch eine eigene In situ-Komponente an, mit der ein europäisches digitales Höhenmodell (3D-Rasterdatensatz) zur Verfügung gestellt wird. Das DEM basiert auf Daten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) und des Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) und besitzt eine räumliche Auflösung von 25 m. Es wird auch ein Slope-, Aspect- und Hillshade-Layer bereitgestellt. Des Weiteren werden der EU-Hydro und LUCAS Datensatz zur Verfügung gestellt. Der EU-Hydro-Datensatz beinhaltet das europäische Flussnetzwerk und eine Kartierung der Wassereinzugsgebiete in Europa mit einer MMU von 1 ha. LUCAS ist eine von EUROSTAT durchgeführte Untersuchung, die alle

drei Jahre durchgeführt wird. Sie enthält In situ-Beobachtungen über den Zustand von Landbedeckungseinheiten an über 270.000 Punkten. Die Erhebungen sind als Referenz- und Validierungspunkte für die Analyse von Satellitenbildern von großer Bedeutung.

Weitere Entwicklungen:

Aus einer Ausschreibung³ zur globalen Komponente des Dienstes ging hervor, dass für einige biogeophysikalischen Parametergruppen aus der globalen Komponente Algorithmen getestet und entwickelt werden sollen. Es ist vor diesem Hintergrund anzunehmen, dass diese Parameter in Zukunft Veränderungen erfahren bzw. – soweit noch nicht gegeben – neu in das Portfolio des Dienstes aufgenommen werden. Dazu zählen FAPAR, LAI, moderate resolution dynamic global land cover, FCover, NDVI, VCI, VPI, DMP, greenness evolution index, phenology, burnt area, active fires, surface albedo, top of canopy spectral reflectance, land surface temperature, surface soil moisture, soil water index, evapotranspiration, snow area extent, snow water equivalent, lake ice coverage, lake surface water temperature, areas of water bodies, coastal, water level (lakes and rivers), lake surface reflectance, lake turbidity, trophic state. Zusätzlich werden Anpassungen am Datenzugang (Product Distribution Portal) vorgenommen. Dies betrifft z. B. die Ausgabeformate der einzelnen Produkte in der globalen Komponente.

2.2.4.2 Produkte des Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre (Atmosphere Monitoring Service)

Der Atmosphere Monitoring Service (auch CAMS) stellt Informationen über die atmosphärische Zusammensetzung, Luftqualität, Ozonschicht, UV-Strahlung, Solarenergie, Emissionen und andere treibende Faktoren des Klimas zur Verfügung. Der Dienst befindet sich seit Juli 2015 in der operativen Phase.

Die Produkte des Dienstes sind aus der MACC-Produktreihe hervorgegangen. Der Onlinekatalog⁴ listet derzeit 162 Produkte auf (Stand Februar 2016), die in die Produktfamilien Aerosol, Fire, Greenhouse Gas, Radiation und Reactive Gas eingeteilt sind. Die Daten werden als tagesaktuelle Informationen, 3-Tages-Prognosen, Modelle, Zeitreihenanalysen und politische Entscheidungshilfen (z. B. Berichte, Szenarien) zur Verfügung gestellt. Sie verfügen über eine sehr hohe Aktualisierungsfrequenz (meist täglich, oft auch 6- oder 3-stündlich) und liegen i. d. R. weltweit, zumindest aber meist europaweit zur Verfügung. Zu der zeitlichen Abdeckung und der räumlichen Auflösung werden im Onlinekatalog allerdings keine Angaben gemacht. Ebenso befinden sich die allermeisten Produkte noch in der präoperationellen Phase, und der Datenzugriff ist oft noch eingeschränkt. Es sollen jedoch alle Produkte noch in 2016 in die operationelle Phase überführt werden (Fuchs mdl. 2/2016). Aufgrund der Vielzahl an Produkten wurden in der Metadatentabelle in Anhang 3 Produkte zusammengefasst, die auf der gleichen Methode / Berechnungsvorschrift basieren und sich nur durch die unterschiedlichen Datentypen, untersuchten Parameter oder verwendeten Modellen unterscheiden.

Weitere Entwicklungen:

Aktuelle Ausschreibungen zur Weiterentwicklung des Dienstes konzentrieren sich überwiegend auf die Validierung, Visualisierung und Weiterentwicklung einzelner bestehender Produkte. Es ist nicht

³ <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:277962-2015:TEXT:EN:HTML>

⁴ <http://macc.copernicus-atmosphere.eu/catalogue>

ersichtlich, dass unmittelbar zusätzliche Parameter entwickelt werden sollen. Allerdings wird an einem globalen CO₂-Monitoring mit eigens dafür geeigneten Satelliten gearbeitet wird (Fuchs mdl. 2/2016⁵).

2.2.4.3 Produkte des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt (Marine Monitoring Service)

Der Marine Monitoring Service (auch CMEMS) liefert Informationen zu verschiedenen Ozeanparametern wie z. B. Meeresoberflächentemperatur, Meeresspiegelhöhe, Eisbedeckung und Eisdrift, Salzgehalt, Wasserfärbung (Chlorophyll / Algen), Meeresströmungen und Informationen zur Bekämpfung von Ölverschmutzung. Der Dienst befindet sich seit Mai 2015 in der operationellen Phase.

Die Produkte des Dienstes sind aus der MyOcean-Produktreihe hervorgegangen. Der Onlinekatalog⁶ listet derzeit 140 Produkte auf (Stand Februar 2016), die für verschiedene Parameter, Meeresregionen, zeitliche Abdeckungen oder zeitliche Auflösungen verfügbar sind. Die meisten Produkte decken den globalen Ozean ab, allerdings sind einige Produkte mit spezifischen Zeitreihen und Berechnungsmodellen auch nur für einzelne Meeresregionen verfügbar. Die räumliche Auflösung schwankt je nach Produkt. Die höchsten Auflösungen werden für Datensätze aus der Ostsee erreicht (1 Seemeile). Die restlichen Produkte variieren zwischen 0,05° (~5km) und 20 km. Die Auflösungen sollen in Zukunft stetig verbessert werden (Brügge mdl. 2/2016). Die Produkte liegen meist in langen Zeitreihen vor, bei den in-situ Beobachtungen reichen sie bis in die 1950er Jahre zurück. Auch die zeitliche Auflösung ist mit täglichen Aktualisierungen sehr hoch. Die Produkte werden als nahe Echtzeit Analyse, Vorhersagen und Re-analysen mehrjähriger Datenreihen zur Verfügung gestellt. Methodisch lassen sie sich in numerische Modelle, Satellitenbeobachtungen und In situ-Beobachtungen unterscheiden, wobei zu betonen ist, dass die Produkte i. d. R. in geringerem Umfang auf Satellitendaten basieren als die Produkte der anderen Copernicus Dienste. Die Produkte befinden sich alle in der operationellen Entwicklungsphase.

Da die meisten Produkte die gleichen Parameter analysieren, jedoch nach unterschiedlichen Meeresregionen und angewandten Berechnungsmodellen im Onlinekatalog unterschieden werden, ist es sinnvoll, die 140 Produkte nochmals zu gruppieren, um die Anzahl an Produkten zu verringern. Für die tabellarische Zusammenstellung in Anhang 3 wurden deshalb die folgenden acht Produktfamilien zusammengefasst:

- ▶ Ocean Physics
- ▶ Ocean Biogeochemistry
- ▶ Sea Level
- ▶ Ocean Optics
- ▶ Sea Surface Temperature
- ▶ Sea Ice
- ▶ Ocean Wind
- ▶ Ocean In-Situ Observations

Die berücksichtigten Parameter, Modelle und Analysemethoden dieser Produktfamilien sind mit den Metadaten in Anhang 3 zusammengestellt.

Weitere Entwicklungen:

⁵ s, auch www.copernicus.eu/sites/default/files/library/CO2_Report_22Oct2015.pdf

⁶ <http://marine.copernicus.eu/web/69-myocan-interactive-catalogue.php>

Die aktuellen Ausschreibungen zum Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt lassen nicht den Rückschluss zu, dass für diesen Dienst neue Produkte angedacht sind. Die derzeitigen Ausschreibungen betreffen eher die Qualitätsverbesserung und -bewertung bestehender Produkte, Veränderungen des Datenzugangs sowie Anpassungen des Entwicklungsstands der Produkte. Einzelne Produkte werden archiviert, sobald neue Produktversionen erscheinen. Die Entwicklungen werden auf der Internetseite des Dienstes bekannt gegeben⁷. Auch seitens der Fachkoordination des Dienstes (Brügge mdl 2/2016) wurde im Telefoninterview bestätigt, dass viele Entwicklungen im Dienst noch nicht absehbar sind. Anpassungen sollen aber gemäß den Nutzerinteressen und Datenzugriffen stetig vorgenommen werden. Von Nutzern wurden bisher konkret Seegangdaten, sowie Daten zu „mixed layer depth“ und „bottom temperature“ angefragt.

2.2.4.4 Produkte des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels (Climate Change Service)

Der Climate Change Service (auch C3S) ist als Querschnittsdienst angelegt, der sich aus der komplexen Thematik des Klimawandels ergibt. Er befindet sich bisher noch in der Aufbauphase und wird von einer Reihe von Forschungsvorhaben unterstützt. Im November 2014 wurde das ECMWF mit der Leitung des Dienstes beauftragt. Im Vergleich zu den anderen Diensten stellt die Entwicklung des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels eine große Herausforderung dar, da in diesem Dienst viele Datenflüsse zusammengeführt werden müssen (Land, Meere, Atmosphäre etc.), es sich also um einen stark integrativen Dienst handelt. Im Gegensatz zu den anderen Diensten gründet der Dienst zur Überwachung des Klimawandels auch nicht auf vorangegangenen Forschungsprojekten, sondern muss sein Produktportfolio von Grund auf neu aufbauen. Dies hat auf der einen Seite den Vorteil, dass potenzielle Nutzer die Entwicklung des Dienstes noch stark mitbestimmen können. Auf der anderen Seite wird die Entwicklung bis zur operationellen Phase sicherlich viel Zeit in Anspruch nehmen, da auf keine bestehende Infrastruktur aufgebaut und zurückgegriffen werden kann.

Ziel des Dienstes ist nicht nur, den Klimawandel an sich zu überwachen, sondern auch Maßnahmen zur Verringerung von Klimawandelauswirkungen (mitigation) und zur Klimawandelanpassung (adaptation) zu unterstützen. Die Organisation des Klimadienstes stützt sich auf vier Säulen:

- ▶ konsistente und harmonisierte Klimadaten-speicherung, inklusive Klimavorhersagen (saisonale Vorhersagen) und Klimaprojektionen; dies beinhaltet auch Informationen der Mitgliedsstaaten, ESA Climate Change Initiative, EUMETSAT, EEA sowie anderer europäischer Forschungsprojekte,
- ▶ sektoraler Informationsdienst zu Klimawirkungen, der speziell auf die Anforderungen der Nutzer ausgerichtet ist (beispielsweise die europäische Klimaanpassungs-Plattform Climate-Adapt als institutionelle Nutzerin auf europäischer Ebene),
- ▶ Evaluation und Qualitätskontrolle,
- ▶ Outreach und Informationsverbreitung.

Zum Aufbau des sogenannten Climate Data Store wurden bereits die ersten Ausschreibungen veröffentlicht⁸. Auch für die Sectoral Information Systems ist eine erste Ausschreibung veröffentlicht⁹. Dort werden als erste zu entwickelnde Sektoren das Wassermanagement und die Energie genannt (erste proof of concept contracts wurden vergeben). Bis 2020 sollen acht weitere Sektoren hinzukommen. Grundsätzlich gibt es für den Dienst zur Überwachung des Klimawandels derzeit noch keine konkreten Produktinformationen. Eine zentrale Rolle im Portfolio des Service werden die von GCOS

⁷ <http://marine.copernicus.eu/web/35-product-improvements.php>

⁸ <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:232908-2015:TEXT:EN:HTML>, <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:232909-2015:TEXT:EN:HTML>

⁹ <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:232889-2015:TEXT:EN:HTML>

(Global Climate Observing System) definierten Essential Climate Variables (ECVs) einnehmen, die benötigt werden, um den Anforderungen von UNFCCC und IPCC zur Beobachtung des Weltklimas gerecht zu werden. Die definierten 50 ECVs umfassen Messungen der Atmosphäre, Ozeane und Landoberfläche, die sowohl technisch als auch ökonomisch praktikabel sind, um ein systematisches Monitoring zu ermöglichen¹⁰. Für einen Großteil der ECVs können Satellitendaten wichtige Informationen liefern¹¹.

Laut einer aktuellen Ausschreibung¹² sollen im Dienst zur Überwachung des Klimawandels bis 2020 bis zu 30 ECVs über sogenannte Climate Data Records (CDRs) abgedeckt werden. Unter CDRs werden auf Rasterdaten basierende Zeitreihenmessungen verstanden, die hinsichtlich Länge, Konsistenz und Kontinuität ausreichend sind, um Klimavariabilität und -wandel zu beobachten (oft wird dabei von Zeitreihen ab 1979 bis Near Real Time Modus gesprochen). Diese erste Ausschreibung listet konkret die folgenden ECVs auf, die im Dienst generiert werden sollen: sea ice, sea level, sea-surface temperature, ozone, aerosol properties, greenhouse gases (carbon dioxide and methane), soil moisture, glaciers and ice caps, albedo, FAPAR, LAI. Auf einer Präsentation des ECMWF am 8. Copernicus User Forum (08.02.2016) zum aktuellen Stand des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels wurden zusätzlich die folgenden ECVs genannt, die ab Mitte 2017 nach und nach im Climate Data Store angeboten werden sollen: surface air temperature, upper air temperature, surface precipitation, surface humidity, surface radiation budget, other long-lived greenhouse gases, cloud properties, carbon dioxide partial pressure, wind speed and direction, ocean colour, ocean acidity, ocean currents, ocean salinity, global ocean heat content, now cover, ice sheets, fire disturbance, lakes, permafrost and seasonally frozen ground, land cover (including vegetation type).

Eine andere Informationsquelle zum potenziellen Portfolio des Dienstes ist eine interne Parameterliste aus dem „Invitation to Tender: Evaluation and Quality Control Function for the Sectoral Information System“ (s. Tabelle 3). Diese ist weitgehend abgestimmt und kann als eine verlässliche Informationsquelle zu den zu erwartenden Datensätzen angesehen werden.

Tabelle 3: Parameter-Liste aus dem „Invitation to Tender“ für den Dienst zur Überwachung des Klimawandels

Product name	ECVs	Spatial extent	Spatial resolution	Time extent	Temporal resolution	Source
Gridded observational products						
CRUTEM4	Air temperature	Land	5°x5°	1850-2013	monthly	CRU
GISTEMP		Land	2°x2°	1880-2013	monthly	NASA
GPPC	Precipitation	Land	1°x1°	1900-2010	monthly	DWD/WMO
GPCP		Global	1°x1°	1979-2013	monthly	NASA
GPCP		Global	1°x1°	1996-present	daily	NASA
E-OBS	Air temperature, pressure, precipitation	Europe	0.25°x0.25°	1950-2013	daily	KNMI/EUMETNET/FP7

¹⁰ www.wmo.int/pages/prog/gcos/index.php?name=EssentialClimateVariables

¹¹ www.eohandbook.com/eohb2011/climate_variables.html

¹² <http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:008262-2016:TEXT:EN:HTML>

Product name	EVCs	Spacial extent	Spacial resolution	Time extent	Temporal resolution	Source
HadISST2	Sea-surface temperature, sea ice	Global	Variable	1850-2010	monthly	Hadley Ctr
CLARA-A1	Cloud properties, Earth radiation budget	Global	0.25°x0.25°	1982-2009	monthly	CM-SAF
MVIRI		Europe+	0.03°x0.03°	1983-2005	sub-daily	CM-SAF
HOAPS		Ocean	0.5°x0.5°	1987-2008	daily	CM-SAF
QA4ECV	Albedo	Land	0.05°x0.05°	1982-present	weekly	FP7
SAF_ECV	tbd	Global	tbd	tbd	tbd	EUMETSAT_SAF
CCI_ECV	tbd	Global	tbd	tbd	tbd	ESA partners
Climate reanalysis						
ERA-Interim	Temperature, pressure, wind, precipitation, water vapour, cloud properties, Earth radiation budget	Global	80 km	1979-NRT	sub-daily	ECMWF
ERA-20C		Global	125 km	1900-2010	sub-daily	FP7
ERA-20CL		Global	25 km	1900-2010	sub-daily	FP7
JRA-55		Global	1.25°x1.25°	1958-NRT	sub-daily	JMA
MERRA		Global	0.67°x0.5°	1979-NRT	sub-daily	NASA
ERAS-NRT		Global	40 km	1979-NRT	sub-daily	ECMWF
ERA-CLIM2		Global	125 km	1900-2010	sub-daily	FP7
UERRA		Global	<15 km	1979-NRT	sub-daily	FP7
MACC reanalysis	Greenhouse gases, ozone, aerosol, fire disturbance	Global	80 km	2003-NRT	sub-daily	MACC-II
ORAS4	Ocean colour, sea level, ocean heat content	Global	1°x1°	1958-NRT	monthly	ECMWF
GLORYS		Global	0.25°x0.25°	1993-2012	monthly	MyOcean
Seasonal forecasts						
C3S_SF		Global	variable	NRT+7m	daily	Multiple
Climate projections						
CMIP5		Global	<100 km	2006-2100	monthly	ESGF
EURO-CORDEX		Europe	<15 km	2006-2100	daily	WCRP

Eine offene Frage ist noch, wie der Dienst zur Überwachung des Klimawandels andere bereits bestehende Initiativen zu satellitenbildgestützten Klimainformationen wie z. B. die ESA Climate Change Initiative (CCI) oder die EUMETSAT Satellite Application Facilities (SAFs) mit einbezieht. Die deutsche Fachkoordination des Dienstes (Fuchs mdl. 2/2016) geht davon aus, dass die Initiativen und der Dienst zur Überwachung des Klimawandels abgestimmt werden, insbesondere da ESA und EUMETSAT auch verantwortlich für die Umsetzung der Copernicus Space Komponente sind.

Der Dienst zur Überwachung des Klimawandels ist im Gegensatz zum Dienst zur Überwachung der Atmosphäre (s. Kap. 2.2.4.2), der insbesondere auf stets aktualisierte Daten fokussiert, vor allem darauf ausgelegt, lange Zeitreihen zu generieren. Daher spielen die Kontinuität und Konsistenz der Datenreihen und Algorithmen eine zentrale Rolle. Wie die oben genannten potenziellen Datensätze zeigen, solle diese Datenreihen auch Parameter anderer Copernicus-Dienste abdecken.

2.2.4.5 Katastrophen- und Krisenmanagementdienst (Emergency Management Service)

Der Emergency Management Service dient in erster Linie der Unterstützung von Rettungsmaßnahmen nach großflächigen, natürlichen oder menschengemachten Katastrophen¹³. Er ist seit 2012 in Betrieb (vorher GIO EMS Rush Service) und ist insbesondere aus dem FP7-Projekt SAFER (und anderen Projekten) hervorgegangen. Der Dienst ist in die zwei Komponenten ‚Mapping‘ und ‚Early Warning System‘ aufgeteilt. Für die Frühwarnkomponente stehen momentan das ‚European Flood Awareness System‘ und das ‚European Forest Fire Information System‘ zur Verfügung. Die Mapping Komponente ist in den ‚Risk and Recovery Mapping‘ und den ‚Rapid Mapping‘ Service gliedert.

Das Risk and Recovery Mapping umfasst beispielsweise Vulnerabilitäts- und Risikokarten zur Unterstützung von Vorbereitungen auf potentielle Katastrophenfälle (Naturkatastrophen und menschengemachten Katastrophen), sowie Karten, die dem Wiederaufbau nach Katastrophen dienlich sind. Der Rapid Mapping Service generiert nach Katastrophenereignissen innerhalb von 12 Stunden standardisierte Kartenprodukte wie Referenzkarten, Abgrenzungskarten oder Schadenskarten. Die Karten basieren auf Satellitendaten (Sentinels, hochaufgelösten Daten von contributing missions etc.) und weiteren Hilfsdatensätzen (z. B. Luftbildern). Der Dienst ist seit 2012 das ganze Jahr über auf Abruf verfügbar. Bislang wurden 153 Aktivierungen (Stand Februar 2016) des Dienstes durchgeführt, vorwiegend im Falle von Überflutungen, Waldbränden, Stürmen, Rutschungen und Erdbeben.

Die Mapping Komponente des Dienstes stellt generell kein kontinuierliches Monitoring von Katastrophenereignissen zur Verfügung, sondern operiert nur auf konkrete Anfrage. Solch eine Anfrage kann nur von autorisierten Nutzern erfolgen, beispielsweise Zivilschutzbehörden oder anderen staatlichen Institutionen der EU-Mitgliedsländer. Das Ziel ist es somit kurzfristig und schnell auf Katastrophenereignisse reagieren zu können und Basiskarten für die Unterstützung von Rettungsmaßnahmen bereitzustellen.

2.2.4.6 Dienst für Sicherheitsanwendungen (Security Service)

Der Security Service beschäftigt sich mit der Überwachung der EU-Außengrenzen, der maritimen Überwachung und der Unterstützung von EU-Einsätzen außerhalb Europas. Dabei spielen insbesondere die Überwachung bestehender Abkommen, die Überwachung kritischer Infrastruktur, Migration und Grenzüberwachung sowie Konflikt- und Krisenmanagement eine Rolle. Der Dienst befindet sich momentan noch in der Entwicklungsphase und spielt für das Vorhaben eine eher untergeordnete Rolle.

2.2.5 Entwicklung von Value adding-Services

Die in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen sechs kostenlosen und öffentlich zugänglichen Copernicus-Dienste decken nur einen Bruchteil möglicher Anwendungen der Copernicus Daten und

¹³ <http://emergency.copernicus.eu>

Dienste ab. Das Konzept von Copernicus sieht vor, dass weiteren Dienste, die speziellen Nutzerinteressen dienen, im Rahmen von kommerziellen Beauftragungen entwickelt werden. Diese sogenannte Downstream- oder Value adding-Services laufen außerhalb des Rahmens des Copernicus-Programms, nutzen aber die kostenlosen und frei zugänglichen Datenquellen von Copernicus (Satellitendaten und Kerndienste). Die Bereitstellung der Dienste erfolgt auf Initiative und unter Verantwortung der jeweiligen Nutzergruppe, die auch die Finanzierung und Verfügbarkeit gewährleisten muss. Die EU kann aber solche Vorhaben über Forschungsgelder (z. B. FP7, Horizon2020) fördern¹⁴. Entsprechend der kommerziellen Natur der Value adding-Services ist auch eine öffentliche Verfügbarkeit der Ergebnisse nicht unbedingt gewährleistet, sondern liegt im Ermessen des Auftraggebers. Es ist ausdrücklich im Interesse von Copernicus, dass neben dem Angebot kostenfreier Copernicus-Dienste mit der Entwicklung dieser kommerziellen Value adding-Services Arbeitsplätze in Europa geschaffen werden und sich mit dem Verkauf dieser Produkte auch Teile des Dienstes wirtschaftlich selbst tragen¹⁵. In einer 2012 erschienen Studie zum wirtschaftlichen Einfluss des Copernicus-Programms¹⁶ wurde das Marktpotenzial der Copernicus Value adding-Services bis 2030 auf 1,8 Milliarden Dollar geschätzt. Des Weiteren könnten durch den Downstream Sektor bis 2030 bis zu 20.000 direkte und 63.000 indirekte neue Arbeitsplätze geschaffen werden.

Die Value adding-Services stehen ausdrücklich nicht unter der Koordination der Kommission. Entsprechend ist weder ein offizielles Verzeichnis oder eine Internetseite zu den bestehenden Value adding-Services verfügbar, noch gibt es ein Verzeichnis mit potenziellen Anbietern für diese Dienste¹⁷. Einige Projekte sind in der Projektdatenbank der Copernicus Internetseite enthalten¹⁸, wobei auch andere Projekte dort gelistet sind. Auf der ESA-Internetseite werden die öffentlich geförderten Value adding-Services aufgelistet, die aus den FP7 Calls der Jahren 2009, 2010 und 2012 hervorgegangen sind¹⁹. Insgesamt bleiben die von der EU und Copernicus getätigten Aussagen zu Value adding Services noch etwas vage, vor allem was die Grenze zwischen Kerndiensten und Value adding-Services angeht. Das ist für das vorliegende Vorhaben insofern relevant, als nicht klar ist, inwieweit Nutzerwünsche (zum Beispiel seitens des UBA) an Copernicus Produkte innerhalb der kostenlosen Kerndienste berücksichtigt werden können oder ob hier auf kommerzielle Value adding-Services verwiesen werden muss. Ein ausgereiftes Konzept zur Einbeziehung von kommerziellen Akteuren, zur Rolle

¹⁴ www.esa.int/ger/ESA_in_your_country/Germany/Die_Copernicus-Dienste, <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/2235-eo-2-2016.html>

¹⁵ Auszug aus FAQs von Copernicus (www.copernicus.eu/main/faqs): „Copernicus services whose implementation and operation are supported by public funding at the European level will fall into the regime defined by the Copernicus governance. Considered as "public goods", a full and open access to these services will be organised. Data from the Sentinels will be free of charge to users. Downstream services correspond to those services that will be implemented outside the scope of the Copernicus governance and without EU public funding. They will be developed by public or private operators with the objective to meet specific needs (e.g. specific to a group of user, location-specific, etc.). Downstream services will provide their users with added-value by combining the information provided by the Copernicus services with additional data (e.g. socio-economic data). Depending on the business model adopted by each service provider, these downstream services could be either free for the final user (e.g. funding through advertising) or associated to a fee (e.g. pay-per-use, recurrent fee, etc.).“

¹⁶ www.copernicus.eu/sites/default/files/library/GMES_GIO_LOT3_PublishableExecutiveSummary_final.pdf

¹⁷ Diese Unübersichtlichkeit gilt allgemein für den „space market“, s. hierzu auch European Parliament (Directorate General for Internal Policies, Policy Department A - Economic and Scientific Policy) 2015: Space Market Uptake in Europe - Analytical Study, Brussels, 102 S.

S. 7: „The European downstream space market is highly fragmented. Besides a very limited number of large players, mostly vertically integrated space companies, the market is made up of many specialised micro, small and medium enterprises that mostly works for local suppliers.“

¹⁸ www.copernicus.eu/project-database

¹⁹ <https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/copernicus-users/user-categories/downstream-services>

des Marktes und zur Entwicklung von Value adding-Services liegt bisher nicht vor. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass vieles hierzu noch im Fluss ist und dieser Bereich in Zukunft einiges an Bewegung erfährt.

2.2.6 Copernicus in Deutschland

In Deutschland gibt das nationale Copernicus-Maßnahmenprogramm einen Rahmen für die Nutzung von Copernicus vor. Informationen sind über die Internetseite einsehbar²⁰, die insbesondere dem Informationsaustausch dient und Informationen zu Copernicus-Diensten und -Daten, zum Maßnahmenprogramm, zu Veranstaltungen und zu Neuigkeiten bereitstellt. Das nationale Maßnahmenprogramm soll ermöglichen, dass sowohl Bürger als auch Unternehmen in Deutschland vom europäischen Copernicus-Programm profitieren. Dies soll primär durch die systematische Verwirklichung der Potenziale von Copernicus für verbesserte öffentliche Dienstleistungen erzielt werden, da in öffentlichen Einrichtungen satellitengestützte Informationsanwendungen bislang noch nicht optimal eingesetzt werden. Das Maßnahmenprogramm ist somit speziell auf die Entwicklung und Implementierungsvorbereitung von Copernicus-Diensten für den öffentlichen Bedarf ausgerichtet.

Die Bundesregierung hat fachliche Koordinatoren für die Copernicus Themenfelder benannt. Die nationalen Fachkoordinatoren begleiten die Copernicus-Dienste fachlich und unterstützen die Bundesregierung bei der Entwicklung dieser Dienste. Des Weiteren informieren sie Nutzer in Deutschland, einschließlich Behörden auf Landes-, ggf. auch kommunalen Verwaltungsebenen sowie kommerzielle Nutzer über die Copernicus-Dienste. Außerdem vertreten sie die Bundesrepublik Deutschland im Copernicus-Nutzerforum der EU. Insofern sind die Fachkoordinatoren auch die wichtigsten Ansprechpartner für das UBA, wenn es um die Nutzbarkeit und die Weiterentwicklung von Copernicus Diensten geht.

Vom Bundeshaushalt wurden bis 2020 12 Mio. Euro für das nationale Maßnahmenprogramm zur Verfügung gestellt. Davon wird neben den nationalen Fachkoordinatoren auch eine Reihe an Fördermaßnahmen und nationalen Copernicus-Projekte unterstützt. Auf der Internetseite werden derzeit acht Fördermaßnahmen und 35 Projekte aufgelistet (Stand Februar 2016). Die Datenbank nationaler Copernicus-Projekte liefert dabei einen Überblick über laufende und geplante nationale Copernicus-Aktivitäten in Deutschland. Die derzeitigen 35 Projekte erstrecken sich über alle Themenbereiche der Copernicus-Dienste. Davon sind 14 im Schwerpunkt Landüberwachung, acht in der Meeresüberwachung, einer im Katastrophen- und Krisenmanagement, einer in der Überwachung der Atmosphäre, sechs in der Überwachung des Klimawandels sowie fünf in Querschnittsprojekten. Des Weiteren listet die Internetseite in einer Datenbank zentrale Akteure in Deutschland auf, die sich mit Fernerkundung und Copernicus beschäftigen. Die Fernerkundungsinstitute / -firmen umfassen Behörden, Forschungseinrichtungen und kommerzielle Anbieter.

Das nationale Forum für Fernerkundung und Copernicus ist das zentrale Forum in Deutschland, das den Dialog zwischen den Nutzern und Anbieter von Erdbeobachtungsdiensten und -produkten aber auch zwischen Verwaltung (Bundes- Landes- und kommunale Ebene), Wirtschaft und Wissenschaft fördert. Dazu dient eine Veranstaltungsreihe, die sich im Rahmen von Vorträgen, strategischen Diskussionen und thematischen Fachworkshops mit einem jährlichen Themenschwerpunkt auseinandersetzt (Copernicus-Dienste in 2011, Erdbeobachtung zur Unterstützung der Energiewende und der Anpassung an den Klimawandel in 2013, Erdbeobachtung für Mensch und Umwelt in 2014, Copernicus erfolgreich nutzen in 2015).

²⁰ www.d-copernicus.de/

2.3 Generelle Anmerkungen zu den Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Dienste und -Daten für DAS-Indikatoren

In diesem Kapitel werden die grundsätzlichen Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten im Allgemeinen und den Diensten und Daten des Copernicus-Programms im Speziellen zur Weiterentwicklung der DAS-Indikatorensystems skizziert. Dabei sind folgende generelle Überlegungen von Bedeutung:

- ▶ Die Komponenten des Copernicus-Programms sind mit unterschiedlichen Nutzungsbedingungen und -anforderungen verbunden. Generell trifft sich die Nutzung der Copernicus-Dienste am besten mit den Anforderungen, die auch an die Datengrundlagen für die DAS-Indikatoren gestellt werden, denn sie sind kostenfrei und grundsätzlich leicht zugänglich. Dennoch gibt es auch Value adding-Services, die mit Blick auf die DAS-Indikatoren von Interesse sein können.
- ▶ Das Copernicus-Programm ist – vor allem was die Service-Komponente betrifft – noch in der Aufbauphase. Die Datenzugänge sind oft noch eingeschränkt und die Produktqualität z. T. verbesserungsbedürftig.
- ▶ Bei der Nutzung von Fernerkundungsdaten für die Entwicklung von DAS-Indikatoren lassen sich viele spezifische Qualitäten dieser Daten nicht vollumfänglich ausschöpfen, da einerseits Fernerkundungsdaten den Anforderungen der DAS-Indikatoren oft nicht gerecht werden und andererseits die Struktur des DAS-Indikatorensystems (z. B. Schwerpunkt auf bundeweit aggregierten Darstellungen) die Nutzungsmöglichkeiten der Daten limitiert.

Die im Folgenden dargelegten Überlegungen entstammen insbesondere den in den Kap. 2.1 und 2.2 durchgeführten Recherchen sowie den Erkenntnissen aus der Teilnahme an den folgenden drei Copernicus-Workshops und Nutzerforen, die die Projektnehmer im Laufe des Vorhabens besucht haben:

- ▶ Workshop „A Trip from Mountains to Valleys: Copernicus satellites as “sentinels” of environmental and economic changes”, veranstaltet durch das europäische Netzwerk NEREUS (Network of European Regions using Space Technologies) in Mailand (20.10.2015).
- ▶ Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2015 in Berlin (3.11. bis 5.11.2015),
- ▶ Workshop „Management natürlicher Ressourcen mit Hilfe von Copernicus Diensten und Daten“, veranstaltet durch das europäische Netzwerk NEREUS (Network of European Regions using Space Technologies) in München (12.11.2015).

Mit Blick auf das Copernicus-Programm und seine unterschiedlichen Komponenten (s. auch Abbildung 4) ergeben sich grundsätzlich drei übergeordnete Nutzungsebenen, wobei zahlreiche zusätzliche Zwischenstufen möglich sind:

- a) direkte **Nutzung der Sentinel-Daten** und weiterer (auch In situ-) Daten, die bereits jetzt oder künftig von Copernicus angeboten werden (s. Kap.2.3.1). Die direkte Nutzung bietet sich hauptsächlich für Forschungseinrichtungen, Dienstleister („Value-adder“) oder Fachbehörden mit vorhandener Kompetenz im Bereich Satellitenfernerkundung an²¹.
- b) **Nutzung der Copernicus-Dienste** bzw. der Produkte, die durch die Dienste kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Die derzeit sechs Dienste machen den wesentlichen Service-Charakter von Copernicus aus. Sie richten sich jedoch in erster Linie an die europäische Kommission und sind

²¹ Für Deutschland siehe z. B.: www.d-copernicus.de/fernerkundungsinstitute-firmen-deutschland

nur bedingt für den Endnutzer konzipiert. Spezifische Anwendungen, wie sie z. B. von Fachbehörden oder dienstleistende Unternehmen oft benötigt werden, werden durch die Dienste nur bedingt bedient.

- c) **Nutzung von Value adding-Services** bzw. von Produkten die von Dienstleistern auf Basis der Copernicus- Dienste und / oder anderer Fernerkundungsdaten erzeugt und kommerzialisiert werden und im Gegensatz zu den Copernicus- Diensten z. T. nicht kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Diese value-added products sind i.d.R. auf konkrete Nutzer und Nutzungen zugeschnitten und werden für die Beantwortung spezifischer Fragestellungen eingesetzt (z. B. von Behörden oder Unternehmen).

2.3.1 Nutzungsmöglichkeiten der Fernerkundungs-/Sentinel-Daten

Fernerkundungsdaten eignen sich grundsätzlich hervorragend, um den Zustand der Erde und damit auch den Klimawandel und seine Auswirkungen zu beobachten. Mit dem Start der Sentinel-Satelliten werden in Zukunft vielfältige Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten für ein kontinuierliches Monitoring von Klimawandelauswirkungen und -anpassungen zur Verfügung stehen. Laut ersten Erfahrungen sind die Sentinel-Daten **von ausgezeichneter Qualität**. Das enorme Potenzial der Daten wurde zum Beispiel auf dem Nationalen Copernicus-Forum in Berlin anhand zahlreicher Anwendungsbeispiele aus der Praxis demonstriert, und es wurde bestätigt, dass die Daten grundsätzlich auch eine regelmäßige Generierung von Indikatoren ermöglichen.

Mit dem Einsatz erster Erdbeobachtungssatelliten vor über 40 Jahren liegen mittlerweile für viele Parameter **lange Datenreihen** vor, um Klimaveränderungen und ihre Auswirkungen kontinuierlich zu erfassen und zu analysieren (für Solarstrahlung oder Bodenfeuchte gibt es beispielsweise über 30-jährige Datenreihen auf globaler Ebene). Mit dem Start der Sentinel-Satelliten besteht die Herausforderung nun darin, die älteren Satellitendaten und insbesondere die darauf basierenden Algorithmen mit den neuen Sentinel-Daten zu kombinieren und durchgängige, konsistente Datenreihen zu erstellen. In Zukunft kann mit umfassenden methodischen Weiterentwicklungen und konkreten Anwendungsbeispielen aus der Forschung gerechnet werden. Da jedoch erst seit kurzem mit den Sentinel-Daten gearbeitet werden kann, ist die Entwicklung von auf Sentinel basierende Zeitreihen (u. a. für potenzielle DAS-Indikatoren) noch in den Anfängen. Somit muss derzeit noch auf Datensätze früherer Satellitenmissionen zurückgegriffen werden; dies geschieht auch in den aktueller Copernicus Produkten. Konsistente Datenreihen werden somit nicht gleichzeitig mit dem Start der Sentinel-Satelliten zur Verfügung stehen, sondern erst mit (z. T. mehrjähriger) Verspätung. Für die DAS-Indikatoren würde dies bedeuten, dass Darstellungen aufbauend auf diesen konsistenten Datenreihen noch nicht sofort nutzbar sind.

Die Vorteile von Fernerkundungsdaten und insbesondere auch der Sentinel-Daten sind deren hohe **zeitliche** und **räumliche Auflösung**. Die hohe zeitliche Auflösung der Sentinel-Satelliten (satellite revisit time) erlaubt das Monitoring hoch-dynamischer Prozesse (z. B. Vegetationszustand, Phänologie), deren Analyse u. a. Rückschlüsse auf zeitliche Anomalien klimarelevanter Vorgänge (z. B. Trockenstress, Beginn der Blüte) zulässt. Die räumliche Auflösung (Pixelgröße) der Satellitendaten erlaubt es wiederum, auch kleinräumige Strukturen und Veränderungen auf lokaler Ebene (z. B. Fruchtfolge auf landwirtschaftlichen Feldern, Eisdrift auf Binnengewässern) zu erfassen. Dabei muss jedoch betont werden, dass die Sentinel-Satelliten keine höchstauflösenden Daten (<10 m) generieren, sondern – abhängig von den Bändern – Satellitenbilder bis zu einer räumlichen Auflösung von 10 m (Sentinel-2) bzw. 20 m (Sentinel-1) erzeugen. Sehr kleinteilige Strukturen und Veränderungen, wie sie z. T. auch von den DAS-Indikatoren gefordert werden (z. B. Umfang von Dachbegrünungen), können somit u. U. nicht erfasst werden.

Durch die hohe **räumliche Abdeckung** von Fernerkundungsdaten ließen sich mit Blick auf die DAS-Indikatoren innerhalb Deutschlands räumliche Differenzierungen vornehmen, die in vielen Fällen zu

einer sachgerechteren Abbildung der Verhältnisse führen können als bundesweite Aggregationen. Allerdings sind die DAS-Indikatoren darauf angelegt, bundesweit aggregierte Informationen zu liefern. Räumliche Spezifizierungen von Aussagen z. B. für Bundesländer oder gar noch kleinere räumliche Einheiten sollen der Zielsetzung des DAS-Indikatorensystems entsprechend bewusst der Länderberichterstattung vorbehalten bleiben. Die Fernerkundung kann daher im Zusammenhang mit den DAS-Indikatoren einige ihrer Stärken nicht ausspielen. Dennoch gibt es Möglichkeiten, sich die besonderen Qualitäten von Fernerkundungsdaten hinsichtlich der räumlichen Auflösung zunutze zu machen:

- ▶ Aggregationen für ausgewählte (größere) Räume, die dem darzustellenden Sachverhalt entsprechend abgegrenzt werden (z. B. Zusammenfassung von Bundesländern oder Naturräumen),
- ▶ Entwicklung von Indikator-Zusätzen, die im Hintergrund der eigentlichen DAS-Indikatoren geführt werden und räumlich differenzierte Darstellungen beinhalten, aber nur für ergänzende textliche Beiträge zum Monitoringbericht von Relevanz sind,
- ▶ aggregierte Darstellungen von Anomalien (Abweichungen von langjährigen Mitteln), die zunächst für einzelnen Regionen ermittelt, dann aber aggregiert dargestellt werden (als Mittel aller Anomalien); denkbar wäre auch, Anomalien zu mehreren Parametern für die einzelnen Jahre zu aggregieren (z. B. Anomalien zur Vegetationsentwicklung, zur Bodenfeuchte, zur Oberflächen Temperaturen, zu Wassertemperaturen, zu schneefreien Gletschern). Dabei würde man sich zugleich auch die unterjährigen Differenzierungen von Satellitendaten für die DAS-Indikatoren zunutze machen.

Die große Herausforderung in der Nutzung der Sentinel-Daten ist die Akquirierung, Vorhaltung und Bereitstellung der enorm großen Datenmengen. Mit dem Sentinel **Data Hub**²² wurde ein Datenportal geschaffen, um die Sentinel-Daten direkt beziehen zu können, allerdings waren die Server in der Vergangenheit oft überlastet (insbesondere mit der Bereitstellung der Sentinel-2 Daten), und die Ladezeiten waren recht lange. Auch werden auf absehbare Zeit dort nur Daten der letzten drei Monate verfügbar sein, nicht aber komplette Archive mit Zeitserien. Die Weiterentwicklung des Data Hubs ist ein kontinuierlicher Prozess, vor allem weil die Herausforderungen der Datenbereitstellung mit den kommenden Sentinel-Daten noch größer werden. Auch haben sich mittlerweile einige nationale Initiativen und Cloud-Lösungen gebildet, die Sentinel-Daten eigens zum Download und für Prozessierungen zur Verfügung stellen (z. B. sogenannte „collaborative ground segments“). Für Deutschland wurde die DLR beauftragt, ein eigenes, nationales Datenportal zu entwickeln, um Sentinel-Daten zu akquirieren und langfristig vorzuhalten (CODE-DE). Grundsätzlich ist jedoch noch unklar, welche Institutionen in Europa welche Daten und Datenlevel langfristig vorhalten werden. Die Entwicklungen hierzu sind sehr dynamisch und sollten im Auge behalten werden.

Eine weitere Herausforderung bei der Nutzung der Sentinel-Daten ist die Datenverarbeitung. Von Seiten der ESA wurde die Sentinel-Toolbox entwickelt, die es ermöglicht, Standardoperationen in der Prozessierung der Satellitendaten (z. B. Atmosphärenkorrektur) durchzuführen. Die Toolbox wird stetig weiter entwickelt und neue Funktionen werden integriert. Trotz dieser Maßnahmen der ESA, die direkte Akquirierung und Nutzung von Sentinel-Daten nutzerfreundlich zu gestalten, verbleiben hohe Anforderungen an die Fachkompetenz und IT-Infrastruktur der Nutzerinstitutionen. Bislang verbleibt die Arbeit mit Sentinel-Daten dadurch vor allem in Forschungseinrichtungen.

2.3.2 Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Dienste

Die Copernicus-Dienste sind grundsätzlich gut geeignet, die Ermittlung der DAS-Indikatoren zu unterstützen, da sie eine große Anzahl an fertigen Produkten zur Verfügung stellen und aufwändige

²² <https://scihub.copernicus.eu/>

Vorprozessierungen oder Weiterverarbeitungen der Sentinel-Daten vorwegnehmen. Vor allem die Copernicus-Dienste zur Landüberwachung, zur Überwachung der Atmosphäre, zur Überwachung der Meeresumwelt und des Klimawandels sowie zum Katastrophen- und Krisenmanagement bieten relevante Informationen für das Klimawandelmonitoring und haben größere **inhaltlichen Überschneidungen** mit den Themen, die über DAS-Indikatoren dargestellt werden sollen (zu weiteren Details bezüglich der inhaltlichen Überschneidungen s. Kap. 3.1):

Der **Land Monitoring Service** ist von großer Bedeutung für das Klimawandelmonitoring, da dessen Erzeugnisse zum einen eine hohe Aufnahmefrequenz besitzen (Produkte der globalen Komponente) und zum anderen räumlich gut aufgelöste Informationen zur Landbedeckung und -nutzung bereitstellen (Produkte der pan-europäischen und lokalen Komponente). Dadurch ermöglichen sie Analysen hochdynamischer und kleinräumiger Veränderungen und stellen, gerade in Kombination mit anderen Datensätzen, wertvolle Informationen für die Ermittlung der DAS-Indikatoren zur Verfügung. Interessant können die Produkte beispielsweise für das Monitoring der Auswirkungen von Trocken- und Hitzeperioden auf die Vegetation sowie für die Beschreibung von Bodenfeuchte und Bodenfeuchteanomalien sein. Einschränkend gilt allerdings für die globalen Produkte, dass sich lokale Auswirkungen aufgrund der groben räumlichen Auflösung (i. d. R. 1 km) nur bedingt erfassen lassen. Bei den pan-europäischen und lokalen Produkten sind die meisten Datensätze aufgrund ihrer längeren Updatefrequenz (drei bis sechs Jahre) nicht für ein Monitoring von jährlichen Veränderungen (zum Beispiel von Sturmschäden) geeignet.

Durch die Analyse der atmosphärischen Zusammensetzung sind die Produkte des **Atmosphere Monitoring Service** allgemein von besonderer Bedeutung für das Klimawandelmonitoring. Die meisten Produkte liefern allerdings Informationen über Klimasignale (Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen, Solarstrahlung etc.) und lassen nicht direkt Rückschlüsse auf Klimawandelauswirkungen oder -anpassungen zu. Somit spielen sie für die unmittelbare Ermittlung der DAS-Indikatoren, die auf die Impact-Ebene (Klimafolgewirkungen) und die Response-Ebene (Anpassungsmaßnahmen) fokussieren, eine eher untergeordnete Rolle. Parameter zur Luftqualität, Ozonkonzentration und UV-Strahlung können allerdings wertvolle Informationen auch zum Klimafolgenmonitoring liefern und sollten deshalb für die DAS nicht unberücksichtigt bleiben.

Auch die Produkte des **Marine Monitoring Service** stellen eine wichtige Informationsquelle für das Klimawandelmonitoring dar, insbesondere da sie über lange Zeitreihen und eine hohe zeitliche Auflösung verfügen. Aufgrund des kleinen Meeresanteils Deutschlands werden sie für die DAS-Indikatoren allerdings etwas weniger Verwendung finden (Binnengewässer werden durch den Dienst nicht abgedeckt).

Vor dem Hintergrund, dass der **Climate Change Service** darauf ausgelegt ist, lange Zeitreihen zu generieren, und damit eine hohe Kontinuität und Konsistenz der Datenreihen und Algorithmen verspricht, bieten sich dessen Produkte für die Generierung von DAS-Indikatoren in besonderer Weise an. Aufgrund der Tatsache, dass sich der Dienst aber noch im Aufbau befindet, lässt sich mit seinen Produkten noch nicht experimentieren. Weitere Ausführungen zur Weiterentwicklung des Dienstes finden sich in Kap. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

Der **Emergency Management Service** spielt eher eine untergeordnete Rolle für die Generierung von DAS-Indikatoren. Allerdings bietet die Mapping Komponente interessante Informationen zum Ausmaß von Überschwemmungsflächen oder zu Schäden in Folge von klimatisch bedingten Naturkatastrophen.

Trotz dieser generellen Potenziale und Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Services für das Klimawandelmonitoring im Allgemeinen und die Ermittlung der DAS-Indikatoren im Speziellen, ist die

Nutzung der frei verfügbaren Copernicus-Services bisher noch eingeschränkt und es liegen nur wenige praktische Erfahrungen vor. Dies kann unterschiedliche Ursachen haben, die auch für die Generierung von DAS-Indikatoren von Relevanz sein können:

- ▶ **Entwicklungsstand der Services:** viele Datensätze befinden sich noch in der Entwicklungs- oder Validierungsphase, und die Endprodukte stehen oft noch nicht zur Verfügung. Eine Ausnahme stellen die Produkte des Land Services dar, wie z. B. der oben bereits erwähnte CLC-Datensatz, der seit mehreren Jahren in bestehenden Monitoringsystemen Anwendung findet.
- ▶ **Produktqualität:** Eine Einschränkung ist oft die bestehende Produktqualität. So gibt es in einigen Produkten noch Datenlücken (z. B. in den HRLs des Land Monitoring Service), wodurch deren Einsatz für die Nutzung (auch die Generierung von DAS-Indikatoren) eingeschränkt bleibt.
- ▶ **Metadateninformation:** Beim Marine Monitoring Service und Atmosphere Monitoring Service sind die Produktkataloge noch recht undurchsichtig, da teilweise mehrere Produkte zu einem Parameter zur Verfügung stehen. Das bedeutet, Parameter, die auf den ersten Blick identische Aussagen liefern, können mit sehr unterschiedlichen Algorithmen und Modellen oder basierend auf unterschiedlichen Ausgangsdaten gerechnet sein. Dadurch lässt sich nur schwer eine Einschätzung (insbesondere von Nicht-Experten) darüber treffen, welches Produkt für den spezifischen Anwendungsfall am besten geeignet ist. Neben der Frage, welche Parameter für die Generierung von DAS-Indikatoren interessant sein können, stellt sich damit auch die Frage, aus welchem Produkt der jeweilige Parameter sinnvoller Weise zu entnehmen ist. Zur Klärung dieser Frage sind Nutzer stark auf eine gute Dokumentation, Metadatenbeschreibung und Qualifizierung der jeweiligen Produkte angewiesen. Momentan geht aus der Dokumentation vieler Produkte (insbesondere des Marine Monitoring Service) jedoch oft nicht exakt hervor, wie die Datensätze erstellt wurden und welche Inputdaten für deren Generierung verwendet wurden. Dadurch lässt sich eine Qualitätseinschätzung, insbesondere mit Blick auf geeignete Anwendungsfälle, nur begrenzt treffen.

Die Erfahrungen auf Copernicus-Nutzerforen und Workshops (s. o.) machen deutlich, dass viele Copernicus-Anwendungen entweder direkt auf die Sentinel-Daten zugreifen (vgl. Kap. 2.3.1) und auf diesen basierend die Entwicklung von Value adding-Services (s. Kap.2.2.5) durchführen. Konkrete Beispiele für die Nutzung der Copernicus- Dienste bzw. -Produkte sind hingegen noch wenig verbreitet. Vor allem die Nutzung der Copernicus- Dienste durch Behörden hat grundsätzlich noch immer eher experimentellen Charakter. Umfangreichere Erfahrungen zu einer Nutzung für behördliche Monitoring-Aufgaben oder auch die Bildung operationeller Indikatoren gibt es noch nicht. Hingegen sind inzwischen einige Projekte zur Entwicklung im Value adding-Services angestoßen worden (z. B. Nutzung von Sentinel-Daten zur Unterstützung des Gewässermonitorings zur Erfüllung von WRR-Berichtspflichten i. A. des LfU Bayern und der LUBW Baden-Württemberg oder zum Aufbau eines Fast Reponse-Systems für die Identifizierung von Risikoflächen für Kalamitäten nach Windwürfen i. A. der LWF). Aus diesen derzeit recht neuartigen Nutzungen werden sich auch weitere Anforderungen an die Erleichterung der Daten- und Informationsbereitstellung sowie die Metadatendokumentation ergeben (s. auch Kap. 4). Die bisher in Deutschland noch eher geringe direkte Nutzung der Copernicus-Dienste schließt aber keineswegs aus, dass das UBA mit dem DAS-Indikatorensystem als ein solcher „Endnutzer“ für Copernicus- Dienste auftritt.

2.3.3 Nutzungsmöglichkeiten der Value adding-Service

Das DAS-Indikatorensystem ist so konzipiert, dass es sich auf bereits verfügbare Daten stützt, und zusätzliche Erhebungen nicht erforderlich werden sollen. Es bestand bei der Entwicklung des Systems außerdem die Vorgabe, dass die Daten für die Generierung der Indikatoren kostenfrei verfügbar

sein sollen. Es soll vermieden werden, dass kostenpflichtige Aufträge für die Berechnung von Indikatoren vergeben werden müssen, denn mit Blick auf die regelmäßige Aktualisierung der Indikatoren für die Fortschreibung des Monitoringberichts zur DAS soll der Aufwand möglichst gering gehalten werden. Nur in sehr wenigen Ausnahmen, für die es keine Alternativen zu Daten aus nicht-behördlichen Quellen gibt, konnte dieser Grundregel bisher nicht entsprochen werden.

Gemäß dieser Zielsetzung wären mit Blick auf Copernicus und die Nutzung von Fernerkundungsdaten für die Weiterentwicklung des DAS-Indikatorensystems zunächst nur Informationen aus kostenfreien Copernicus-Diensten (s. Kap. 2.2.4) nutzbar. Für die Nutzung spezieller Anwendungen aus der Entwicklung kommerzieller, kostenpflichtiger Value adding-Services gäbe es demgegenüber erhebliche Einschränkungen. Allerdings zeigen die Recherchen im Rahmen des Vorhabens, dass neben den Copernicus-Diensten durchaus auch verschiedene Value adding-Services für DAS-Indikatoren von Interesse sein können (s. z. B. Kap. 3.4.4), da diese teilweise bereits spezifischer auf für die DAS interessante Auswertungsinhalte hin zugeschnitten sind und auch für die DAS-Indikatoren relevante Aufbereitungsschritte bereits vollzogen sind.

Vor diesem Hintergrund lohnt sich der Blick auch auf die Entwicklung dieser Value adding-Services. Es muss derzeit davon ausgegangen werden, dass die bereits entwickelten oder derzeit in Entwicklung befindlichen Value adding-Services nicht in frei verfügbare Copernicus-Dienste übergehen. Noch erscheinen die Grenzen zwischen den Copernicus-Diensten und den aktuellen kommerziellen Value adding-Services allerdings nicht klar definiert. Auf dem Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus 2015²³ wurde daher auch von mehreren Rednern empfohlen, eine diesbezüglich Klärung zum Thema des nächsten Nationalen Forums zu machen.

Insgesamt verläuft die Entwicklung der Value adding-Services hoch dynamisch. Dies führt – das wurde auf den diversen Copernicus-Workshops (s. o.) deutlich – teilweise sogar zu parallelen Entwicklungen im unternehmerischen Wettbewerb. Die Unternehmen, vor allem wenn sie eigeninitiativ Dienste aufbauen, haben ein berechtigtes ökonomisches Interesse daran, ihre Entwicklungen erfolgreich zu vermarkten.

Vor dem Hintergrund dieser Ausführungen gibt es mit Blick auf die DAS-Indikatoren grundsätzlich die folgenden Optionen:

- A: Es werden nur kostenfreie Copernicus-Dienste für die Generierung von DAS-Indikatoren in Anspruch genommen (s. Kap. 2.2.4). Die Grenzen der kostenfreien Copernicus-Dienste geben damit die Grenzen für die Nutzbarkeit des Copernicus-Programms für die DAS-Indikatoren vor.
- B: Es wird darauf hingewirkt, dass Produkte bzw. Value adding-Services, die für die Generierung von DAS-Indikatoren von Interesse sein können, für die Übernahme in das kostenfreie Service-Programm vorgeschlagen werden.
- C: Das UBA gibt selbst, dem Beispiel anderer Behörden vor allem auf Landesebene folgend, ausgewählte und ggf. von mehreren Fachgebieten nachgefragte und „maßgeschneiderte“ Value adding-Services in Auftrag und erwirbt sich damit die Nutzungsrechte dieser neu geschaffenen Dienste oder etabliert Fernerkundungswissen im Haus, um eigene Dienste-Entwicklungen zu ermöglichen.

Dieses UFOPLAN-Vorhaben ist angetreten, neben der Eruiierung der Möglichkeiten einer Nutzung der Copernicus-Dienste für DAS-Indikatoren auch Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Copernicus-Dienste zu erarbeiten und auszusprechen. In den bisherigen Projekttreffen, teilweise auch auf den o. g. Copernicus-Foren und Workshops wurde das Projektkonsortium u. a. von den nationalen

²³ Nationales Forum für Fernerkundung und Copernicus 2015 in Berlin vom 3.11 bis 5.11.2015

Fachkoordinatoren ausdrücklich zu solchen Empfehlungen ermutigt. Die Empfehlungen können dabei auch – ganz im Sinne von Option B – auf die Überführung von Value adding-Services in die allgemein zugänglichen Copernicus-Dienste gerichtet sein. In welchem Umfang eine solche Überführung realistisch erscheint, lässt sich derzeit allerdings nur schwer abschätzen. Denkbar wäre auch – z. B. finanziert aus dem nationalen Maßnahmenprogramm (s. Kap. 2.2.6) – eine nationale Initiative zur Entwicklung von speziell für Bundes- und Länderbehörden interessanten Value adding-Services, um das Potenzial der Fernerkundungsdaten noch besser ausschöpfen zu können. Unabhängig davon bedeutet das für dieses Vorhaben, dass erstmal sowohl Copernicus-Dienste als auch Value adding-Services für die Ermittlung der DAS-Indikatoren berücksichtigt und empfohlen werden (unabhängig von der letztendlichen Finanzierung der Value adding-Services).

2.3.4 Nutzungspotenziale jenseits von Copernicus

Jenseits der aus dem Copernicus-Programm angebotenen Dienste und Daten gibt es auch andere auf Fernerkundungsdaten basierende Produkte, die für die Ermittlung der DAS-Indikatoren von Interesse sein können. Zwar fließt eine Reihe anderer europäischer oder nicht-europäischer Satellitenmissionen als contributing missions in das Copernicus-Programm ein, die darauf basierenden und bereits bestehenden Fernerkundungsprodukte sind derzeit jedoch nicht über die Copernicus-Dienste abrufbar. Es ist auch nicht ersichtlich, dass diese in Zukunft über Copernicus verfügbar gemacht werden.

Somit stellt sich bei der Wahl geeigneter Fernerkundungsprodukte für die Generierung von DAS-Indikatoren nicht nur die Frage, welches das passendste Copernicus-Produkt ist, sondern auch, ob ggf. Produkte anderer Initiativen geeigneter erscheinen. Die Herausforderung einer guten Produktauswahl wurde u. a. im Rahmen des Vorhabens am Beispiel des Parameters Solarstrahlung offensichtlich. So scheint beispielsweise der Solarstrahlungsparameter des Atmosphere Monitoring Service („MACC-RAD surface solar irradiation“) für die Indikatorentwicklung möglicherweise weniger geeignet als der von CM SAF²⁴ bereits heute angebotene homogene Strahlungsdatensatz (SARAH Datensatz), der mehr als 30 Jahre abdeckt.

Die Satellite Application Facilities (SAF) wären somit eine interessante Datenquelle für die Ermittlung der DAS-Indikatoren. Die Initiative wurde von EUMETSAT entwickelt, um auf Fernerkundungsdaten basierende, operationelle Daten und Produkte zum Monitoring von meteorologischen und umweltrelevanten Themen zur Verfügung zu stellen. Insgesamt gibt es acht SAFs²⁵, wobei insbesondere die Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF), die Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility (OSI SAF), die Land Surface Analysis Satellite Application Facility (LSA SAF), die Satellite Application Facility on Support to Operational Hydrology and Water Management (H SAF) und die Satellite Application Facility on Ozone and Atmospheric Chemistry Monitoring (O3M SAF) für die DAS-Indikatoren von Bedeutung sein können.

Eine andere interessante Initiative ist die Climate Change Initiative (CCI), die von der ESA lanciert wurde, um in verschiedenen Projekten 14 der 50 ECVs mittels Satellitenfernerkundung zu ermitteln²⁶. Auch die amerikanische NOAA hat zur Unterstützung der ECVs ein Programm entwickelt, das Climate Data Record Program, das auf Satellitendaten basierende klimarelevante Parameter über lange, konsistente und kontinuierliche Datenreihen (Climate Data Records CDRs) zur Klimavariabilität und Klimawandel herstellen soll. Derzeit wird operationell an mehreren CDRs gearbeitet²⁷.

²⁴ Datenportal: <https://wui.cmsaf.eu>

²⁵ www.eumetsat.int/website/home/Satellites/GroundSegment/Safs/index.html

²⁶ http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/ESA_CCI_140605.pdf

²⁷ www.ncdc.noaa.gov/cdr

All diese Initiativen generieren ähnliche bzw. oft identische Parameter wie die Copernicus-Dienste, allerdings u. U. basierend auf unterschiedlichen Algorithmen und Modellen. Die Einbindung mancher dieser Produkte in den Copernicus Climate Change Service ist geplant, jedoch ist momentan noch nicht klar ersichtlich, wie genau dies aussehen wird. Zum jetzigen Zeitpunkt ergeben sich durch die große Anzahl an ähnlichen Datenquellen Herausforderungen für potenzielle, insbesondere nicht-wissenschaftliche Nutzer der Copernicus-Dienste.

3 Weiterentwicklung von DAS-Indikatoren

Aus der Lückenanalyse zum DAS-Indikatorensystem (s. Kap. 2.1.2) geht erwartungsgemäß hervor, dass bezogen auf das breite thematische Spektrum des Themenfelds Klimaanpassung zahlreiche Lücken im DAS-Indikatorensystem bestehen. Die Gegenüberstellung dieser Lücken mit den Möglichkeiten, die sich mit den Daten und Informationen der Fernerkundung eröffnen (s. Kap. 2.2), führt zu konkreten Vorschlägen und Ansatzpunkten für die Entwicklung neuer oder die Ergänzung bestehender DAS-Indikatoren.

3.1 Vorgehensweise

Die Prüfung der Möglichkeiten von Lückenschlüssen im DAS-Indikatorensystem durch die Nutzung von Satellitendaten erfolgte anhand einer Excel-Tabelle, die wie in Tabelle 4 dargestellt gegliedert wurde und in der die Rechercheergebnisse aus der Lückenanalyse zum DAS-Indikatorensystem (s. Kap. 2.1.2) und des Copernicus-Programms (s. Kap. 2.2) zusammengeführt wurden. Die vollständige Excel-Tabelle mit dem bis zum Projektende erreichten Analysestand zu Indikationsmöglichkeiten wird dem Auftraggeber als internes Arbeitsdokument. Für die einzelnen DAS-Handlungsfelder werden die Recherche- und Diskussionsergebnisse in den sogenannten Hintergrundpapieren zum DAS-Indikatorensystem (s. Kap. 2.1.1) zusammengefasst, um den Fortschreibungsprozess nach den Regeln der DAS-Indikatorenentwicklung transparent zu dokumentieren. Die Hintergrundpapiere sind diesem Bericht im Anhang 4 beigelegt.

Tabelle 4: Zusammenführung der Ergebnisse aus der Lückenanalyse zum DAS-Indikatorensystem und der Recherchen zum Copernicus-Programm – Beispiel aus dem Handlungsfeld Bauwesen

Systematisierung

Handlungsfeld	Bauwesen
Kategorie	Response
Indikationsfeld	Anpassung der Art und Verteilung der (Frei-) Flächennutzung
Priorisiert (ja / nein)	Response-Indikationsfelder ohne Priorisierung
Thematischer Teilaspekt	Verbesserung der bioklimatischen Bedingungen Förderung der Siedlungsbiodiversität (Neuanlage von Grünstrukturen und Biotopverbund)
Indikatoren / Schnittstellen	BAU-R-1: Erholungsflächen
Einstufung, Lückenfall	③ (s. Einstufung nach Vorgaben in Kap. 2.1.2, hier: Proxy-Indikator)

Ansatzpunkte für Nutzung Copernicus / Fernerkundung (FE)

Ansatzpunkte	Für die Weiterentwicklung des Indikators ist ein Bezug auf bioklimatisch belastete Räume sowie eine inhaltlich stärkere Fokussierung auf grüne Strukturen in diesen Räumen vorgesehen. Die auf der Basis der bislang für den Indikator BAU-R-1 genutzten statistischen Daten ermittelten Erholungsflächen umfassen auch Flächen, die keine Grünstrukturen aufweisen bzw. versiegelt sind.
---------------------	---

	<p>Mit Satellitendaten wäre eine Weiterentwicklung des Indikator in zwei Richtungen möglich: 1. Identifizierung der Grünstrukturen im urbanen Raum, 2. Umfang der Versiegelung im urbanen Raum. Eine detailliertere Betrachtung der Grünstrukturen ließe sich ggf. auch mit Blick auf die Siedlungsbiodiversität auswerten.</p>
<p>Zweck</p>	<p>Weitere Qualifizierung des bestehenden Proxy-Indikators oder dessen Ersatz durch einen neuen Indikator</p>
<p>Indikationsidee</p> <p>Projekte zur themenbezogenen Nutzung von Copernicus-Daten bzw. Fernerkundung inkl. value added projects, relevante Publikationen</p> <p>Potenziell geeignete Copernicus Dienste / Produkte, andere FE-Möglichkeiten</p>	<p>Urbane Grünflächenverteilung und urbaner Versiegelungsgrad</p> <p>s. auch 70. Indikator der Sustainable Development Goals: http://indicators.report/indicators/i-70/</p> <p>Land Monitoring Service:</p> <p>Mehrere Datensätze zur Grünflächenausstattung, die einzeln oder in Kombination miteinander die Vegetationsbedeckung (z. B. Parkanlagen, Baumgruppierungen) in Städten erfassen. Dazu zählen z.B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Urban Atlas ▶ HRL Forest <p>Über eine GIS-Analyse können anschließend innerstädtische Vegetationsflächen abgegrenzt werden, da diese für das urbane Bioklima und die Erholungsflächenversorgung eine größere Rolle spielen als beispielsweise Flächen am Stadtrand.</p> <p>Ebenfalls im Dienst zur Landüberwachung steht für die Versiegelung potenziell das Copernicus-Produkt HRL Imperviousness zur Verfügung. Durch eine GIS-Analyse können urbane Räume abgegrenzt werden und die Versiegelung pro Stadt berechnet werden (als Negativ zur urbanen Grünflächenverteilung).</p>
<p>Grenzen der Nutzung von FE-Daten / Verfügbarkeit des Dienstes, Auflösung</p>	<p>Räumliche und zeitliche Auflösung:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▶ Urban Atlas: MMU von 0,25 ha für 2006 und 2012, künftig alle drei Jahre ▶ HRL Forest: 20 m für 2012 , alle 3 Jahre ▶ HRL Imperviousness: 20 m, für das Jahr 2012 vorliegend , alle drei Jahre, ggf. auch rückwirkend bis 2006 <p>Grenzen:</p> <p>Eine wichtige Rolle für das Stadtklima spielen Dachbegrünungen. Diese werden allerdings aufgrund ihrer kleinräumigen Struktur über die angegebene Datensätze des Copernicus-Programms nicht erfasst. Dafür wären hochauflösende Satellitendaten (<5 m) notwendig, die allerdings i. d. R. nicht kostenfrei bezogen werden können.</p> <p>Eine Verbesserung des bestehenden Indikators ließe sich aber auch ohne die Berücksichtigung der Dachbegrünungen erreichen.</p>

Weiterentwicklung Copernicus Dienste / Produkte Erforderliche Klärungen	Eine ähnliche Problematik stellt sich mit Blick auf die Nutzung dieser Daten für die Analyse der Siedlungsbiodiversität. Auch hier wäre die Erfassung kleinräumiger Strukturen erforderlich, um beispielsweise auch Vernetzungen darstellen zu können.
	nicht erforderlich
	vorerst nicht ersichtlich

Resümee

Weitere Bearbeitung A (zur Definition der Kategorien s. nachstehende Ausführungen)

Das Resümee ergibt sich aus der Zusammenschau der Informationen und Einschätzungen und mündet in die Bildung dreier Kategorien, die über die weitere Bearbeitung der Einzelfälle entscheidet:

A: Es existiert bereits ein Copernicus-Dienst, der Daten für die Generierung des Indikators liefern kann; es sind keine bzw. lediglich vom Aufwand her überschaubare Aufbereitungsschritte erforderlich.

Im Falle der Kategorie A ist es möglich, unmittelbar an einem Indikatorvorschlag weiterzuarbeiten und die Indikationsidee weiter zu präzisieren. Für diese Fälle ist die Ausarbeitung eines ersten Entwurfs zu einem Indikator-Factsheet nach dem Modell des DAS-Indikatorenprojekts möglich und sinnvoll (s. Kap. 3.3).

B: Daten für die Generierung eines DAS-Indikators ließen sich aus Copernicus-Daten oder anderen Satellitendaten extrahieren, aber hierfür sind aufwändigere Verfahren erforderlich, und es bestehen unter Umständen methodische oder datenbezogene Schwierigkeiten bei der Auswertung. Für diese Kategorie erscheint der Einsatz von Satellitendaten aus dem Copernicus Programm technisch möglich. Das generelle Potenzial solcher Anwendungen lässt sich auch über Studien und Veröffentlichungen belegen. Allerdings existieren derzeit keine Copernicus-Dienste, die unmittelbar für die Indikatorberechnung verwendet werden könnten. Anwendungen würden dementsprechend manuelle Auswertungsverfahren (z. B. visuelle Interpretation am Bildschirm) oder teilautomatisierte Verfahren (z. B. überwachte Klassifizierung anhand von Trainingsgebieten) erfordern. Die Auswertung kann mit erheblichem Aufwand verbunden sein, da noch keine allgemeingültigen Methoden oder Algorithmen existieren und für den spezifischen Fall erst entwickelt oder angepasst werden müssen.

Für die in diese Kategorie eingestuften Indikatoren gilt grundsätzlich, dass eine unmittelbare Präzisierung des Indikators noch nicht möglich ist. Aus den Überlegungen zur Nutzung von Copernicus- oder anderen Satellitendaten lassen sich jedoch Anregungen zur Entwicklung von Copernicus-Diensten ableiten. Für diese Indikationsideen wird auf Kap. 3.4 verwiesen.

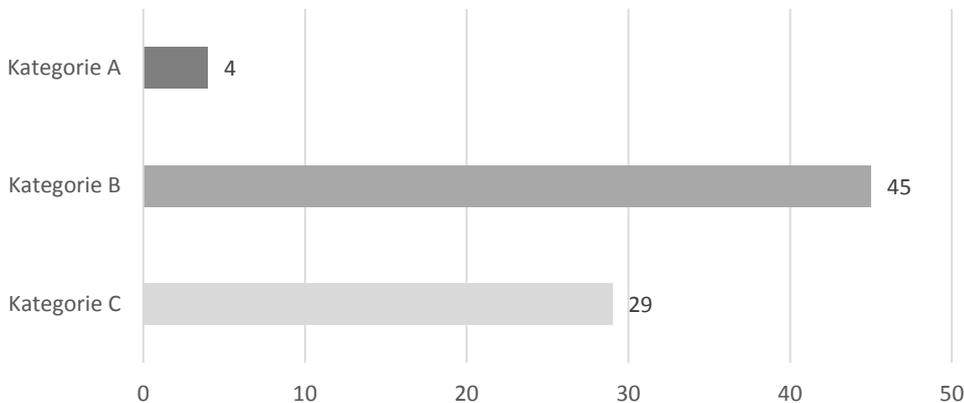
C: Die Indikationsidee wurde diskutiert, muss aber vermutlich verworfen werden, da die Copernicus-Daten oder andere Satellitendaten den Indikationsgegenstand zu wenig genau treffen oder ein ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis absehbar ist.

Hierzu erscheinen aus derzeitiger Sicht weitere Überlegungen zumindest im Rahmen dieses Projekts nicht zielführend. Die Rechercheergebnisse sind damit lediglich in der o. g. Excel-Tabelle dokumentiert.

Zum Projektabschluss, d. h. nach konkreter Sichtung von Datensätzen und diversen Erprobungen (s. Kap. 3.3 und 3.4) ergibt sich die in Abbildung 6 gezeigte Verteilung von Indikationsmöglichkeiten auf die o. g. drei Kategorien. Die Gesamtsumme der insgesamt fast 80 geprüften Indikationsfelder

und Indikatoren liegt jeweils unter der Zahl der im DAS-Indikatorenprojekt beschriebenen Indikationsfelder und Indikatoren, da im Vorfeld bereits diejenigen Felder und Indikatoren von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen wurden, für die kein Zusammenhang mit Fernerkundungsdaten erkennbar war (s. auch Anhang 2)²⁸.

Abbildung 6: Kategorisierung von Indikationsmöglichkeiten



Konkrete Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren oder auch die Entwicklung zusätzlicher Indikatoren bieten vor allem die in die Kategorie A eingestufteten Indikatoren. Im Zuge der Datensichtung und Erprobung von Auswertungen reduzierte sich deren Zahl jedoch auf nur vier Indikatoren. Mehrere andere, zunächst in die Kategorie A eingestufte Indikatoren mussten in die Kategorie B „zurückgestuft“ werden.

Die differenziertere Auseinandersetzung mit den Satellitendaten und Auswertungsmöglichkeiten zu für die genauere Betrachtung ausgewählter Indikatoren ergab große Unterschiede in der Operationalisierbarkeit. Nicht immer liegt die Berechnungsmethode der Indikatoren auf der Hand. Mitunter ist auch noch eine Entscheidung zwischen unterschiedlichen möglichen Datenquellen zu treffen. So lassen sich manche Indikatoren vergleichsweise unmittelbar aus Copernicus-Daten oder -Diensten ableiten, in anderen Fällen gibt es die Notwendigkeit, zusätzliche Datensätze hinzuzuziehen oder auf Value adding-Services zuzugreifen. In wieder anderen Fällen könnten sich andere Fernerkundungsdaten-gestützte Darstellungen möglicherweise sogar als geeigneter erweisen als die verfügbaren Copernicus-Produkte.

Die Auswahl der konkret zu erprobenden Indikatoren erfolgte anhand der folgenden Kriterien:

- ▶ möglichst konkret erscheinende Ansatzpunkte für die Generierung bzw. Weiterentwicklung von DAS-Indikatoren (Indikatoren der Kategorie A sowie operationalisierbar erscheinende Indikatoren der Kategorie B),
- ▶ Möglichkeiten zur Generierung neuer und nicht nur Weiterentwicklung bereits bestehender Indikatoren (letztendlich erwiesen sich aber diese Möglichkeiten einer Entwicklung neuer DAS-Indikatoren als sehr begrenzt),
- ▶ Erprobung von Indikatoren zu unterschiedlichen Handlungsfeldern,
- ▶ Erprobung der Nutzung unterschiedlicher Copernicus-Daten und -Dienste,
- ▶ Möglichkeit des Datenvergleichs mit anderen Datensätzen.

²⁸²⁸ Dies betrifft beispielsweise zahlreiche Response-Indikationsfelder, in denen Maßnahmen zu Forschung, Monitoring und Information angesprochen sind.

Die Erprobung erfolgte letztendlich für die im Folgenden genannten Indikatoren (die für die Indikatoren verwendete Codierung bezieht sich dabei auf die offiziellen Codes der DAS-Indikatoren; neu vorgeschlagene Indikatoren sind nach dem zweiten Bindestrich mit einem „X“ bezeichnet; zur Codierung der DAS-Handlungsfelder s. Abkürzungsverzeichnis):

- ▶ Für zwei **Indikatoren der Kategorie A** wurde die konkrete (Weiter-)entwicklungsoption für das DAS-Indikatorensystem erprobt, und es wurde ein fortentwickelter Indikatorvorschlag entworfen (s. **Kap. 3.3**):
BAU-R-1: Erholungsflächen (weitere Qualifizierung bzw. Ersatz des bestehenden Proxy-Indikators; urbanes Grün kann differenzierter beschrieben werden),
WW-R-X: Umfang von Ackerbau im Deichvorland (Entwicklung eines neuen Indikators).
Es wurde nach den Regeln der Dokumentation der DAS-Indikatoren ein Indikator-Factsheet (s. Kap. 2.1.1) erstellt bzw. das vorhandene Indikator-Factsheet fortgeschrieben (s. Anhang 5). Anhand dieser beiden Fälle lässt sich aufzeigen, dass Copernicus-Dienste grundsätzlich für Indikatoren verwendbare Datensätze liefern können, ggf. aber auch andere Quellen bzw. Verarbeitungen von Fernerkundungsdaten interessanter sein können als die Copernicus-Dienste. Für die konkreten Indikatorvorschläge konnten bislang allerdings nur Daten aus dem Dienst zur Landüberwachung herangezogen werden. Die anderen Dienste wurden geprüft, es ergaben sich aber keine konkret umsetzbaren Ansätze.
- ▶ Für die beiden anderen **Indikatoren der Kategorie A aus dem marinen Bereich** ergab die Diskussion, dass das BSH, das die nationale Fachkoordination des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt innehat, gleichzeitig aber auch konkrete Indikatoren zum DAS-Indikatorensystem zuliefert, ein großes Eigeninteresse daran hat, die Einbindung von Fernerkundungsdaten in die Generierung von DAS-Indikatoren voranzutreiben. Dadurch ergibt sich für das UBA (und damit auch für dieses Vorhaben) kein spezifischer Handlungsbedarf für:
WW-I-8: Wassertemperatur des Meeres,
WW-I-9: Meeresspiegel.
Die Verbindung dieser beiden Indikatoren mit Fernerkundungsdaten wird in **Kap. 3.5** diskutiert. Im Zuge dessen wird auch der mit dem Meeresspiegelanstieg im engeren Zusammenhang stehende Indikator WW-I-10: Intensität von Sturmfluten (Kategorie B) angesprochen.
- ▶ Innerhalb der **Indikatoren der Kategorie B** ergaben sich für die folgenden Indikatoren konkretere Ansatzpunkte für erste Erprobungsschritte bzw. für eine genauere Sichtung grundsätzlich verfügbarer Fernerkundungsdaten und Copernicus-Dienste:
GE-I-6: Blaualgenbelastung von Badegewässern (Überführung der Fallstudie in einen bundesweiten Indikator),
WW-R-2: Gewässerstruktur (Erfassung der flussbegleitenden Vegetation),
BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden (Ergänzung der Modelldaten durch Beobachtungsdaten),
BO-R-2: Dauergrünlandfläche (Differenzierung von naturnahen und Intensiv-Grünland),
EW-I-4: Potenzieller und realer Windenergieertrag (Ergänzung durch einen Indikator zum Solarstromertrag),
TOU-I-4: Schneedecke für den Wintersport (ggf. methodische Vereinfachung der Indikator-Berechnung),
RO-R-5: Siedlungs- und Verkehrsfläche sowie
RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen (in beiden Fällen Abbildung der Versiegelung bzw. der bebauten Flächen).
Alle genannten Indikatoren bedürfen zur konkreten Ausgestaltung eines größeren Aufwands oder vollständiger in den Copernicus-Diensten bereitgestellter Daten, um eine bundesweite Berechnung von Indikatoren zu ermöglichen. Die für die Generierung erforderlichen Schritte

und die damit verbundenen Herausforderungen sind in **Kap. 3.4** näher beschrieben. Die Ausarbeitung eines Indikator-Factsheets konnte in dieser Phase sinnvollerweise noch nicht erfolgen.

Die im Rahmen dieses Vorhabens nur begrenzte Erprobung von Indikatoren der Kategorie B impliziert nicht, dass nicht auch weitere Ansätze operationalisierbar sind. Um dies beurteilen zu können, würde es aber auch in diesen Fällen einer vertiefenden kritischen Betrachtung der verfügbaren Fernerkundungsdaten und -dienste bedürfen.

Bei der Kategorisierung der Indikationsmöglichkeiten und der Erprobung von Indikatoren wurde auch deutlich, dass es spezifische Parameter der Fernerkundung gibt, die mit Blick auf die Weiterentwicklung mehrerer DAS-Indikatoren nachgefragt werden. Zu diesen Parametern werden im folgenden Kap. 3.2 erläuternde Aussagen getroffen.

3.2 Fernerkundungsparameter mit besonderem Potenzial zur Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren

Aufbauend auf den Recherchen im Zuge des Vorhabens konnte generell eine Reihe von auf Satelliten- daten basierenden Parametern und Produkten identifiziert werden, die ein besonderes Potenzial zum Monitoring von Klimawandelauswirkungen und Anpassung im Generellen und zur Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren im Speziellen besitzen (s. Tabelle 5). Diese Parameter leiten sich sowohl von den Copernicus-Diensten als auch von anderen, auf Satellitenfernerkundung basierenden, Initiativen zum Klimamonitoring (z. B. CCI, CDRs, ECVs, SAFs) ab. Die Parameter beziehen sich ausdrücklich auf die Klimafolgewirkungen und nicht auf sich ändernde Klimasignale. Dadurch bleiben einige für das Klimamonitoring wichtige Parameter wie z. B. zur atmosphärischen Zusammensetzung oder zum Strahlungshaushalt der Erde unberücksichtigt. Des Weiteren sind in Tabelle 5 keine Parameter verzeichnet, für deren Ermittlung keine Satellitendaten eingesetzt werden können (z. B. river discharge, ocean acidity, permafrost, ground water). Die gelisteten Parameter enthalten zum einen eine kurze Erläuterung zu ihrer Relevanz für das Monitoring von Klimawandelauswirkungen und Anpassung und zum anderen einen Hinweis auf die relevanten DAS-Handlungsfelder (zu den Kürzeln der DAS-Handlungsfelder s. Abkürzungsverzeichnis) und DAS-Indikatoren (berücksichtigt sind dabei nur Indikatoren, die nach den Vorgaben in Kap. 3.1 als A- und B-Indikatoren kategorisiert worden sind).

Tabelle 5: Wichtige auf Fernerkundungsdaten basierende Parameter für die DAS

Parameter	Relevanz für Monitoring von Klimawandelauswirkungen und Anpassung	Teil der Copernicus-Dienste (Cop) Teil anderer Initiativen	Relevante DAS-Handlungsfelder und (existierende und potenzielle) Indikatoren
Terrestrische Beobachtung			
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Vegetationszustand, Trockenheit, Biomasse, Phänologie	Cop: Land Service CDR, LSA SAF	BAU-R-1: Erholungsflächen BAU-I-X: Veränderung der Vegetation in Städten WW-I-7: Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern BD-I-1: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten BD-I-X Zustand von Feuchtgebieten LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen LW-I-2: Ertragsschwankungen LW-I-4: Hagelschäden in der Landwirtschaft LW-I-5: Schaderregerbefall LW-R-1: Anpassung von Bewirtschaftungsrythmen LW-R-6: Landwirtschaftliche Beregnung FW-I-7: Waldzustand
Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FAPAR)	Vegetationszustand, Trockenheit, Biomasse, Phänologie	Cop: Land Service CDR, ECV, LSA SAF	BD-I-1: Phänologische Veränderungen bei Wildpflanzenarten LW-I-1: Verschiebung agrarphänologischer Phasen LW-R-1: Anpassung von Bewirtschaftungsrythmen WW-I-7: Eintreten der Frühjahrsalgenblüte in stehenden Gewässern BAU-I-X: Veränderung der Vegetation in Städten
Leaf Area Index (LAI)	Vegetationszustand, Trockenheit, Biomasse, Phänologie	Cop: Land Service CDR, ECV, LSA SAF	BO-R-X: Kontinuität der Bodenbedeckung auf Ackerflächen FW-I-7: Waldzustand
Land Surface Temperature (LST)	Bodentemperatur, Lufttemperatur, Wärmebelastung	Cop: Land Service LSA SAF in naher Zukunft homogener Datensatz in CM SAF	GE-I-1: Hitzebelastung GE-I-2: Hitzetote BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten BAU-I-2: Sommerlicher Wärmeineleffekt BAU-I-X: Belastung durch Schadstoffe WW-I-5: Wassertemperatur stehender Gewässer TOU-I-3: Wärmebelastung in heilklimatischen Kurorten

Parameter	Relevanz für Monitoring von Klimawandelauswirkungen und Anpassung	Teil der Copernicus-Dienste (Cop) Teil anderer Initiativen	Relevante DAS-Handlungsfelder und (existierende und potenzielle) Indikatoren
Soil Moisture	Trockenheit, Pflanzenwachstum, Landwirtschaftlicher Ertrag	Cop: Land Service ECV, CCI, H SAF	BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden LW-R-6: Landwirtschaftliche Beregnung BO-I-X: Funktionseinschränkung hydromorpher Böden
Snow cover	Wasserverfügbarkeit, Tourismus	Cop: - ECV, CDR, LSA SAF, H SAF	TOU-I-4: Schneedecke für den Wintersport
Glaciers, ice caps and ice sheets	Wasserverfügbarkeit, Meeresspiegelanstieg	Cop: - ECV, CCI	WW-I-X: Veränderung der Gletschermasse (Massenbilanz)
Lake and river colour	Sedimentfrachten, Cyanobakterien, Eutrophierung	Cop: - ECV	GE-I-6: Blaualgenbelastung von Badegewässern WW-I-X: Schwebstofffrachten im Ästuarbereich WW-I-X: Sedimentfrachten in Flüssen
River ice	Schifffahrt	Cop: - CryoLand	VE-I-1: Schiffbarkeit der Binnenschiffahrtsstraßen
Lake and river temperature	Gewässerqualität, Algen	Cop: - ECV	GE-I-6: Blaualgenbelastung von Badegewässern WW-I-X: Beeinträchtigung der Badegewässerqualität
Fire disturbance	Auftreten von Waldbränden	Cop: Land Service ECV, CCI, LSA SAF	FW-I-6: Waldbrandgefährdung und Waldbrand
Surface Albedo	Lufttemperatur, Wärmelast	Cop: Land Service ECV, CM, SAF, LSA SAF	BAU-R-X: Oberflächenalbedo von Städten

Parameter	Relevanz für Monitoring von Klimawandelauswirkungen und Anpassung	Teil der Copernicus-Dienste (Cop) Teil anderer Initiativen	Relevante DAS-Handlungsfelder und (existierende und potenzielle) Indikatoren
Land cover/ Land use	Landnutzungsänderungen, Hilfsdatensatz für die Verarbeitung anderer Datensätze und Input für Modelle	Cop: Land Service ECV, CCI	<p>GE-I-4: Gefährdung durch Eichenprozessionsspinner</p> <p>BAU-R-1: Erholungsflächen</p> <p>WW-R-2: Gewässerstruktur</p> <p>WW-I-X: Größe von Wattflächen</p> <p>WW-R-X: Umfang von Ackerbau im Deichvorland</p> <p>BO-I-1: Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden</p> <p>BO-R-2: Dauergrünlandfläche</p> <p>BO-R-X: Lineare Landschaftselemente als Windbarrieren zum Erosionsschutz</p> <p>BD-I-3: Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen</p> <p>BD-R-X: Zustand von Feuchtgebieten</p> <p>LW-R-2: Anbau und Vermehrung wärmeliebender Ackerkulturen</p> <p>LW-R-X: Anpassung von Fruchtfolgen</p> <p>FW-I-1: Baumartenzusammensetzung in Naturwaldreservaten</p> <p>FW-I-2: Gefährdete Fichtenbestände</p> <p>FW-R-1: Gefährdete Fichtenbestände</p> <p>FW-R-3: Umbau gefährdeter Fichtenbestände</p> <p>TOU-I-X: Größe von Sandstränden</p> <p>RO-R-5: Siedlungs- und Verkehrsfläche</p> <p>RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen</p>
Marine Beobachtung			
Sea level	Meeresspiegelanstieg	Cop: Marine Service ECV, CCI	WW-I-9: Meeresspiegel
Sea Surface Temperature (SST)	Biodiversität, Algen, Tourismus	Cop: Marine Service ECV, CCI, CDR, OSI SAF	WW-I-8: Wassertemperatur des Meeres TOU-I-1: Badetemperaturen an der Küste
Sea Ice	Schifffahrt	Cop: - ECV, CCI, CDR, OSI SAF	WW-I-X: Eisbedeckung VE-I-1: Schiffbarkeit der Binnenschiff-fahrtsstraßen
Ocean Salinity	Biodiversität, Strömungen	Cop: Marine Service ECV	WW-I-X: Salzgehalt des Meeres

Parameter	Relevanz für Monitoring von Klimawandelauswirkungen und Anpassung	Teil der Copernicus-Dienste (Cop) Teil anderer Initiativen	Relevante DAS-Handlungsfelder und (existierende und potenzielle) Indikatoren
Ocean colour	Sedimentfrachten, Cyanobakterien	Cop: - ECV, CCI	GE-I-6: Blaualgenbelastung von Badegewässern WW-I-7: Eintreten der Frühlingsalgenblüte in stehenden Gewässern WW-I-X: Blaualgenbelastung von Meeresbadegewässern
Atmosphärische Beobachtung			
Aerosol	Feinstaubbelastung, Luftgüte	Cop: Atmosphere Service ECV, CCI, CDR, O3M SAF	GE-I-X: Schadstoffkonzentration und Luftqualität BAU-I-X: Belastung durch Schadstoffe
Solar Radiation	UV-Belastung, Solarstromerzeugung	Cop: Atmosphere Service ECV, CDR, CM SAF, OSI SAF, O3M SAF	GE-I-X: Belastung durch UV-Strahlung EW-I-X: Potenzial der Solarstromerzeugung
Air Temperature	Wärmebelastung, Verbreitung von Krankheiten	Cop: - ECV	GE-I-1: Hitzebelastung BAU-I-1: Wärmebelastung in Städten BAU-I-2: Sommerlicher Wärmeinseleffekt
Ozone	UV-Belastung	Cop: Atmosphere Service ECV, CCI, CDR, O3M SAF	GE-I-X: Belastung durch UV-Strahlung
Greenhouse Gases	Schadstoffbelastung, Luftgüte	Cop: Atmosphere Service ECV, CCI	GE-I-X: Vermehrtes Auftreten von Atemwegserkrankungen BAU-I-X: Belastung durch Schadstoffe
Precipitation	Vegetationszustand, Biomasse, Landwirtschaftlicher Ertrag, Erosivität	Cop: - ECV, CDR, H SAF	BO-I-2: Regenerosivität

Die aufgelisteten Parameter ermöglichen unterschiedliche Aussagen zum Zustand der Erde und den Wirkungen des Klimawandels. Sie betreffen verschiedene Handlungsfelder der DAS, wobei der Schwerpunkt auf den Handlungsfeldern Wasserhaushalt, Landwirtschaft, Wald und Forstwirtschaft, menschliche Gesundheit und Bauwesen liegt. Handlungsfelder, zu denen die Beiträge zur Indikatorbildung weniger relevant sind, sind Fischerei, Energiewirtschaft, Finanzwirtschaft, Industrie und Gewerbe, Raum-, Regional und Bauleitplanung und Bevölkerungsschutz. Generell eignen sich diejenigen Parameter in besonderer Weise, die hochdynamische Prozesse in guter zeitlicher und räumlicher Auflösung und über lange Datenreihen abbilden können. Dazu zählen z. B. NDVI, FAPAR, LST, soil water index, sea level, SST, solar radiation, ozone, greenhouse gases etc. Außerdem sind diejenigen Datensätze zur Landbedeckung und -nutzung von hoher Relevanz, die über eine hohe räumliche Auflösung und einen hohen Informationsgehalt verfügen (HRLs, CLC, urban atlas, riparian zones

etc.). Gerade in Kombination mit den dynamischen Parametern können damit grundsätzlich wertvolle weiterführende Berechnungen durchgeführt und Modelle bestückt werden, die Aussagen zu Klimawandelauswirkungen und -anpassung ermöglichen (z. B. Phänologie von Agrarkulturen, Ertragschwankungen, Energie durch Solarstrahlung, Wärmebelastung in Städten etc.).

Allgemein muss jedoch festgehalten werden, dass die beschriebenen Parameter oft nur eine indirekte Indikation über den Zustand eines Systems erlauben und die aussagekräftigere Information oft eher im zeitlichen Verlauf der Werte liegt (Trends und Anomalie) und nicht in den absoluten Werten. Zum Beispiel sagt der NDVI allein nichts über einen kritischen Zustand der Vegetation, wie z. B. Trockenschäden, aus. Nur in der kombinierten Interpretation mit In situ-Beobachtungen lassen sich NDVI-Werte tatsächlichen und für das Klimafolgenmonitoring relevanten Phänomenen zuordnen. Hier wird klar, wie bedeutend In situ-Messungen und zusätzliche Informationen sind, nicht nur um die Satellitendaten zu kalibrieren und validieren, sondern auch um die Ursachen veränderter Werte besser zu verstehen.

3.3 (Weiter-)Entwicklungen von DAS-Indikatoren

Für die konkrete Weiterentwicklung von DAS-Indikatoren wurden mehrere Fälle konkret analysiert und teilweise auch erprobt. Das Ergebnis führte dazu, dass einige auf den ersten Blick vielversprechende Ansätze doch verworfen werden mussten (diese wurden entsprechend in die Kap. 3.4 und 3.5 verschoben). Für den alleinig verbleibenden DAS-Indikator BAU-R-1: Erholungsflächen wurde eine konkrete Weiterentwicklung vorgeschlagen (s. Kap. 3.3.1). Der Indikator „Umfang von Ackerbau im Deichvorland“ (WW-R-X, s. Kap. 3.3.2) wurde neu entwickelt.

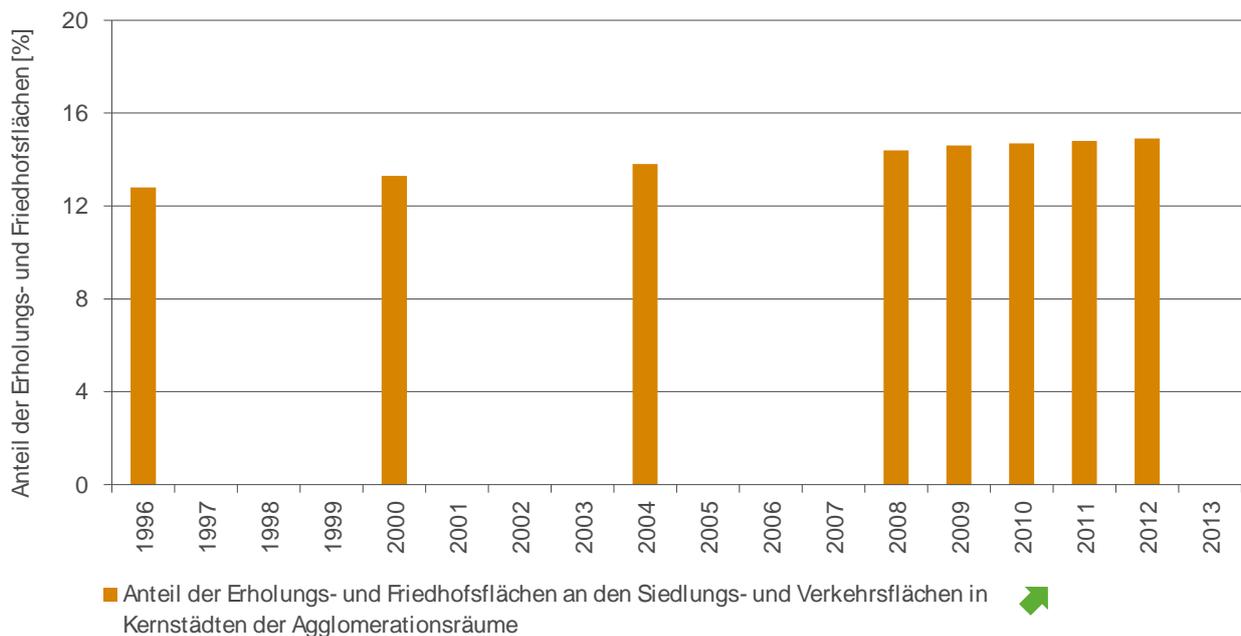
Die folgenden Kapitel geben einen zusammenfassenden Überblick über die Indikatorentwicklung. Die zugehörigen Indikator-Factsheets sind diesem Bericht im Anhang 6 beigefügt.

3.3.1 BAU-R-1: Erholungsflächen

Aktueller Indikator:

Der aktuelle DAS-Indikator ist als Proxy-Indikator angelegt und stellt den Anteil der Erholungs- und Friedhofsflächen an den Siedlungs- und Verkehrsflächen in Kernstädten der Agglomerationsräume dar (s. Abbildung 7).

Abbildung 7: Indikator BAU-R-1 „Erholungsflächen“



Datenquelle: Länderinitiative Kernindikatoren (Indikator C4 – Erholungsflächen)

Der DAS-Indikator entspricht dem LIKI-Indikator C4 Erholungsflächen. Die dafür verwendeten Daten zu Erholungs- und Friedhofsflächen stammen aus der Flächennutzungsstatistik des Statistischen Bundesamts (Flächenerhebung nach der Art der tatsächlichen Nutzung). Als Kernstädte werden kreisfreie Städte mit mehr als 100.000 Einwohnern ausgewiesen. Die Abgrenzung der Agglomerationsräume wurde vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung vorgenommen.

Schwächen des aktuellen DAS-Indikators, neue Entwicklungen:

Der bestehende DAS-Indikator ist als Proxy-Indikator eingestuft, da vereinfachend davon ausgegangen wird, dass in den Kernstädten insbesondere der Agglomerationsräume das Risiko einer Wärmebelastung besonders hoch ist. Die Erarbeitung einer Fallstudie am Beispiel Hessens, die im Rahmen des DAS-Indikatorenprojekts durchgeführt wurde, hat gezeigt, dass bei Vorliegen räumlicher Informationen zu bioklimatischen Belastungsgebieten (Bioklimakarte Hessen²⁹) eine gezieltere Auswahl der bei der Indikatorberechnung zu berücksichtigenden Gemeinden erfolgen könnte. Bisher liegt eine vom DWD geplante bundesweite Aktualisierung der Bioklimakarte für den Zeitraum 1981-2010 noch nicht vor. Ebenso gibt es bislang noch keine bundesweite Bioklimakarte, die nach hessischem Vorbild die Landnutzung für die Ermittlung der Wärmebelastung einbezieht.

Der DAS-Indikator geht außerdem in seiner aktuellen Fassung vereinfachend davon aus, dass alle als Erholungs- und Friedhofsflächen kategorisierten Flächen stadtklimatische Ausgleichsfunktionen übernehmen. Allerdings kann es auch innerhalb dieser Flächenkategorie größere versiegelte Flächen geben, die diese Funktion nicht übernehmen. Gleichzeitig berücksichtigt die Flächenerhebung nach der Art der tatsächlichen Nutzung nicht alle innerstädtischen Grünflächen. So kann es auch außerhalb der solchermaßen kategorisierten Flächen Grünelemente und -strukturen (wie z. B. der Baumbestand von Alleen, begrünte oder baumbestandene städtische Plätze, Hausgärten und den Gebäuden zugeordnetes Grün oder auch Dachbegrünungen) geben, die ebenfalls siedlungsklimatisch wirksam sind, aber statistisch in anderen Kategorien aufgehen. Hinzu kommt, dass zur räumlichen Verteilung

²⁹ http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/klima/bio/d_8_1_1.htm

der Erholungsflächen innerhalb der Siedlungen in der Flächenstatistik keine Aussagen getroffen werden. Im Schlussbericht zu dem im Auftrag des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung (BBR) entwickelten Nachhaltigkeitsbarometer Fläche (SIEDENTROP et al. 2007) wird auf eine weitere mögliche Schwäche hingewiesen, wonach die zuständigen Vermessungsverwaltungen der Bundesländer mit der Kategorie Erholungsfläche unterschiedlich umgehen.

In den Flächennutzungsstatistiken der Bundesländer wurden außerdem in den vergangenen Jahren z. T. deutliche Umwidmungen zugunsten der Erholungsfläche vorgenommen, weswegen die Zunahme der Erholungsfläche für den derzeit betrachteten Zeitraum als statistisches Artefakt zu sehen ist. Der beobachtbare deutliche Anstieg der Erholungsfläche ist durch Effekte dieser Umwidmungen zumindest mit verursacht. Die Interpretation und die Verwendung als Ausgangsbasis für zukünftige Fortschreibungen sind dadurch eingeschränkt.

Für den Proxy-Indikator tritt zudem das Problem auf, dass mit der nächsten Datenaktualisierung des LIKI-Indikators eine Anpassung des Raumbezugs erfolgen wird. Die vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung bisher bereitgestellten Raumstrukturtypen ROB 2005 (Agglomerationsräume, verstädterte Räume und Kernstädte auf der Grundlage der siedlungsstrukturellen Kreistypen 2009), die für den Indikator bislang herangezogen wurden, wurden überarbeitet. Die neuen siedlungsstrukturellen Kreistypen 2011 des BBSR basieren jetzt ausschließlich auf siedlungsstrukturellen Merkmalen. Daraus resultiert auch eine veränderte Datenverfügbarkeit, die es erforderlich machen wird, die Berechnung des Indikators umzustellen. Zukünftig sollen für die Städte, differenziert nach Größenklassen, die Erholungs- und Friedhofsflächen in m² pro Einwohner ausgewiesen werden.³⁰

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten:

Die Information über städtische Grünflächen lässt sich gegenüber den statistischen Daten mithilfe von Satellitendaten stärker differenzieren. Hierfür stehen nach dem aktuellen Stand der Recherchen vor allem die beiden folgenden Datengrundlagen zur Verfügung:

- ▶ **Urban Atlas:** Der Urban Atlas ist Produkt der lokalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung. Er befasst sich mit der detaillierten Kartierung der Landbedeckung aller größeren Städte in Europa. Für 2006 wurden alle Städte mit über 100.000 Einwohnern, 2012 zusätzlich alle Städte mit über 50.000 Einwohnern erfasst. Die Daten liegen für diese beiden Erhebungszyklen vor. In Zukunft soll eine Aktualisierung alle drei Jahre stattfinden. Die kleinste kartierbare Einheit (MMU) beträgt 0,25 ha innerhalb der Stadtgebiete. Damit lassen sich auch kleinere Grünflächen darstellen. Als Landnutzungseinheit ist im Urban Atlas u. a. die Kategorie der „green urban areas“ ausgewiesen.
- ▶ **Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2012):** Das LBM-DE wurde vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie entwickelt und beschreibt geometrische Objekte der Landbedeckung und Landnutzung im Vektorformat. Es basiert auf Teilen des ATKIS-Objektartenkatalogs und ergänzt diese Informationen mithilfe von Satellitenbildmaterial der Sensoren RapidEye und DMC, IMAGE20012 (ESA) und Digitalen Orthophotos (DOPs). Die in ATKIS vorhandenen Landbedeckungs- und Landnutzungsinformationen werden dabei in ein neues Klassensystem überführt, aus denen sich dann die CORINE Land Cover-Kategorien (CLC2012) ableiten lassen. Der Datensatz wird dreijährlich aktualisiert. Die Mindestkartierfläche (MMU) beträgt 1 ha und ist damit gegenüber der bisherigen CORINE Land Cover-Auflö-

³⁰ www.lanuv.nrw.de/liki/index.php?indikator=22&aufzu=0&mode=indi

sung deutlich genauer. Die Nutzungsrechte des LBM-DE2012 sind derzeit noch eingeschränkt. Bundesbehörden haben aber Zugriff auf die Daten. Auch der LBM-DE2012-Datensatz weist die Kategorie der „städtischen Grünflächen“ aus.

Im Falle beider Datensätze beträgt die zeitliche Verzögerung bis zur Publikation der Daten drei Jahre (aktuelle Daten 2012, Publikation in 2015). Wie sich dies in Zukunft entwickelt, ist noch unklar.

In Abbildung 8 und Abbildung 9 ist jeweils die Landbedeckungs- und Landnutzungsinformation aus dem Urban Atlas und dem LBM-DE2012 beispielhaft dargestellt. Der Umriss der Darstellung entspricht der Stadtgrenze gemäß den statistischen bzw. administrativen Gebietseinheiten.

Abbildung 8: Landbedeckung im Stadtgebiet München auf der Basis des Copernicus Urban-Atlas 2012

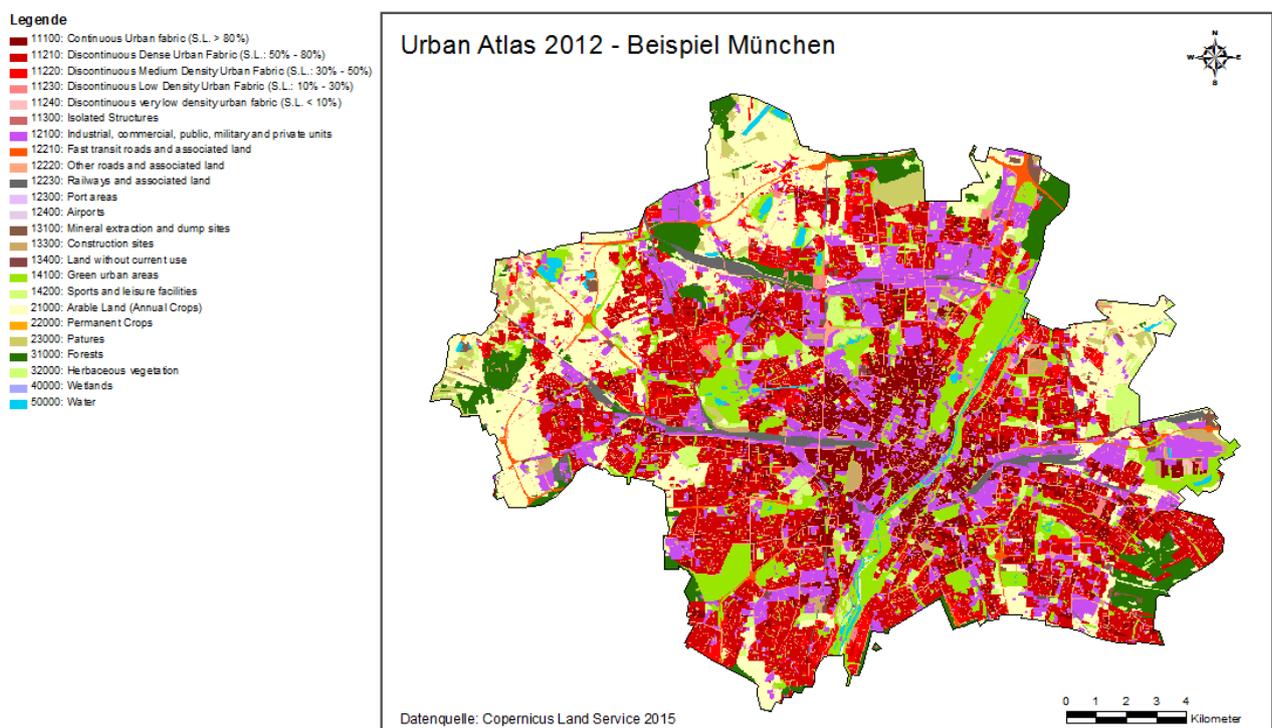
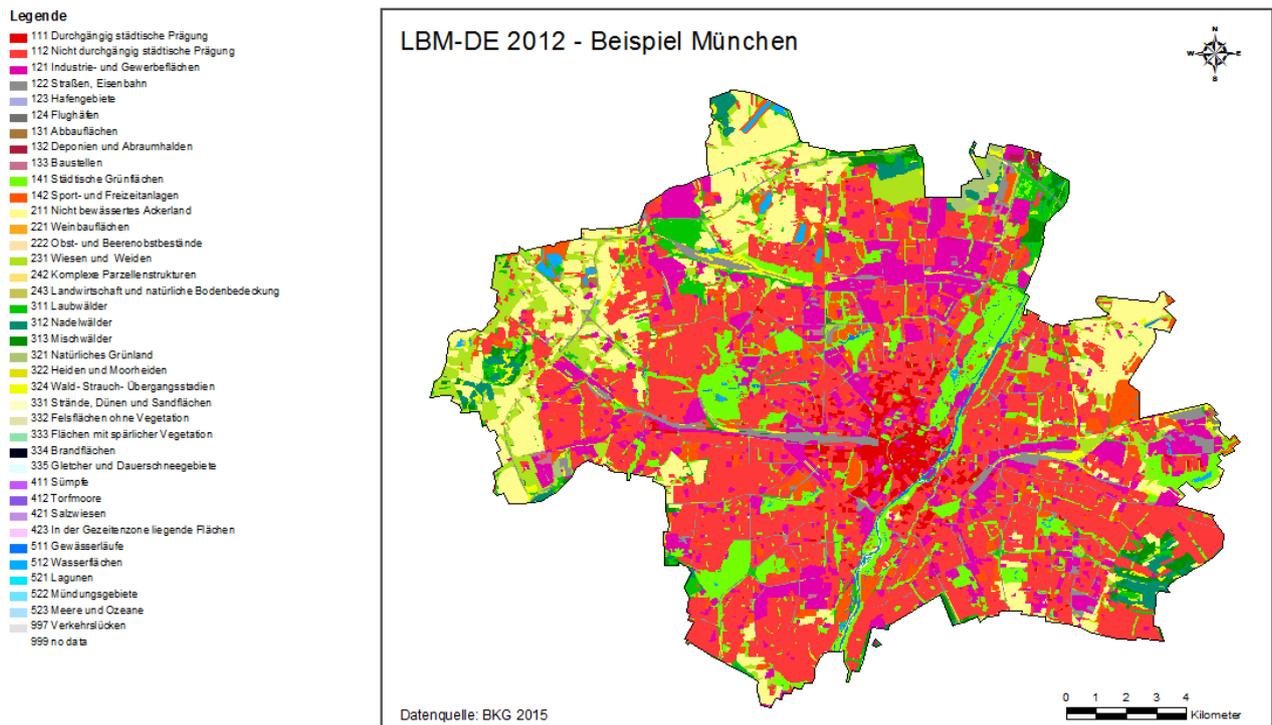


Abbildung 9: Landbedeckung im Stadtgebiet München auf der Basis des LBM-DE2012



Arbeitsschritte bei der Indikator-Umsetzung:

Für die Erprobung eines weiterentwickelten oder alternativen Indikators wurden folgende Schritte vollzogen:

Schritt 1: Auswahl der Städte

Die Berechnung wurde grundsätzlich für alle Städte mit über 100.000 Einwohnern gemäß der Bevölkerungsstatistik des StBA durchgeführt. Deutschlandweit gibt es derzeit 76 Städte mit über 100.000 Einwohnern. Die Abgrenzung bzw. Auswahl der Urban Areas für den Urban Atlas bezog sich nicht ausschließlich auf die Einwohnerzahl, sondern orientierte sich an den im Urban Audit von Eurostat erfassten Städten. Von den im ersten Erhebungsjahr 2006 des Urban Atlas betrachteten „Functional Urban Areas“ werden daher nur 50 der Städte mit über 100.000 Einwohnern erfasst. Für das zweite Erhebungsjahr 2012 des Urban Atlas wurde die Zahl der erfassten Städte insgesamt deutlich erhöht, da nun auch Städte mit über 50.000 Einwohnern berücksichtigt werden. Von den 76 Großstädten über 100.000 Einwohnern in Deutschland sind 71 Städte erfasst. Um der Auswertung für die Jahre 2006 und 2012 eine einheitliche Grundgesamtheit zugrunde zu legen, beschränkt sich die Auswertung auf 53 Städte.

Schritt 2: Abgrenzung des Stadtgebiets

Die „Functional Urban Areas“ des Urban Atlas beziehen die jeweiligen Pendlerzonen der Großstädte mit ein (vgl. DIJKSTRA & POELMAN 2012) und gehen daher z. T. deutlich über die jeweiligen Stadt- und Gemeindegrenzen hinaus. Über die z. T. ausgeprägten Pendlerbeziehungen werden auch eher ländlich geprägte Gebiete berücksichtigt (z. B. umschließt die Urban Area München im Westen Landsberg a. Lech und im Nordosten Moosburg). Um die Auswertung auf die tatsächlich von einer möglichen Überwärmung betroffenen Gebiete zu begrenzen, bezieht sich die Auswertung nur auf die Fläche der administrativen Gebietseinheiten der Kernstadt bzw. der Kernstädte (vgl. Abbildung 8).

Schritt 3: Auswahl des Produkts zur Ermittlung der Landbedeckung

Den „green urban areas“ des Urban Atlas und den „städtischen Grünflächen“ des LBM-DE2012 liegen keine identische Definitionen bzw. Vorgehensweisen zugrunde, so dass für einzelne administrative Gebietseinheiten unterschiedliche Ergebnisse ermittelt werden können. Für drei ausgewählte Städte (Köln, München und Berlin) wurde ein Vergleich der beiden Auswertungen vorgenommen (zu Vergleichszwecken werden außerdem die Ergebnisse der Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung dargestellt). Der Vergleich kommt für die einzelnen Städte zu unterschiedlichen Ergebnissen: Während für München die Übereinstimmung der Daten zwischen dem Urban Atlas und dem LBM-DE2012 vergleichsweise groß ist, sind die Abweichungen für Köln und Berlin deutlich größer. Dies lässt sich mit den verfügbaren Informationen nicht erklären.

Tabelle 6: Vergleich von Städtischen Grünflächen (LBM-DE) bzw. Green urban areas (Urban Atlas)

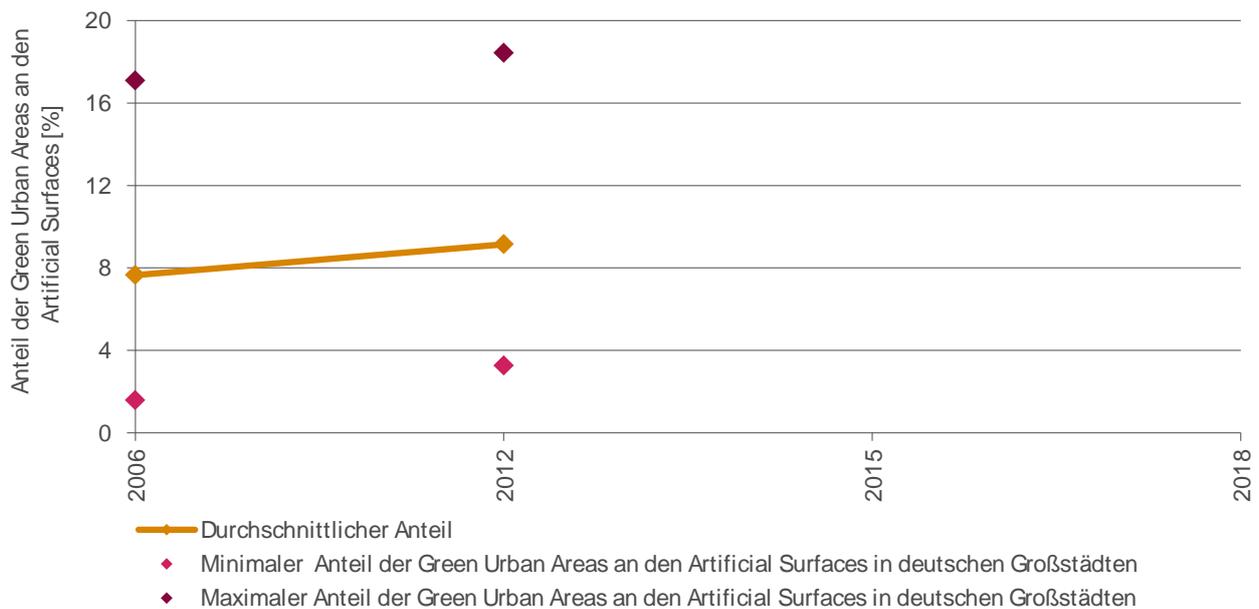
Datenquelle, Auswertung	Berlin [ha]	Köln [ha]	München [ha]
LBM-DE: Städtische Grünflächen (N141)	4.348	2.074	3.022
StBA – Flächenerhebung: Grünanlage	9.682	3.494	2.973
Urban Atlas: Green urban areas (14100)	6.900	3.621	2.974
LBM-DE: Sport- und Freizeitanlagen (N142)	9.600	2.616	1.631
StBA – Flächenerhebung: Sonstige Erholungsfläche	958	791	550
Urban Atlas: Sports and leisure facilities (14200)	5.619	1.823	1.392
LBM-DE: Bebaute Fläche	62.620	24.177	23.519
StBA – Flächenerhebung: Siedlungs- und Verkehrsfläche	62.530	24.644	23.500
Urban Atlas: Artificial Surfaces	62.210	25.266	23.808

Der Auswertung für die Generierung des weiterentwickelten Indikators wurden die Daten des Urban Atlas zugrunde gelegt. Die wesentlichen Vorteile dieser Erhebung liegen in der höheren räumlichen Auflösung von 0,25 ha MMU im Vergleich zur Auflösung von 1 ha des LBM-DE und in der Anwendung einer einheitlichen Methode für das gesamte Bundesgebiet, da sich Unterschiede in der Flächenstatistik zwischen den Bundesländern im LBM-DE niederschlagen.

Schritt 4: Auswertung

Die Fläche der Green Urban Areas wurde als Anteil an den „Artificial Surfaces“ berechnet. Letztere setzen sich zusammen aus den Kategorien „Urban Fabric“, „Industrial, commercial, public, military, private and transport units“, „Mine, dump and construction sites“ und „Artificial non-agricultural vegetated areas“. Die „Green urban areas“ sind Teil der letztgenannten Kategorie. Der aus dieser Berechnung resultierende Indikator ist in Abbildung 10 dargestellt. Aufgrund der starken Unterschiede der Auswertungsergebnisse für die analysierten 50 Städte ist im Indikator auch die Spannbreite der Werte abgebildet (niedrigster vorkommender Wert und höchster vorkommender Wert im jeweiligen Jahr).

Abbildung 10: Weiterentwickelter Indikator BAU-R-1 „Erholungsflächen“



Datenquelle: Copernicus - Urban Atlas

Zusätzliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten:

Für die Weiterentwicklung des Indikators bestehen die folgenden Optionen:

- ▶ Bezüglich des Kollektivs der zu untersuchenden Städte: Eine weitere Eingrenzung des Kollektivs der in die Auswertung einzubeziehenden Städte ist denkbar. So könnte – der ursprünglichen Idee des Indikators BAU-R-1 folgend – beispielsweise eine Eingrenzung auf Städte in bioklimatischen Belastungsräumen erfolgen. Die Bioklimakarte des DWD befindet sich aber derzeit in Überarbeitung; es ist unklar, wann es eine bundesweit nutzbare Version geben wird. Alternativ wäre denkbar, die Städte anhand einer Auswertung zu den auftretenden Oberflächenstrahlungstemperaturen (z. B. basierend auf satellitengestützten Thermalaufnahmen) oder anhand eines durch den DWD bundesweit im 1 km x 1 km-Raster bereitgestellten Datensatzes, z. B. Heiße Tage, auszuwählen. Dies würde allerdings – gegenüber einer einfachen einwohnerbezogenen Auswahl – zusätzliche methodische Überlegungen erfordern.
- ▶ Zur Auswahl der zu berücksichtigenden Flächenkategorien: Neben den „green urban areas“ bzw. den „städtischen Grünflächen“ gibt es innerhalb der Stadtgebiete weitere Landbedeckungs- und Nutzungskategorien, die grundsätzlich im Hinblick auf Funktionen der Frischluftbildung und Kaltluftentstehung von Bedeutung sein können. Dies betrifft beispielsweise auch landwirtschaftliche Flächen vor allem für die Kaltluftentstehung und Wälder für die Frischluftversorgung. Bei alleiniger Fokussierung auf die Überhitzung von Stadtbereichen würden die Wälder aber beispielsweise keine oder eine nur sehr untergeordnete Rolle spielen. Die Einbeziehung weiterer Nutzungskategorien in die Auswertung würde allerdings eine noch genauere Betrachtung der jeweiligen Kategorien und der dahinter liegenden Definitionen erfordern, um Klarheit zu erhalten, welche grünen Strukturen tatsächlich mit welcher Kategorie abgebildet werden. So sind beispielsweise in den Kategorien „sports and leisure facilities“ des Urban Atlas bzw. „Sport- und Freizeitanlagen“ des LBM-DE 2012 grüne Sportplatzflächen inkludiert, die durchaus auch als Kaltluftentstehungsgebiete wirken können. Gleichzeitig enthält diese Kategorie aber ebenso wie die Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung z. T. auch versiegelte Flächen.

- ▶ Zur Berücksichtigung der Lage der grünen Flächen:
Insbesondere für die Kaltluftversorgung der Städte ist deren räumliche Lage zum bebauten Gebiet von hoher Relevanz. In Abhängigkeit u. a. von der topographischen Situation oder der Hauptwindrichtung entscheidet daher nicht nur die Nähe des Kaltluftentstehungsgebiets zur Stadt, ob die Kaltluft auch (u. a. über Ventilationsbahnen) dorthin fließt bzw. fließen kann. Für eine solche differenzierte Qualifizierung von Grünbereichen und -strukturen werden üblicherweise stadtklimatische Untersuchungen erstellt. Hier sind jedoch klare Grenzen zu ziehen zwischen solchen Detailanalysen, die dann vor allem für die städtische Flächennutzungs- und Bebauungsplanung Bedeutung erlangen, und einem bundesweit darzustellenden Indikator, der zwangsläufig Vereinfachungen erfordert, um handhabbar zu bleiben.
Zur Berücksichtigung von Anzahl und Größe von Grünflächen innerhalb von bebauten Gebieten wurde auch für das Nachhaltigkeitsbarometer Fläche ein Ansatz entwickelt, der die Kantlänge zwischen Siedlungsflächen und Siedlungsfreiflächen ins Verhältnis zum Umfang bzw. der Fläche der gesamten Siedlungsfläche setzt. Obwohl auch dieser Ansatz Schwächen aufweist (z. B. erhöhen viele kleinere Siedlungsfreiflächen und unregelmäßige Strukturen den Indikatorwert, obwohl ihre kleinklimatische Wirkung aufgrund von Randeffekten möglicherweise geringer ist als bei weniger und dafür größeren Flächen), könnte diese Idee einen Ansatz für eine Indikation auf Basis von Daten aus der Satellitenfernerkundung liefern.³¹

3.3.2 WW-R-X: Umfang von Ackerbau im Deichvorland

Begründung für zusätzlichen Indikator:

Maßnahmen des ökologischen Hochwasserschutzes werden im bisherigen DAS-Indikatorenset über die beiden folgenden Indikatoren angesprochen:

- ▶ WW-R-2 Gewässerstruktur: Dargestellt wird der Grad der Abweichung der Gewässerstruktur vom natürlichen Zustand für „erheblich veränderte“ und „nicht erheblich veränderte“ Fließgewässer. Die Berechnung und Klassifizierung erfolgt nach den Vorgaben der LAWA und der siebenstufigen LAWA-Klassifizierung zur Ermittlung der Gewässerstruktur. Der Indikator steht aber nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz.
- ▶ BD-I-3 Rückgewinnung natürlicher Überflutungsflächen: Abgebildet wird dabei der jährliche Flächenzuwachs der rückgewonnenen Aue durch Deichrückverlegungen in den Haupteinzugsgebieten von Maas, Rhein, Ems, Weser, Elbe, Oder, Donau sowie der direkten Zuflüsse zu Nord- und Ostsee.

Neben der Neuschaffung natürlicher Retentionsflächen geht es bei Diskussionen um einen ökologischen Hochwasserschutz immer wieder auch um hochwasser- / auenverträgliche Landnutzungsformen in den Auen bzw. im Deichvorland (d. h. im Bereich der „aktiven“ Aue). Ein wichtiger Adressat ist dabei die Landwirtschaft. Landwirtschaftliche Nutzungsaufgaben im Deichvorland werden auf gesetzlicher Ebene üblicherweise nicht getroffen, wobei in einigen Gebieten Maisanbau-Verbotzonen ausgewiesen werden. Dies geschieht wesentlich auch aus hydraulischen Gründen, da Mais den Hochwasserabfluss stark behindern kann. Die aus wasserbaulicher Sicht bevorzugte Landnutzungsform ist das Dauergrünland, die aus naturschutzfachlicher Sicht idealer Weise in Form von Wiesennut-

³¹ Siedentop S., Heiland S., Lehmann I., Hernig A., Schauerte-Lüke N. 2007: Nachhaltigkeitsbarometer Fläche – Regionale Schlüsselindikatoren nachhaltiger Flächennutzung für die Fortschrittsberichte der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie – Flächenziele. In: BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung & BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Forschungen Heft 130; Bonn, 178 S.

zung und extensiver Beweidung erfolgen sollte. Von Naturschutzseite wird vielfach ein Grünlandumbruchverbot in der Aue gefordert. Ackernutzung auf Überschwemmungsflächen erhöht außerdem die Gefahr eines vermehrten Nähr- und Schadstoffeintrags in die Gewässer.

Die Landnutzung in der Aue bzw. im Deichvorland, d. h. der aus Landsicherungs- oder Landgewinnungsmaßnahmen entstandene Landstrich zwischen einem Gewässer und einem Deich, konnte bisher aus datentechnischen Gründen im DAS-Indikatorenset nicht kritisch betrachtet werden.

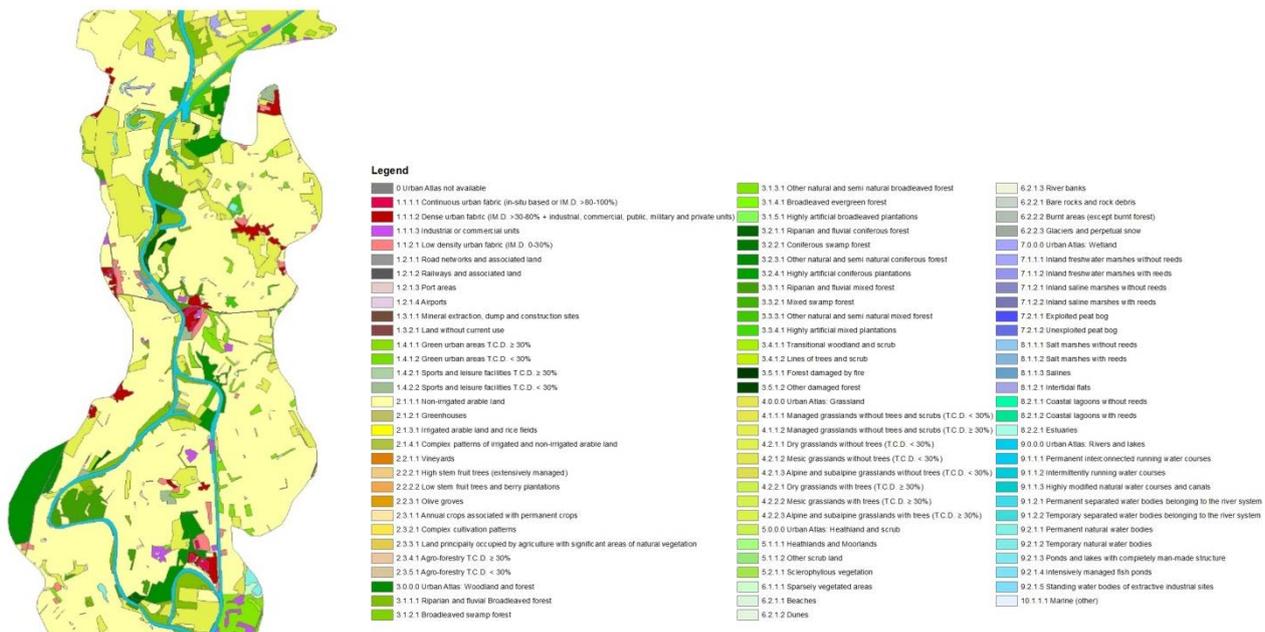
Potenziale zur Entwicklung eines DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten:

Über satellitengestützte Daten lassen sich flächendeckende Informationen zur Landnutzung generieren. Statistische Daten zur Flächennutzung sind für eine Auswertung zur Landnutzung nur innerhalb administrativer, nicht aber naturräumlich abgegrenzter Räume (z. B. Überschwemmungsgebiete) geeignet. Es stünden aus derzeitiger Sicht zwei alternative satellitengestützte Datenquellen für eine Auswertung zur Landnutzung in Überschwemmungsgebieten zur Verfügung:

- ▶ **Riparian Zones:** Der Riparian Zone Layer ist ein Produkt der lokalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung und dient dem Monitoring von Auenflächen. Das Produkt wurde für mittelgroße und große Flüsse (Strahler Niveau 3-8 aus dem EU-Hydro Datensatz) in Europa erstellt. Er besteht aus einem Datensatz zur Abgrenzung von Auenflächen (Delineation of riparian zones), einem Datensatz zur Landbedeckung und Landnutzung (Riparian Zone Land Cover / Land Use – RPZ LC/LU) und einem Datensatz zu grünen linearen Elementen innerhalb der Auenflächen (green linear elements – GLE).
- ▶ **Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2012):** s. hierzu die Erläuterungen in Kap. 3.3.1.

Die Landnutzungskartierung des Riparian Zone Layer wurde in einer Pufferzone um die selektierten Flüsse durchgeführt. Die Breite wurde anhand verschiedener Eingangsdatensätze (Strahler Niveau des EU-HYDRO-Datensatzes, pan-europäische Hochwassergefahrenkarten des JRC, manuelle Ergänzungen, modellierte Potential Riparian Zones) definiert. Ihre Ausmaße übersteigen die Fläche der Potential Riparian Zone. Die Ergebnisse der Landnutzungskartierung waren eine Grundlage für die Abgrenzung der Auenflächen in die Kategorien Potential, Observable und Actual Riparian Zone (zur Abgrenzung s. unten stehende Erläuterungen zur „Delineation of riparian zones“). Sie basiert auf einer semi-automatischen Auswertung von sehr hochauflösenden Satellitendaten (1,5 und 2,5 m SPOT, 2 m Pleiades) und anderer Geodaten (z. B. Urban Atlas, HRL Tree Cover Density, HRL Imperviousness, CLC), die für die Pufferzone verfügbar waren. Die Klassifizierung ist an der Nomenklatur von Corine Land Cover und der MAES (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services)-Typologie für Ökosysteme angelehnt, weist aber für das Biodiversitätsmonitoring von Auenflächen spezifische Landnutzungsklassen auf (s. Abbildung 11). Es gibt bis zu 85 thematische Klassen mit einer MMU von 0,5 ha und einer MMW von 10 m. Das Produkt hat damit einen sehr hohen Detailgrad sowohl hinsichtlich der MMU der kartierten Strukturen als auch hinsichtlich der gewählten Landnutzungsklassen.

Abbildung 11: Auszug aus dem Riparian Zone Layer (hier: Landbedeckung und Landnutzung) am Beispiel eines Flussabschnitts der Ems



Für eine Identifizierung und Verortung von Acker- oder auch Grünlandnutzung in Auebereichen erscheinen beide Landbedeckungs- und -Landnutzungskartierungen (Riparian Zone Layer und LBM-DE2012) sowohl hinsichtlich der räumlichen Auflösung als auch der erfassten Differenzierung von Landbedeckungs- und Landnutzungsklassen für die Generierung eines DAS-Indikators ausreichend.

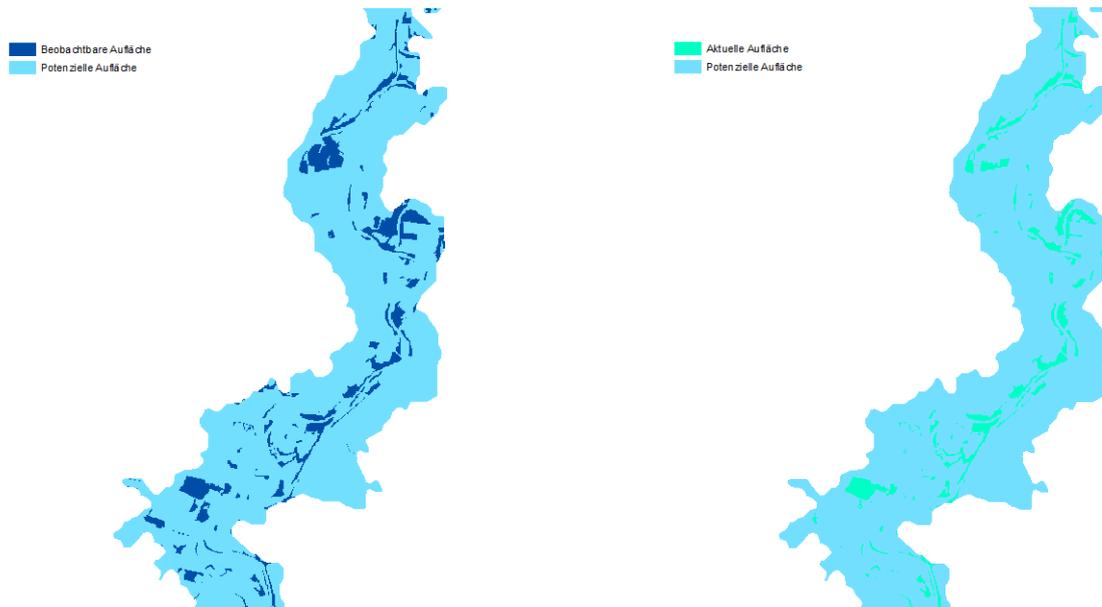
Für die Eingrenzung des Untersuchungsraums auf das Deichvorland gibt es ebenfalls unterschiedliche Möglichkeiten:

- ▶ die Nutzung einer der für den Riparian Zone Layer entwickelten Abgrenzungen,
- ▶ die Abgrenzung der Hochwasserrisikogebiete gemäß der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Amtsblatt der Europäischen Union, L 288, vom 6.11.2007, HWRM-RL).
- ▶ die Abgrenzung, die dem Auenzustandsbericht von BMU & BfN (2009) und dem Kartendienst Flussauen des BfN³² zugrunde gelegt wurde.

Die Abgrenzung der **Riparian Zones** wurde mit Hilfe eines komplexen Modellierungsansatzes durchgeführt, der vor allem auf Satellitendaten, einer Reihe von Geodaten, räumlichen Landschaftsindikatoren und dem RPZ LC/LU-Datensatz basiert. Der Datensatz beschreibt die folgenden drei Arten der Abgrenzung (s. Abbildung 12) (EEA 2015):

³² www.geodienste.bfn.de/flussauen

Abbildung 12: Auszug aus dem Riparian Zone Layer (hier: Abgrenzung von Auenflächen) am Beispiel eines Flussabschnitts der Ems



- ▶ Die potenziellen Auenflächen („potential“) beschreiben laut Definition „the maximum potential extent of riparian zones without anthropogenic influence“. Vom Flächenumfang ist diese Klasse die größte. Der Datensatz wurde auf der Basis hydrologischer und geomorphologischer Parameter (z. B. Gefälle, Entfernung zum Gewässer, Bodenbeschaffenheit etc.) aus verschiedenen Inputdatensätzen (z. B. EU-Hydro, EU-DEM, HRL Tree Cover Density, Bodentyp) mit Hilfe von Fuzzy Logic Techniken ermittelt, wobei die Parameter in Abhängigkeit von ihrer Bedeutung und Qualität gewichtet wurden. Der abgebildete Vektordatensatz der Abgrenzung der potenziellen Auenflächen umfasst alle Flächen des untersuchten Raums, die nach der Fuzzy Logic Modellierung mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 50 % potenzielle Auenflächen sind. Der insgesamt untersuchte Raum war um ein vielfaches größer und kann anhand der ebenfalls verfügbaren Rasterdatensätze nachvollzogen werden.
- ▶ Die beobachtbaren Auenflächen („observable“) sind die auf Satellitenbildern mit bloßem Auge tatsächlich erkennbaren Flächen mit Auenstrukturen (z. B. semi-natürliche Auenvegetation, Altwasserseen, Flussufer). Sie sind auf der Grundlage der detailliert klassifizierten Riparian Zone Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten sowie zusätzlichen Indikatoren zu Nässe, Vitalität und Wassergehalt der Vegetation auf der Grundlage von Landsat-8 basierten NDVI / NDWI-Daten abgegrenzt. Die Eingangsdaten flossen dazu in einen Segmentierungsansatz ein, als dessen Ergebnis die Wahrscheinlichkeit ermittelt wurde, mit der in situ-Auenelemente vorgefunden werden. Der abgebildete Vektordatensatz der Abgrenzung umfasst alle Flächen des untersuchten Raums, in denen nach dem Segmentierungsansatz mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 50 % Auenelemente vorgefunden werden können.
- ▶ Die aktuellen Auenflächen („actual“) sind im Wesentlichen eine Verschneidung aus potenziellen und beobachtbaren Auenflächen. Zusätzlich wird für eine genauere Abgrenzung noch die Landbedeckung berücksichtigt. Diese Abgrenzung beschreibt die aktuelle Ausdehnung der Auenelemente innerhalb (mit wenigen Ausnahmen) der potenziellen Auenzone. Der abgebildete Vektordatensatz der Abgrenzung umfasst alle Flächen des untersuchten Raums, in denen nach der Zugehörigkeitsfunktion mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 50 % Auenelemente vorhanden sind. Vom Flächenumfang her ist diese Klasse am kleinsten.

Die beschriebenen Abgrenzungen erfolgten basierend auf den Inputdaten durch komplexe Modellierungen und spiegeln keine offizielle Abgrenzung wider. Aufgrund der komplizierten Herangehensweise sind die Abgrenzungen zudem z. T. nur schwer direkt nachvollziehbar.

Demgegenüber hat die Abgrenzung der **Hochwasserrisikogebiete gemäß der HWRM-RL** „offiziellen“ Charakter. Hochwasserrisikogebiete müssen von allen europäischen Mitgliedsstaaten festgesetzt werden. Die HWRM-RL hat den Staaten dabei folgende Arbeitsschritte mit festgesetzten Durchführungsfristen vorgegeben, die in Deutschland auch entsprechend umgesetzt werden:

- ▶ vorläufige Bewertung des Hochwasserrisikos (vgl. § 73 WHG: Bewertung von Hochwasserrisiken, Risikogebiete) zur Ermittlung der Gebiete bzw. Gewässer, an denen potenzielle signifikante Hochwasserrisiken bestehen. Die Bewertung ist erstmalig bis Ende 2011 erfolgt;
- ▶ Aufstellung von Hochwassergefahren- und -risikokarten (vgl. § 74 WHG: Gefahrenkarten und Risikokarten) für die Gewässer bzw. Gewässerabschnitte, an denen nach der vorläufigen Bewertung potenzielle signifikante Hochwasserrisiken bestehen; die Karten geben Auskunft über die von Hochwasser betroffenen Flächen und das Ausmaß der Gefahren und Risiken und waren bis Ende 2013 zu erstellen;
- ▶ Aufstellung von Hochwasserrisikomanagementplänen (HWRM-Pläne) (vgl. § 75 WHG) für die Gewässer bzw. Gewässerabschnitte mit potenziellen signifikanten Hochwasserrisiken; die HWRM-Pläne enthalten angemessene und an das gefährdete Gebiet angepasste Ziele und Maßnahmen, mit denen die Hochwasserrisiken reduziert werden können und sind bis Ende 2015 zu erarbeiten.

Von Relevanz für den hier diskutierten möglichen DAS-Indikator sind insbesondere die Hochwassergefahrenkarten (HWGK). Sie informieren über die mögliche Ausdehnung und Tiefe (Wassertiefe) einer Überflutung. Dabei wird dargestellt, welches Ausmaß der Überflutung in den folgenden Szenarien zu erwarten ist:

- ▶ $HQ_{\text{häufig}}$: Das Hochwasser tritt im Mittel alle 10 bis 20 Jahre auf, also relativ häufig.
- ▶ HQ_{100} : Das Hochwasser tritt im Mittel alle 100 Jahre auf.
- ▶ HQ_{extrem} : Das Extremhochwasser tritt im Mittel seltener als alle 100 Jahre auf.

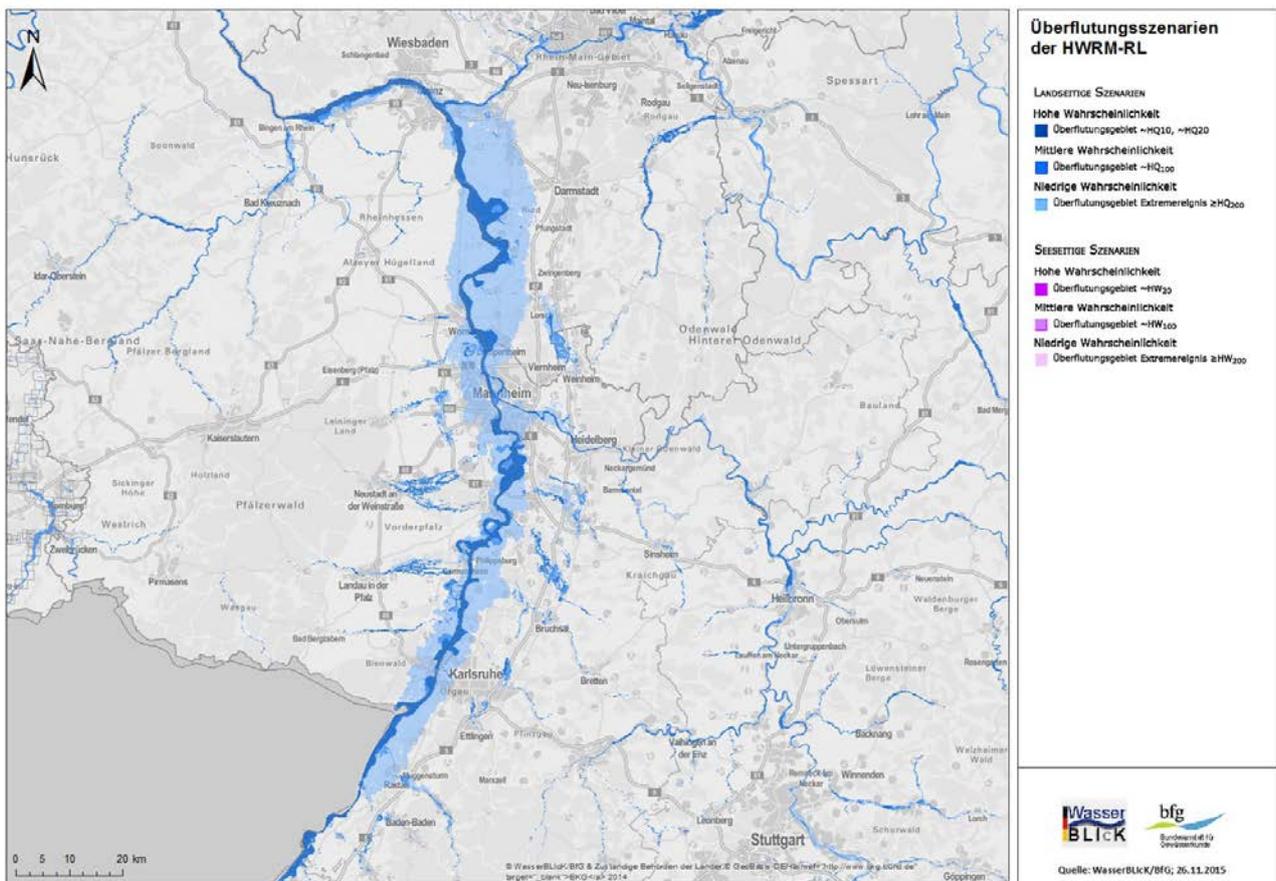
Die Karten für das $HQ_{\text{häufig}}$ sind optional. Die Darstellungen von HQ_{extrem} und $HQ_{\text{häufig}}$ dienen in erster Linie der Information. Die HQ_{extrem} -Flächen können auch jenseits von Schutzeinrichtungen, z. B. Deichen, liegen. Demgegenüber sind die HQ_{100} -Abgrenzungen von amtlicher Bedeutung. Das 100-jährliche Hochwasser bildet i. d. R. die Grundlage für den lokalen Hochwasserschutz und die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten, die amtlich bekannt gemacht, vorläufig gesichert und anschließend in einem formellen Verfahren per Rechtsverordnung (§76 Wasserhaushaltsgesetz) festgesetzt werden. In Überschwemmungsgebieten gelten i. d. R. Nutzungseinschränkungen.

Eine Bezugnahme des DAS-Indikators auf die Überschwemmungsgebiete (HQ_{100}) kann sinnvoll sein, um die Anschlussfähigkeit des Indikators an eine amtlich festgesetzte Gebietsabgrenzung herzustellen.

Eine bundesweite Zusammenfassung der räumlichen Informationen aus den Hochwassergefahrenkarten nimmt die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) vor und präsentiert eine bundesweite Karte auf ihrem Geoportal³³ (s. Abbildung 13).

³³ <http://geoportal.bafg.de/mapapps/resources/apps/HWRMRL-DE/index.html?lang=de>

Abbildung 13: Auszug aus der Zusammenstellung von Länderinformationen aus den Hochwassergefahrenkarten nach HWRM-RL durch die BfG



Die Informationen beruhen auf den Daten der zuständigen Behörden der Länder. Dabei weist die BfG darauf hin, dass die Methoden zur Ermittlung der Überflutungsgebiete zwar weitgehend abgestimmt, aber aufgrund unterschiedlicher landesrechtlicher Regelungen nicht bundesweit harmonisiert sind. So können insbesondere an den administrativen Grenzen und generell zwischen den Bundesländern Unterschiede auftreten.

Die Überflutungsgebiete sind auch nicht unbedingt identisch mit den gesetzlich festgesetzten Überschwemmungsgebieten, außerdem können sie aufgrund neuer Erkenntnisse jederzeit Veränderungen erfahren. Es ist auch festzuhalten, dass die Hochwassergefahren- und Hochwasserrisikokarten nicht flächendeckend erstellt wurden, sondern nur in den Bereichen, in denen potenzielle signifikante Hochwasserrisiken bestehen. Der Begriff „Hochwasserrisiko“ ist nach dem Wasserhaushaltsgesetz § 73 Abs. 1 WHG definiert als „die Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Hochwasserereignisses mit den möglichen nachteiligen Hochwasserfolgen“ für die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten. Das besondere Hochwasserrisiko ergibt sich insbesondere aus der bestehenden baulichen Nutzung von Hochwassergefahrenbereichen, einer dichten Besiedlung, einem Bestand von Industrieanlagen, dem Vorkommen von Kulturgütern etc. In wenig dicht besiedelten Bundesländern kann die Situation entstehen, dass entlang der Flüsse Hochwasserrisiken nach dieser Definition nur sehr eingeschränkt zu erwarten sind.

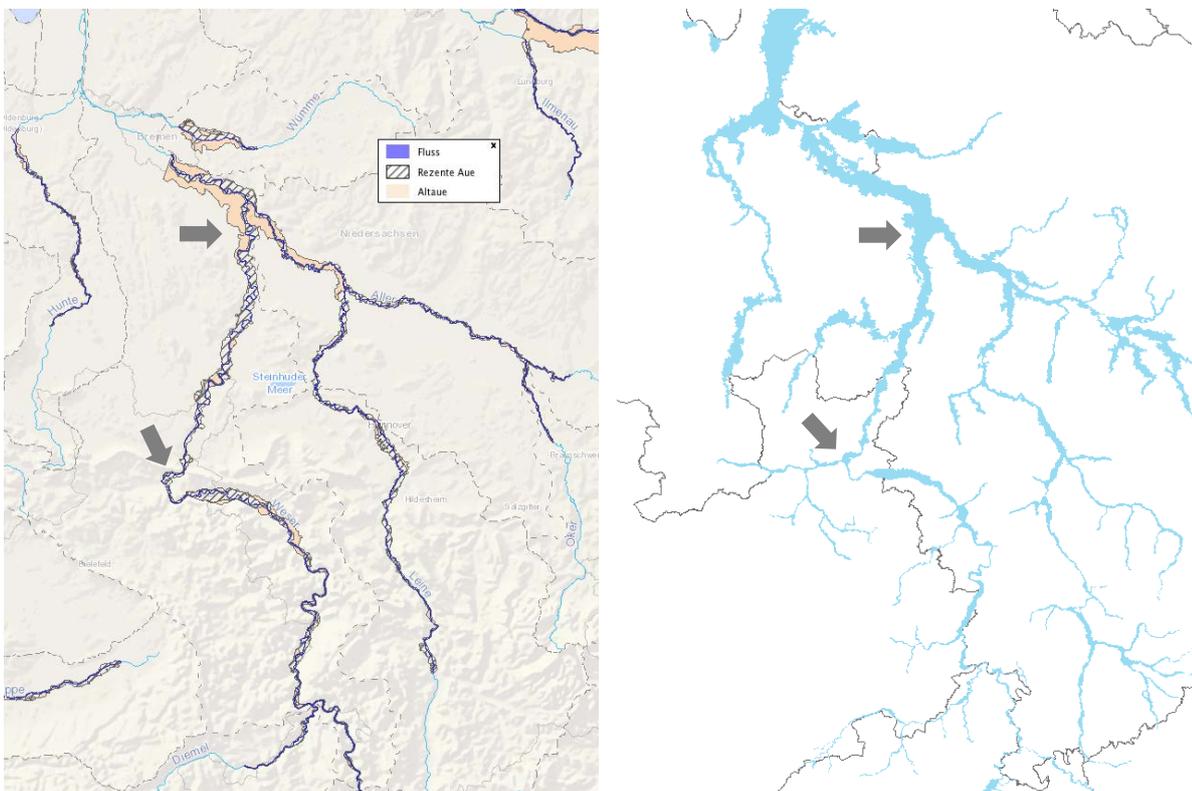
Das bedeutet, dass die Abgrenzungen der Hochwassergefahrenbereiche nicht mit einer flächendeckenden Abgrenzung von Überschwemmungsbereichen oder Auen gleichgesetzt werden können. Mit Blick auf die gewünschte Auswertung entstehen dadurch Einschränkungen, die aufgrund einer teilweise unterschiedlichen Ausweisungspraxis zudem von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich

sein können. Zusätzlich können sich Einschränkungen hinsichtlich der Verfügbarkeit der Daten ergeben, da nicht alle Bundesländer einer Datenbereitstellung der Überflutungsgebiete durch die BfG zugestimmt haben. Das bedeutet, dass derzeit für ca. die Hälfte der Bundesländer eine Datenanfrage zu den Abgrenzungen der Überflutungsgebiete direkt an die Bundesländer zu richten wäre.

Der aktuelle Stand zu den Überflutungs- und festgesetzten Überschwemmungsgebieten ist in den jeweiligen Informationsangeboten der Länder zu finden. Eine Zusammenführung der Länderinformationen würde das Problem der eingeschränkten Vergleichbarkeit zwischen den Ländern allerdings nicht lösen.

Die dem Auenzustandsbericht zugrunde liegende Abgrenzung umfasst definitionsgemäß die morphologische Aue als flussbegleitenden Bereich, „der natürlicherweise von mehr oder weniger regelmäßig wiederkehrenden Überflutungen geprägt wurde und heute von einem Hochwasser theoretisch erreichbar wäre, wenn keine Maßnahmen zum Hochwasserschutz, wie z. B. Deiche, existieren würden. Innerhalb dieser morphologischen Aue sind durch anthropogene Veränderungen wie z. B. Deiche oder Aufschüttungen Bereiche vom Überflutungsregime des Flusses abgeschnitten worden. Die abgetrennten Areale werden als Altaue, die noch überflutbaren Bereiche als rezente Aue bezeichnet“ (BMU & BfN 2000: 6). Die rezente Aue wird auch als Deichvorland bezeichnet. Für den Auenbericht erfolgte die Erfassung der morphologischen Aue auf Basis der nacheiszeitlichen (holozänen) Flussablagerungen in der Geologischen Übersichtskarte (GÜK200). Ferner wurden das Digitale Geländemodell Deutschland (DGM-D) herangezogen und die Übereinstimmung mit dem Digitalen Landschaftsmodell (DLM25) und mit Luftbildern geprüft. Auch im Auebericht wird darauf hingewiesen, dass die fachlichen Grundlagen zur Ermittlung der Überschwemmungsgebiete in den einzelnen Bundesländern zwar sehr heterogen sind, aber Grundlage aller Abgrenzungen doch fast ausnahmslos das HQ₁₀₀ ist.

Abbildung 14: Vergleich der Auenabgrenzung und Kulisse des Kartendienstes Flussauen des BfN und der Potential Riparian Zone für einen Teil des Flussgebiets der Weser

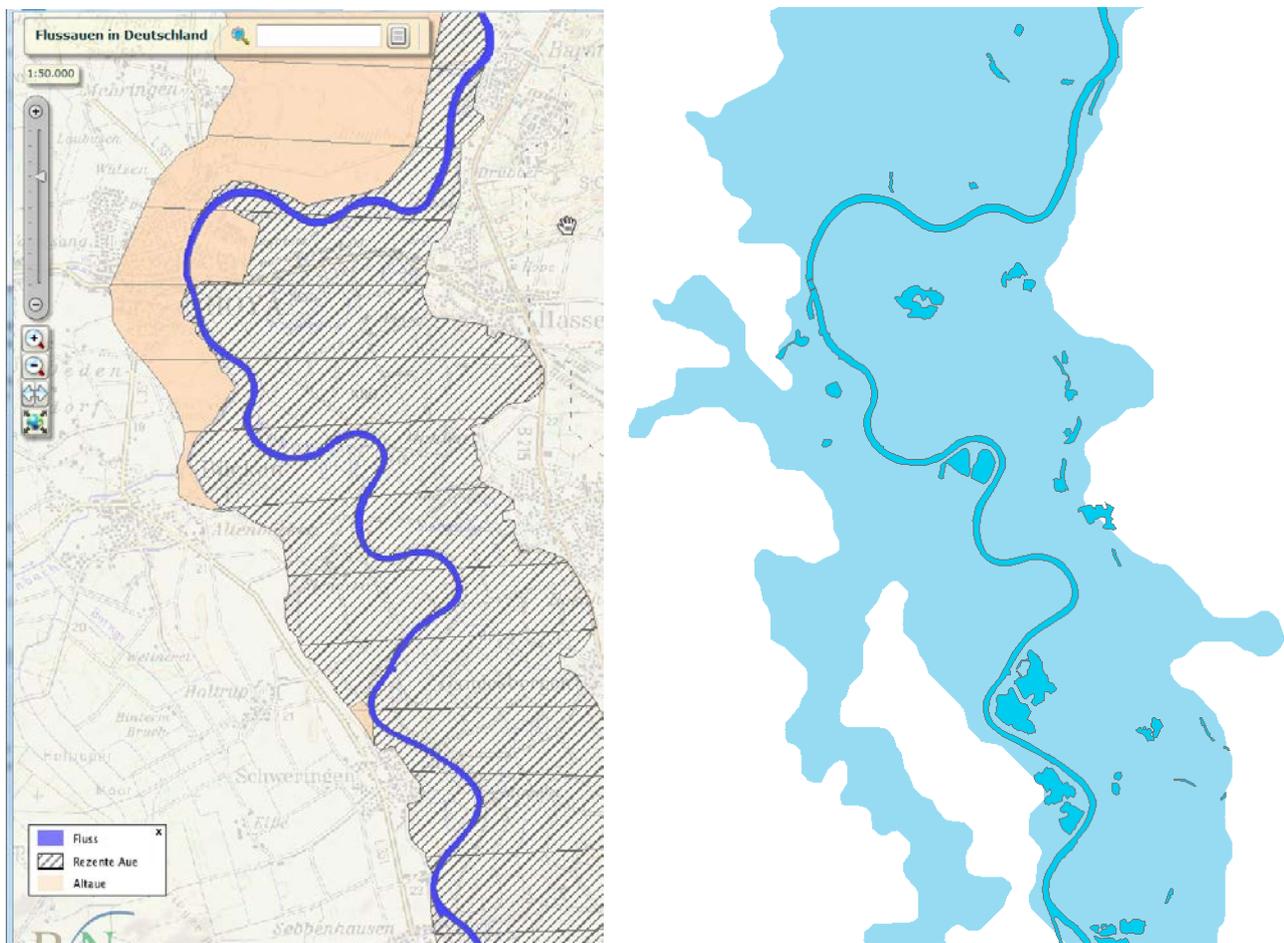


Links: Auenabgrenzung des Kartendienstes Flussauen des BfN. Rechts: Potential Riparian Zone (mit Erfassung des Tidebereichs am oberen Kartenrand und Erfassung der Oberläufe der Flüsse)

Die Auenabgrenzung liegt bundesweit für die Auen von 10.276 Flusskilometern vor. Das jeweilige Untersuchungsgebiet der Flussgebiete beginnt jeweils an der Stelle des Flusses, an dem das Einzugsgebiet 1.000 km² überschreitet, quellnähere Bereiche wurden nicht untersucht. Außerdem blieben von der Erhebung die Tidebereiche der untersuchten Flüsse ausgeschlossen. Gegenüber den Potential Riparian Zones ergibt sich daher eine kleinere Erhebungskulisse (s. Abbildung 14).

Die Auenabgrenzung nach dem Auenzustandsbericht zeigt prinzipiell große Übereinstimmung mit der Abgrenzung der Potential Riparian Zones (s. Abbildung 15).

Abbildung 15: Vergleich der Auenabgrenzung des Kartendienstes Flussauen des BfN und der Potential Riparian Zone für einen Teil des Flussgebiets der Weser – Detailabgrenzung



Links: Auenabgrenzung des Kartendienstes Flussauen des BfN
Rechts: Potential Riparian Zone

Die Flächennutzungsdaten, die dem Kartendienst Flussauen des BfN und den Bewertungen im Auenzustandsbericht zugrunde gelegt ist, entstammen dem Digitalen Landschaftsmodell (DLM25), das ATKIS basiert ist. Vom Detailgrad der Erfassung ist das DLM25 den oben diskutierten alternativen Landnutzungskartierungen (LBM-DE und RPZ LC/LU) unterlegen.

Für die Generierung eines DAS-Indikators zur Landnutzung in Überschwemmungsgebieten stehen den o. g. Ausführungen zufolge Daten in ausreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung zur Verfügung. Es ist jedoch die Entscheidung zu treffen, mit welchen der möglichen Datensätze letztendlich gearbeitet werden soll. Grundsätzlich lassen sich die o. g. Optionen beliebig miteinander kombinieren:

- ▶ Überschneidung der LBM-DE mit den Überschwemmungsgebieten nach der HWMR-RL,
- ▶ Überschneidung der LBM-DE mit den Grenzen der Riparian Zones (potenziell, beobachtbar oder aktuell),
- ▶ Überschneidung der LBM-DE mit der Auenabgrenzung des Auenzustandsberichts,
- ▶ Nutzung der Landnutzungsklassifizierung innerhalb der Riparian Zones, also die unmittelbare Nutzung des Riparian Zone Layer (potenziell, beobachtbar oder aktuell),
- ▶ Überschneidung des Datensatzes zur Landnutzung aus dem Riparian Zone Layer mit den Überschwemmungsgebieten nach der HWMR-RL,
- ▶ Überschneidung des Datensatzes zur Landnutzung aus dem Riparian Zone Layer mit der Auenabgrenzung des Auenzustandsberichts.

Arbeitsschritte bei der Indikator-Umsetzung:

Auf der Grundlage der oben beschriebenen Analysen wurden für die Erprobung eines zusätzlichen DAS-Indikators die folgenden Schritte vollzogen:

Schritt 1: Entscheidung zur Abgrenzung des zu untersuchenden Raums

Für eine Nutzung der Riparian Zone-Abgrenzung für den Zweck der Indikatorbildung sprechen folgende Punkte:

- ▶ Die Flächen sind nach einer einheitlichen Methode abgegrenzt. Das bedeutet, dass die Abgrenzung anders als die Abgrenzung der Hochwassergefahrenbereiche zum einen unabhängig von der Praxis des Verwaltungshandelns in den verschiedenen Bundesländern ist. Sie ist zum anderen unabhängig vom Bestand an schützenswerten Gütern entlang der Gewässer (Besiedelung, Industrie, Kulturgüter etc.), die im Zusammenhang mit der HWRM-RL potenzielle signifikante Hochwasserrisiken begründen und erst eine detaillierte Kartierung und Abgrenzung der Hochwassergefahrenbereiche auslösen.
- ▶ Entlang der Küsten reicht es in Deutschland für die Erfüllung der Anforderungen nach der HWRM-RL aus, die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten auf ein Ereignis mit niedriger Wahrscheinlichkeit (HQ_{200} und größer) oder das Extremereignis zu beschränken. Die daraus resultierenden Gebiete sind sehr groß. Diese Gebiete weisen in großen Teilen aufgrund des seltenen Überschwemmungseinflusses keine atypischen Merkmale auf und werden daher nicht erfasst.
- ▶ Der Ansatz der Riparian Zones-Abgrenzung deckt einen größeren Anteil der Gewässer in Deutschland ab (beginnend mit Strahler-Ordnung 3). Im europaweiten Vergleich deckt die Abgrenzung der Potential Riparian Zone in etwa die Ausdehnung nationaler Auenabgrenzungen ab.³⁴ Im Vergleich der verschiedenen Abgrenzungen ist die Potential Riparian Zone günstiger als die Actual bzw. Observable Riparian Zone. Die letztgenannten haben zum Inhalt, tatsächliche Auenelemente (Auenvegetation, Uferbereiche etc.) abzubilden. Sie schließen damit ackerbauliche Landnutzungen per definitionem aus, die der eigentliche Indikationsgegenstand sind. Sie grenzen auch nicht einen Raum ab, aus dem potenziell umweltgefährdende oder -beeinflussende Einträge entstehen können, sondern stellen einen „Flickenteppich“ der

³⁴ Telefonische Auskunft von Hr. Markus Probeck, GAF AG, vom 26.01.2016

noch vorhandenen Auenvegetation dar. Als Grundlage für einen Indikator zur Ackernutzung in Auenbereichen scheiden sie damit aus.

- ▶ Die Riparian Zones decken auch eine größere Gebietskulisse ab als die Auenabgrenzung des Auenzustandsberichts (vgl. Abbildung 14).

Da die Auenabgrenzung des Auenzustandsberichts dem Projektkonsortium nicht in einer GIS-bearbeitbaren Form vorlag, wurde diese Abgrenzung für die weiteren Erprobungen im Rahmen dieses Vorhabens nicht weiter berücksichtigt. Es ist aber – trotz der o.g. Einschränkungen, was die erfasste Gebietskulisse anbelangt – denkbar, dass einer künftigen Auswertung diese Auenabgrenzung zugrunde gelegt wird.

Anhand von Auswertungen zu vier Bundesländern wurde die Ausdehnung der unterschiedlichen Flächenkategorien (Abgrenzungen nach HWRM-RL und Abgrenzungen der Potential Riparian Zone) miteinander verglichen. Tabelle 7 macht deutlich, dass die jeweiligen Abgrenzungen zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen sowohl bezogen auf die Kategorien als auch die Länder führen. Die Flächenausdehnung der Potential Riparian Zone liegt in allen Bundesländern über dem Überflutungsbe- reich mit einer mittleren Eintrittswahrscheinlichkeit (100-jährliches Hochwasser). Bezogen auf den Überflutungsbereich mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit weist die Potential Riparian Zone in Sachsen eine größere, in den anderen Bundesländern mit jeweils sehr unterschiedlichen Abweichungen eine kleinere Flächenausdehnung auf. Eine systematische Analyse der Abweichungen ist kaum möglich, da diese von sehr unterschiedlichen Faktoren bestimmt sein können (schon allein die Berücksichtigung unterschiedlicher Flussläufe kann wesentlich die Größenabweichung bestimmen; hinzu kommen die z. T. umfangreichen Abgrenzungen von Überflutungsbereichen entlang der Küste). Die räumliche Darstellung der Überschneidungen der beiden Abgrenzungen (s. Abbildung 16) macht dies zusätzlich deutlich. Neben Überschneidungsbereichen gibt es zahlreiche Flächen, die ausschließlich als HQ₁₀₀-Flächen bzw. nur als Potential Riparian Zones ausgewiesen sind.

Tabelle 7: Vergleich der Flächenabdeckung der Hochwassergefahrenbereiche nach HWRM-RL und der Potential Riparian Zone (Anteil an der Landesfläche)

Bundesland	HWRM-RL – hohe Eintrittswahrscheinlichkeit	HWRM-RL – mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit	HWRM-RL – geringe Eintrittswahrscheinlichkeit	Potential Riparian Zone
Sachsen	2,0%	3,6%	4,4%	6,0%
Sachsen-Anhalt	4,3%	5,8%	17,0%	8,4%
Niedersachsen	1,7%	2,3%	18,4%	8,4%
Rheinland-Pfalz	1,7%	2,4%	4,8%	4,6%

Eine Überschneidung der HQ₁₀₀-Flächen mit dem für die Riparian Zone verfügbaren Datensatz zur Landbedeckung und Landnutzung (RPZ LC/LU) macht deutlich, dass die o. g. potenzielle Kombination Überschwemmungsgebiete nach der HWRM-RL und RPZ LC/LU für eine Auswertung nicht möglich ist, da in diesem Falle für einige HQ₁₀₀-Flächen keine RPZ LC/LU-Daten zur Verfügung stehen (s. Abbildung 17).

Abbildung 16: Prüfung der Überschneidung von HQ₁₀₀-Flächen mit den Potential Riparian Zones (Sachsen-Anhalt)

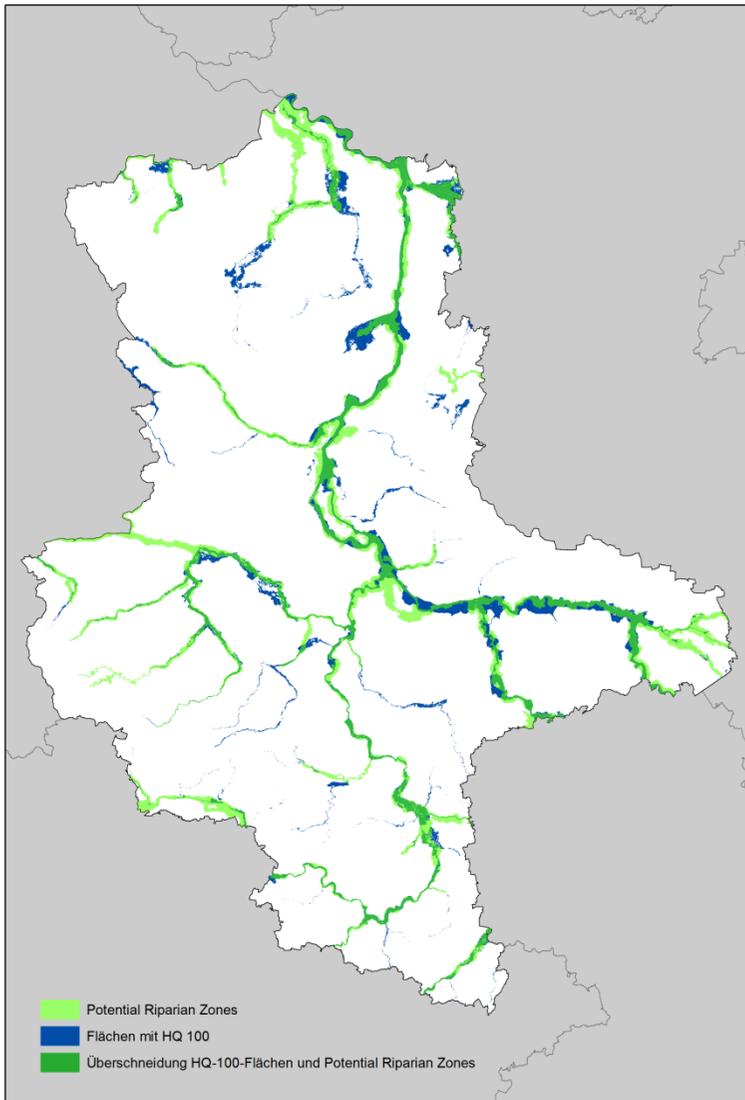
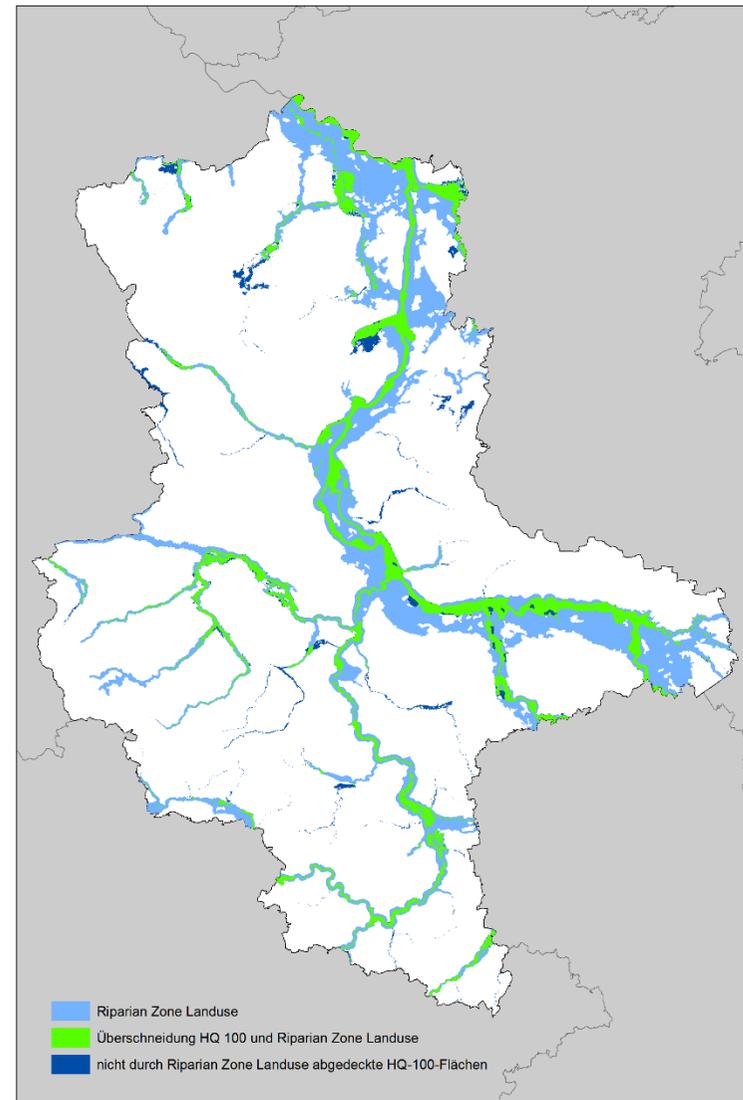


Abbildung 17: Prüfung der Überschneidung von HQ₁₀₀-Flächen mit dem RPZ LC/LU Datensatz (Sachsen-Anhalt)



Die Verwendung der Abgrenzung der Potential Riparian Zone scheint als Grundlage eines Indikators zur Beobachtung von Gebieten, in denen durch einen steigenden oder hohen Ackeranteil zunehmende Umweltbeeinträchtigungen, Nährstoff- und Schadstoffabschwemmungen entstehen können, aus den genannten Erwägungen insgesamt besser geeignet. Für eine Nutzung der Abgrenzung der Hochwassergefahrenbereiche für den Zweck der Indikatorbildung spräche hingegen vor allem der offizielle Charakter des Ansatzes. Für die beispielhafte Darstellung des DAS-Indikators wurde aufgrund der o. g. Erwägungen entschieden, die bundesweit einheitliche Abgrenzung der Potential Riparian Zone zu nutzen.

Schritt 2: Entscheidung zur Auswahl der Landnutzungskategorien

In einem zweiten Schritt ist zu entscheiden, mit welcher der möglichen Landnutzungskartierungen für die Ermittlung des Umfangs von Ackerbau gearbeitet werden soll und welche Kategorien konkret herangezogen werden sollen. Die Landnutzungsklassifizierung im Riparian Zone Layer listet beispielsweise 13 unterschiedliche Landnutzungsklassen im Ackerbau auf, die theoretisch für die Indikatorberechnung genutzt werden könnten, die allerdings nicht alle für Deutschland von Relevanz sind. Auch der LBM-DE2012-Datensatz enthält mehrere ackerbauliche Differenzierungen, die Ansätze für eine ggf. zielgerichtete Auswahl erfordern. Die Ergebnisse einer Analyse der Flächen(-anteile) von Acker und Grünland innerhalb der Potential Riparian Zone auf der Grundlage des LBM-DE und der RPZ LC/LU-Kartierung sind beispielhaft und vergleichend für Sachsen-Anhalt (Elbe) und Rheinland-Pfalz (Rhein) in Tabelle 8 zusammengestellt. Es wurden dabei die Nutzungskategorien wie folgt zusammengefasst (wobei nicht alle Unterkategorien tatsächlich auf den betrachteten Flächen vorkommen):

- ▶ **Ackerfläche:**
LBM-DE: Landbedeckungsklassen B211 (Ackerland), B221 (Weinbau), B222 (Obst und Beerenobst) und B224 (Hopfen),
RPZ LC/LU: alle Typen der Klasse 2,
- ▶ **Grünland:**
LBM-DE: Landbedeckungsklassen B231 (homogenes Grünland), B321 (inhomogenes Grünland), B233 (Grasland mit Bäumen (<50%)), B421(Salzwiesen (Küste)),
RPZ LC/LU: alle Typen der Klasse 4.

Die Abweichungen zwischen den beiden Nutzungskartierungen bewegen sich im Bereich von 1 Prozentpunkt. Lediglich in Rheinland-Pfalz sind die Abweichungen beim Grünland deutlich größer. Erklärbar sind diese Abweichungen ohne eine detailliertere Prüfung der Daten nicht.

Tabelle 8: Vergleich der Acker- und Grünlandnutzung in der Potential Riparian Zone am Beispiel der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Rheinland-Pfalz

Bundesland Parameter	Sachsen-Anhalt		Rheinland-Pfalz	
	Fläche	Anteil an Riparian Zone	Fläche	Anteil an Riparian Zone
Einheit	Hektar	%	Hektar	%
Potential Riparian Zone gesamt	170.536	100,0%	92.079	100,0%
Ackerfläche LBM-DE 2012	64.947	38,1%	18.502	20,1%
Grünland LBM-DE 2012	59.141	34,7%	22.562	24,5%

Bundesland Parameter	Sachsen-Anhalt		Rheinland-Pfalz	
	Fläche	Anteil an Riparian Zone	Fläche	Anteil an Riparian Zone
Verhältnis Acker-Grünland LBM-DE 2012	1,10		0,82	
Acker + Grünland LBM-DE 2012	124.088	72,8%	41.064	44,6%
Ackerfläche Riparian Zone LC/LU	66.334	38,9%	18.521	20,1%
Grünland Riparian Zone LC/LU	58.743	34,4%	18.114	19,7%
Verhältnis Acker-Grünland Riparian Zone LC/LU	1,13		1,02	
Acker + Grünland Riparian Zone LC/LU	125.077	73,3%	36.635	39,8%

Für die Verwendung des LBM-DE spricht, dass eine Wiederholung der Datenerstellung im dreijährlichen Turnus gesichert ist. Beim Riparian Zone LC/LU ist die Fortsetzung hingegen bisher nicht gesichert und ein möglicher Wiederholungsturnus nicht bekannt. Allerdings ist die RPZ LC/LU-Kartierung räumlich höher aufgelöst (MMU 0,5 ha), sodass grundsätzlich exaktere Kartierungsergebnisse zu erwarten sind. Für die beispielhafte Berechnung des DAS-Indikators wurde daher die Nutzung der RPZ LC/LU erprobt.

Schritt 3: Auswertung

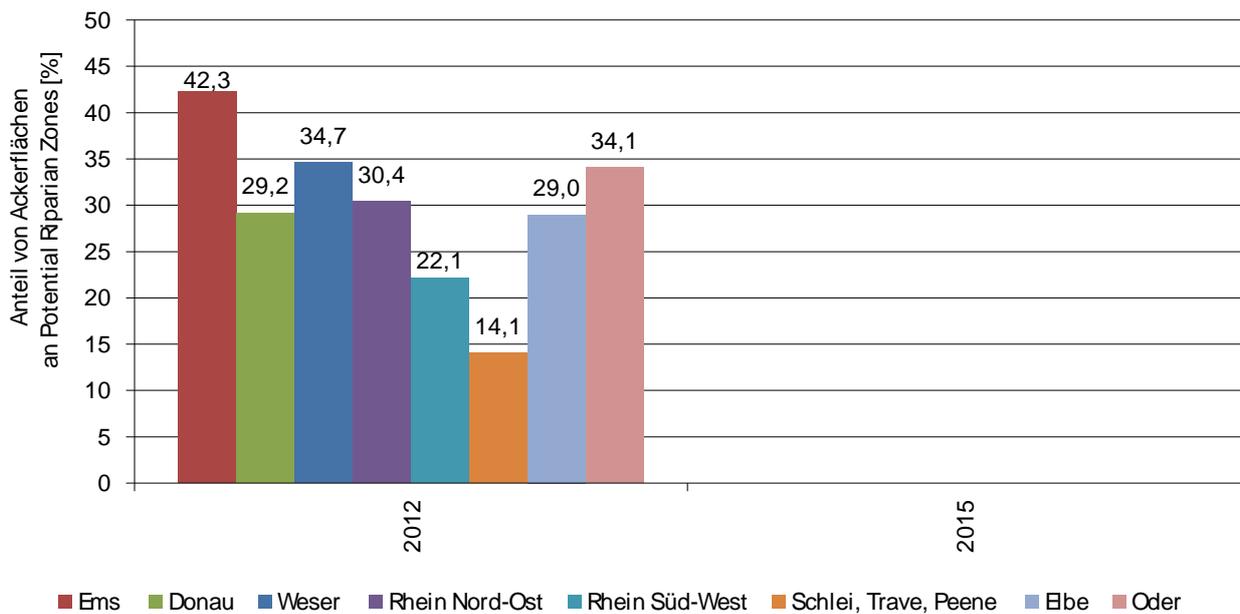
Für die letztendliche Berechnung des Indikators bieten sich unterschiedliche Optionen an:

- ▶ Darstellung der Entwicklung des Anteils der Ackerfläche an der Potential Riparian Zone differenziert für die acht Flussgebiete in Deutschland (s. Abbildung 18).
- ▶ Darstellung der Entwicklung des Anteils unterschiedlicher Landnutzungskategorien an der Potential Riparian Zone; dabei können neben der Acker- und Grünlandfläche auch noch andere Nutzungskategorien abgebildet werden (s. Abbildung 19).

Für die zweitgenannte Variante ergeben sich Schnittstellen zum aktuellen DAS-Indikator RO-R-6 „Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen“, der anhand einer Fallstudie für das Einzugsgebiet des Mains in den bayerischen Regierungsbezirken Oberpfalz, Oberfranken, Mittelfranken und Unterfranken den Anteil der für Siedlungszwecke genutzten Flächen (Wohnbauflächen, Flächen mit gemischter Nutzung, Flächen mit besonderer funktionaler Prägung, Industrie- und Gewerbeflächen, Verkehrsflächen) im Bereich der Überschwemmungsflächen eines HQ₁₀₀ abbildet (s. auch Kap. 3.4.7).

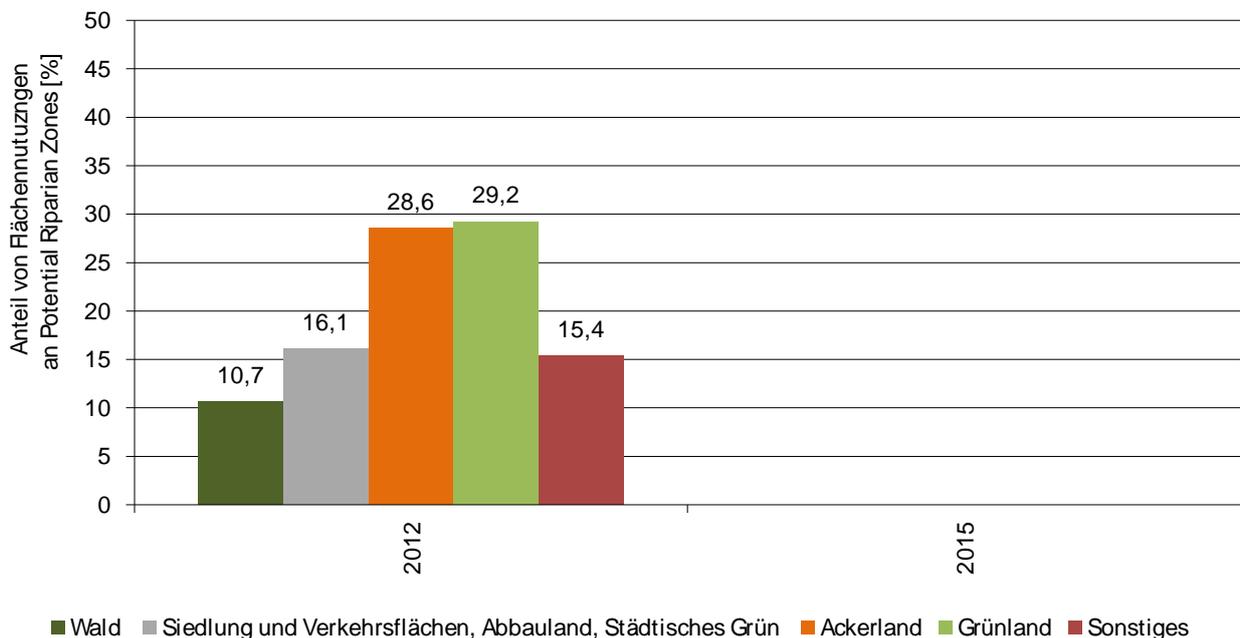
Für die Darstellung des Indikators ist zu berücksichtigen, dass auf der Grundlage der verfügbaren Daten zunächst nur ein Jahreswert abgebildet werden kann.

Abbildung 18: Indikator WW-R-X „Umfang von Ackerbau im Deichvorland“ – Variante 1



Datenquelle: Copernicus - Riparian Zones

Abbildung 19: Indikator WW-R-X „Umfang von Ackerbau im Deichvorland“ – Variante 2



Datenquelle: Copernicus - Riparian Zones

Zusätzliche Weiterentwicklungsmöglichkeiten:

Für die mögliche Weiterentwicklung des Indikators ist insbesondere von Relevanz, in welcher Weise eine Validierung der Ergebnisse des LBM-DE 2012 vorgenommen wird (inklusive der Erstellung eines offiziellen Veränderung-(change)-Datensatzes) und in welchem Turnus eine Wiederholung der Kartierung zuverlässig erfolgt. Auch die fortgesetzte Umsetzung der Kartierungen gemäß HWRM-RL wird

möglicherweise in Zukunft Neuerungen mit sich bringen, die Türen für die Nutzung dieser Flächenkategorien zur Abgrenzung der Betrachtungsräumen für einen DAS-Indikator öffnen könnten.

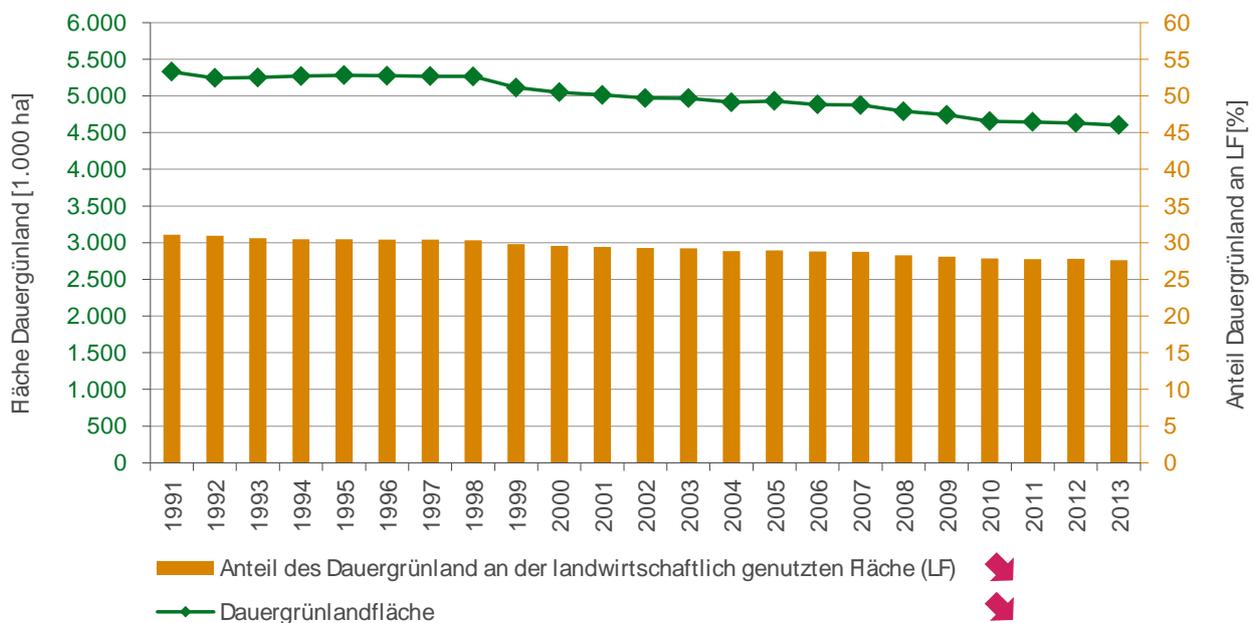
3.4 Ansatzpunkte für die Weiterentwicklung des DAS-Indikatorensystems

3.4.1 Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Dauergrünlandfläche“ (BO-R-2)

Aktueller Indikator:

Der aktuelle DAS-Indikator entspringt einer Auswertung der Bodennutzungshaupterhebung bzw. der Agrarstrukturerhebung und stellt die Fläche des Dauergrünlands als Summe der Fläche von Wiesen, Mähweiden, Weiden mit Almen (ohne Hutungen), Streuwiesen und Hutungen sowie der Fläche des aus der landwirtschaftlichen Erzeugung genommenen Dauergrünlands dar. In einem weiteren Indikatorteil wird die Veränderung des Anteils der Dauergrünlandfläche an der gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche des jeweiligen Jahres abgebildet (s. Abbildung 20).

Abbildung 20: Indikator BO-R-2 „Dauergrünlandfläche“



Datenquelle: StBA (Bodennutzungshaupterhebung und Agrarstrukturerhebung)

Der Indikator beruht auf der These, dass das Grünland eine landwirtschaftliche Nutzungsform darstellt, die aufgrund der permanenten Bodenbedeckung, der Humusanreicherung und der Artenvielfalt eine geringere Vulnerabilität gegenüber den verschiedenen Wirkungen von Klimaänderungen aufweist als Ackerflächen und aus diesen Gründen mit Blick auf Anpassungsziele in einer weiteren Ausdehnung zu befürworten wäre.

Schwächen des aktuellen DAS-Indikators, neue Entwicklungen:

Der Indikator beschreibt die Grünlandnutzung pauschal, ohne Nutzungsunterschiede innerhalb des Grünlands zu berücksichtigen. Grünland kann dabei – abhängig von der Intensität der Bewirtschaftung und den Bodenverhältnissen – sowohl unter Klimaschutz- als auch unter Anpassungsgesichtspunkten sehr unterschiedliche Qualitäten haben. Die Klimaveränderungen mit ihren Extremereignis-

sen wie heißen und trockenen Sommer erfordern Anpassungsreaktionen auch in der Grünlandbewirtschaftung, z. B. eine Anpassung der Nutzungsintensität, der Artenzusammensetzung und / oder der Schnitttechnik. Der Indikator trifft keine Aussagen, ob solche Anpassungen erfolgen. Er trifft auch keine Aussagen, ob die gewählte Bewirtschaftungsform einen optimalen Bodenschutz gewährleistet.

Außerdem zeichnet der Indikator aufgrund seiner räumlich stark aggregierten Darstellung ein vereinfachtes Bild, da die Grünlandentwicklung (Verluste und Zugewinne) innerhalb Deutschlands sehr unterschiedlich ist.

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators mithilfe von Satellitendaten gibt es grundsätzlich mit Blick auf eine Differenzierung unterschiedlicher Grünlandtypen und einer räumlichen Differenzierung.

Während der aktuelle auf die Bodennutzungshaupterhebung bzw. die Agrarstrukturhebung basierende DAS-Indikator die Fläche des Dauergrünlands nur zusammenfassend als Summe der Fläche von Wiesen, Mähweiden, Weiden mit Almen (ohne Hutungen), Streuwiesen und Hutungen sowie der Fläche des aus der landwirtschaftlichen Erzeugung genommenen Dauergrünlands darstellen kann, erlaubt die Fernerkundung grundsätzlich eine stärkere Differenzierung, wobei eine solche bei den bisher angebotenen Produkten bzw. Datensätzen auch nur eingeschränkt operationalisiert worden ist. Der HRL Grassland der pan-europäischen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung könnte im Hinblick auf eine solche stärkere Differenzierung des Grünlands interessant sein. Der Layer ist aber derzeit noch in Entwicklung, und es ist noch nicht klar, wie das Produkt am Ende im Detail ausschauen wird. Eine Differenzierung unterschiedlicher Grünlandtypen leisten auch der Riparian Zones Layer und der Natura2000-Datensatz, beides Produkte der lokalen Komponente des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung, die dem Monitoring besonders sensibler Gebiete dienen (s. Kap. 3.3.2 und Abbildung 11). Da diese jedoch räumlich auf die weiteren Auflähen mittelgroßer und großer Flüsse, bzw. die Natura2000 Gebiete beschränkt sind, eignen sie sich nicht für eine deutschlandweite Auswertung unterschiedlicher Grünlandtypen.

Aktuell lässt sich die Grünlandveränderung anhand der folgenden fernerkundungsbasierten Produkte darstellen: Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2012), CORINE Land Cover (CLC), CORINE Land Cover Changes (LCC). Eine inhaltliche Differenzierung des Grünlands wird in diesen Produkten übereinstimmend nach den CLC-Kategorien vorgenommen, d. h. die Grünlandveränderung könnte bezogen auf „Wiesen und Weiden“ (= CLC-Kategorie 231), „natürliches Grünland“ (= CLC-Kategorie 321), „Heiden und Moorheiden“ (=CLC-Kategorie 322), „Sümpfe“ (= CLC-Kategorie 411) sowie „Torfmoore“ (= CLC-Kategorie 412) dargestellt werden. Ob eine solche Differenzierung im Hinblick auf Fragestellungen der Anpassung zusätzliche auswertbare Informationen beispielsweise zur standörtlichen Differenzierung liefert, ist allerdings fraglich.

Anhand dieser Datenquellen lassen sich zwei unterschiedliche Auswertungsansätze verfolgen:

1. Ermittlung der Grünlandfläche im jeweiligen Bezugsjahr des Datensatzes und Berechnung der Veränderung der Grünlandfläche im Vergleich zu einem Bezugszeitpunkt,
2. direkte Analyse der Grünlandveränderung auf der Basis eines Change-Layer.

zu 1.: Der Ansatz kann für Deutschland mit den Daten des Digitalen Landbedeckungsmodells für Deutschland (LBM-DE) oder mit Daten aus CORINE Land Cover umgesetzt werden. Neben einer Auswertung für Deutschland insgesamt sind dabei über GIS-Verschneidungen auch Differenzierungen für zu definierende Teilräume möglich. So wäre z. B. denkbar, die räumlich differenzierten Nutzungs-

daten mit einem hochauflösenden Digitalen Höhenmodell zu verschneiden und damit zu prüfen, unter welchen topographischen Bedingungen Grünlandumbruch stattfindet³⁵. Das LBM-DE liegt flächendeckend für die Jahre 2009 und 2012 in einer räumlichen Auflösung von 1 ha (Mindestkartierfläche – MKF) vor (vgl. Kap. 3.3.1). Da dem Projektteam lediglich der Datenstand des Jahres 2012 zur Verfügung stand, konnte die Grünlandfläche der beiden Stichjahre nicht vergleichend ausgewertet werden.

Für CORINE Land Cover, das mit einer MKF 25 ha erstellt wird, sind Geodaten aus den Jahren 1990, 2000, 2006 und 2012 verfügbar. In einer vergleichenden Auswertung für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland wurden die Daten zum Grünlandbestand aus den Erhebungen der Jahre 2006 und 2012 und die daraus abgeleitete Veränderung mit den Informationen aus LCC sowie der durch das StBA in der Bodennutzungshaupterhebung ermittelten Grünlandfläche und deren Veränderung untersucht (s. Tabelle 9). Diese direkte Differenzberechnung zwischen den Ergebnissen der CLC-Kartierung 2006 und 2012 kommt zu einem nicht plausiblen Ergebnis, da demnach die Grünlandfläche (in den Kategorien „Wiesen und Weiden“ sowie „Heiden und Moorheiden“) deutlich zugenommen haben soll. Sowohl LCC als auch die statistischen Daten zeigen eine entgegengesetzte Entwicklung an, letzteres obwohl CLC für das Jahr 2006 eine den statistischen Daten ähnliche Größenordnung der Grünlandfläche ermittelt hatte. Möglicherweise liegen die Unterschiede darin begründet, dass der Validierungsprozess der CLC-Daten noch nicht abgeschlossen ist.

zu 2.: In diesem Ansatz werden diejenigen räumlich konkret definierten Flächen berücksichtigt, auf denen zwischen zwei Erhebungszeitpunkten eine Veränderung der Landbedeckung stattgefunden hat. Damit wäre zukünftig denkbar, alle 1 ha-Zellen mit Nutzungsumwandlung hin zu Grünland und weg vom Grünland abzubilden. Bei einer entsprechenden (validierten und offiziellen) Change-Auswertung wäre es zusätzlich möglich, die jeweilige Richtung der Änderung anzugeben (z. B. von CLC 231 „Wiesen und Weiden“ zu 211 „Nicht bewässertes Ackerland“ oder von 321 „Natürliches Grünland“ zu 131 „Abbauflächen“), sofern diese aus Anpassungsgesichtspunkten für interpretierbar erachtet wird.

Bislang könnte flächendeckend für Deutschland für diesen Ansatz nur der Datensatz LCC verwendet werden, der mit einer MKF von 5 ha erzeugt wird. Zur Berichterstattung für CORINE wurde der Datensatz LCC für den Zeitraum 2006 bis 2012 dabei ausgehend vom LBM-DE berechnet, das sowohl Daten des Amtlichen Topographischen Informationssystems ATKIS sowie Fernerkundungsdaten berücksichtigt. Der Ausgangszustand der Landbedeckung für das Jahr 2006 wurde in einem Forschungsvorhaben des UBA auf der Grundlage des LBM-DE2009 modelliert³⁶. Dieser Change-Datensatz LCC mit einer räumlichen Auflösung von 5 ha ist qualitätsgesichert und offiziell verfügbar. Der Vergleich mit den statistischen Daten der Bodennutzungshaupterhebung zeigt allerdings, dass der Datensatz für eine Auswertung der Grünlandveränderung nicht geeignet ist, da er die Veränderung offensichtlich deutlich unterschätzt. Dies wird anhand der Tabelle 9 dargestellten Auswertung deutlich (jeweils fett gedruckte Werte): Die Abweichung der über den Change-Datensatz für CLC für den Zeitraum 2006 bis 2012 ermittelten Grünlandverluste von dem aus statistischen Daten ermittelten Verlust ist erheblich. Der Grund hierfür ist darin zu sehen, dass sich die letztendlich zu einem Grünlandumbruch führenden Landnutzungsveränderungen auf kleineren Flächen, d. h. Flächen unter 5 ha, vollziehen.

Für die Fortschreibung des LBM-DE werden durch das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) Veränderungen der Landbedeckung mit einer MKF von einem 1 ha Flächengröße detektiert,

³⁵ Neben den topographischen Verhältnissen müssten allerdings auch noch andere Faktoren wie die Bodenverhältnisse in einer solchen Analyse berücksichtigt werden. Dies würde jedoch bereits einer Modellentwicklung nahe kommen und erscheint mit Blick auf die erforderliche regelmäßige Aktualisierung eines Indikators daher als zu aufwändig.

³⁶ Keil M., Esch T., Divanis A., Marconcini M., Metz A., Ottinger M., Voinov S., Wiesner M., Wurm M., Zeidler J. 2015: Aktualisierung der Landnutzungs- und Landbedeckungsdaten CLC für das Jahr 2012 - „Backdating“ des DLM-DE vom Referenzjahr 2009 zurück auf das Jahr 2006. UBA Texte 36 / 2015, Dessau, 84 S.

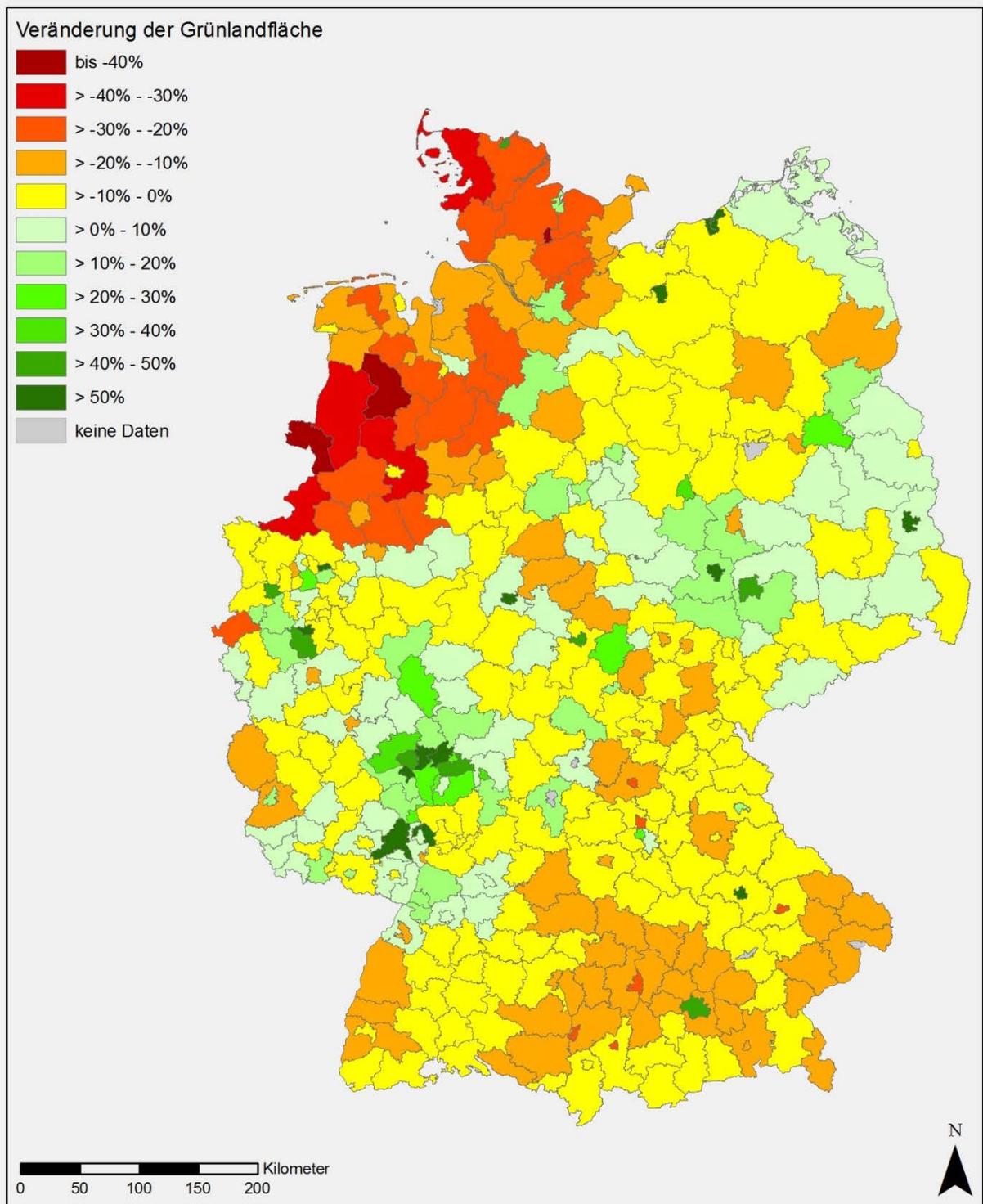
und es wird ein eigener Change-Datensatz erzeugt. Der vom BKG ermittelte Change-Datensatz (2009-2012) wurde (bisher) nicht qualitätsgesichert und enthält eine Vielzahl kleiner „pseudo changes“, die Interpretationen aus derzeitiger Sicht nicht zulassen. In der Weiterverarbeitung des Change-Datensatzes des LBM-DE zum LCC-Datensatz (5 ha MKF) für die Berichterstattung an die EU im Rahmen von CORINE werden diese Fehler bereinigt und der Datensatz wird qualitätsgesichert. Ob ein ähnlicher Prozess zukünftig auch für den „Change“-Datensatz des LBM-DE erfolgen wird, ist bislang unklar.

Tabelle 9: Grünlandverluste – Vergleich der Berechnung aus dem Change-Datensatz CLC und statistischen Daten für Deutschland

Nutzungskategorien	CLC Change (in 1.000 ha) 2006-2012	CLC (in 1.000 ha, gerundet)			Statistik (in 1.000 ha)		
		2006	2012	2006-2012	2006	2012	2006-2012
CLC 231 Wiesen und Weiden	-75,75	4.394,73	6.443,68	2.048,95			
CLC 321 Natürliches Grünland	-0,77	168,46	151,96	-16,50			
CLC 322 Heiden und Moorheiden	-0,60	55,22	97,05	41,83			
CLC 411 Sümpfe	-0,29	52,68	37,90	-14,79			
CLC 412 Torfmoore	-0,69	89,018	74,76	-14,26			
CLC gesamt	-78,10	4.760,12	6.805,35	2.045,23			
Dauergrünland					4.881,70	4.630,80	-250,90

Eine für Deutschland räumlich differenzierte Auswertung zur Veränderung der Grünlandfläche ist nicht zwingend auf Fernerkundungsdaten angewiesen. Hierfür können mit gewissen Einschränkungen auch Daten aus der Statistik genutzt werden, die zumindest eine Landkreis-bezogene Differenzierung zulassen und deutlich machen, in welchen Räumen Deutschlands der Grünlandverlust besonders ausgeprägt ist. Beide Auswertungen (Veränderung der Grünlandfläche in Prozent in Abbildung 21 und Veränderung des Anteils der Grünlandfläche an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Prozentpunkten in Abbildung 22) sind möglich, führen jedoch zu unterschiedlichen Aussagen.

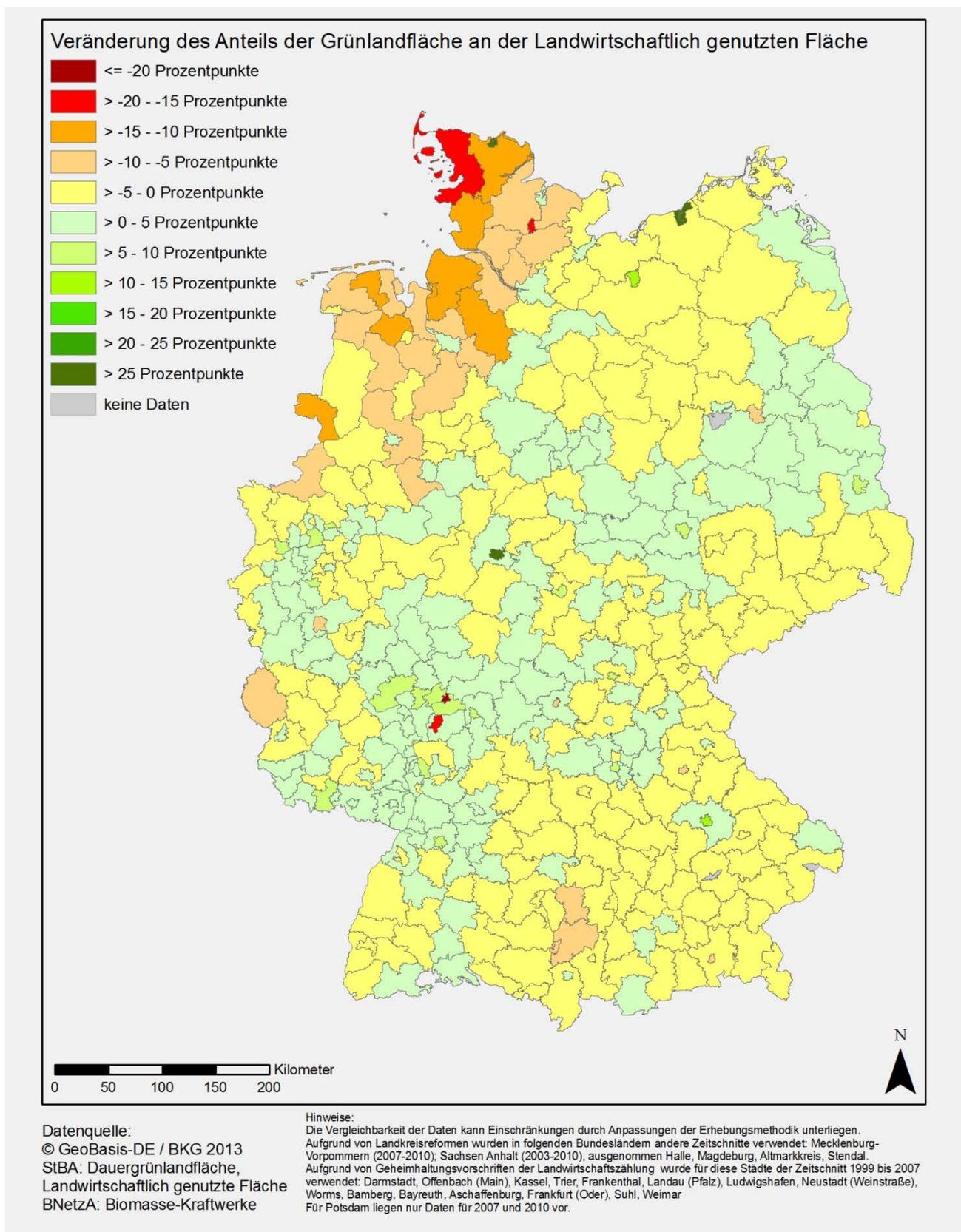
Abbildung 21: Änderung der Grünlandfläche (1999-2010) auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte



Datenquelle:
 © GeoBasis-DE / BKG 2013
 StBA: Dauergrünlandfläche,
 Landwirtschaftlich genutzte Fläche
 BNetzA: Biomasse-Kraftwerke

Hinweise:
 Die Vergleichbarkeit der Daten kann Einschränkungen durch Anpassungen der Erhebungsmethodik unterliegen.
 Aufgrund von Landkreisreformen wurden in folgenden Bundesländern andere Zeitschnitte verwendet: Mecklenburg-Vorpommern (2007-2010); Sachsen Anhalt (2003-2010), ausgenommen Halle, Magdeburg, Altmarkkreis, Stendal.
 Aufgrund von Geheimhaltungsvorschriften der Landwirtschaftszählung wurde für diese Städte der Zeitschnitt 1999 bis 2007 verwendet: Darmstadt, Offenbach (Main), Kassel, Trier, Frankenthal, Landau (Pfalz), Ludwigshafen, Neustadt (Weinstraße), Worms, Bamberg, Bayreuth, Aschaffenburg, Frankfurt (Oder), Suhl, Weimar
 Für Potsdam liegen nur Daten für 2007 und 2010 vor.

Abbildung 22: Veränderung des Anteils der Grünlandfläche an der LF (1999-2010) auf Ebene der Kreise und kreisfreien Städte



In Anbetracht einer solchen Auswertung stellt sich allerdings die Frage nach einer sinnvollen räumlichen Aggregation der Daten für eine bundesweite Indikatorarstellung. Grundsätzlich wäre denkbar,

die Grünlandflächen von Landkreisen und kreisfreien Städten, die jeweils einer Kategorie zugeordnet sind, aufzusummieren, um damit deutlich zu machen, auf wie viel Fläche innerhalb Deutschlands ein Rückgang und ein Zugewinn stattfinden und wie groß diese Änderungen jeweils sind. Das Problem der Interpretation läge dann allerdings darin, dass

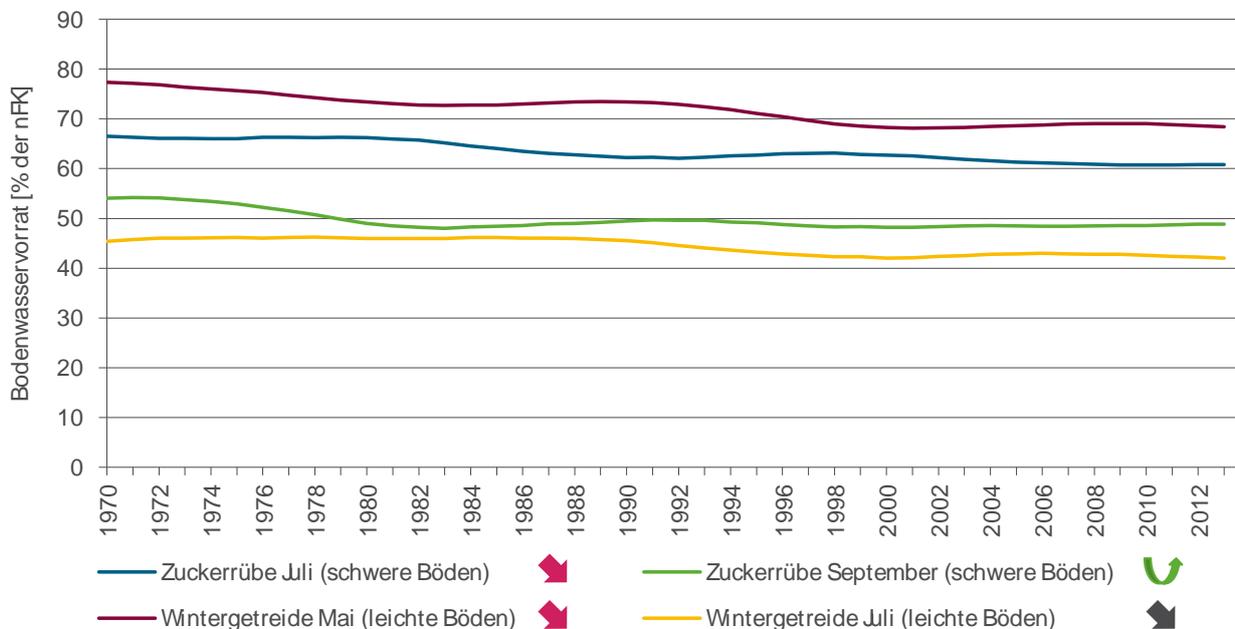
- ▶ die Auswertung (in beiden dargestellten Fällen) keinen Unterschied macht, von welchem Niveau (Grünlandanteil) aus eine Veränderung stattfindet,
- ▶ sich innerhalb der Landkreise Zugewinne von Grünland an einem Ort durch Verluste an einem anderen ausgleichen,
- ▶ großflächige Landkreise bei der Aufsummierung stark ins Gewicht fallen.

3.4.2 Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden“ (BO-I-1)

Aktueller DAS-Indikator:

Der aktuelle DAS-Indikator basiert auf Daten des Deutschen Klimaatlas des DWD und verwendet die Berechnungsvorschriften des AMBAV (Agrarmeteorologisches Modell zur Berechnung der aktuellen Verdunstung) Modells zur Ermittlung der Bodenfeuchte. Dargestellt wird das langjährige Flächenmittel des Versorgungsgrads des Bodens mit Wasser in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (nFK) bis in eine Bodentiefe von 60 cm, d. h. des Sättigungsgrads des Bodenwassers. Der Indikator wird für die Kulturen Wintergetreide und Zuckerrübe abgebildet (s. Abbildung 23). Unterhalb eines Werts von 50 % nFK muss bei Pflanzen grundsätzlich mit Wasserstress gerechnet werden. Neben dem deutschlandweit aggregierten Wert, werden als zusätzliche Information differenziertere Daten für die Regionen Süd, Ost, Mitte und Nord bereitgestellt, aber im Monitoringbericht nicht dargestellt.

Abbildung 23: Indikator BO-I-1 „Bodenwasservorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden“



Datenquelle: DWD (Deutscher Klimaatlas - Landwirtschaft)

Veränderungen von Niederschlagsverhältnissen und Lufttemperatur wirken sich direkt auf den Wasser- und Stoffhaushalt im Boden aus. Infolge des Klimawandels kann es daher zu Veränderungen der Infiltration und des Abflussverhaltens sowie des pflanzenverfügbaren Wassers (nutzbare Feldkapazität) und in der Konsequenz zu Trockenstresssituationen der Pflanzen kommen. Dies wiederum hat

Einfluss auf die Nährstoffversorgung der Pflanzen. Die Auswirkungen können dabei je nach Boden, Nutzungsart, Pflanze und Vegetationsperiode jedoch sehr unterschiedlich sein.

Schwächen des aktuellen DAS-Indikators, neue Entwicklungen:

Die für den Indikator genutzten Daten des Deutschen Klimaatlas werden regelmäßig und hochfrequent fortgeschrieben, und die genutzten Modelle sind qualitätsgesichert. Allerdings stellt der Indikator eine starke Vereinfachung der räumlich hoch differenzierten Verhältnisse von Böden und Witterung innerhalb Deutschlands dar. Das im bisherigen Indikator eingesetzte Flächenmittel für Deutschland lässt keine Aussagen zu, in welchen Teilregionen konkret Engpässe in der Wasserversorgung der Pflanzen auftreten. Eine direkte Gegenüberstellung der Werte mit der kritischen Grenze von 50 % nFK ist daher nicht möglich. Allerdings wäre eine solche räumliche Differenzierung auf der Grundlage der Analysen und Darstellungen im Deutschen Klimaatlas möglich. Deutschlandweite Karten der Bodenfeuchte für die zwei Kulturen Wintergetreide und Zuckerrübe liegen als Referenzwert für den Zeitraum 1961-1990 sowie als jährliche Veränderungs- und Absolut-Werte ab dem Jahr 2000 vor.

Ein Kritikpunkt am aktuellen DAS-Indikator ist ferner, dass die Bodenfeuchte nicht nur von den der Modellierung zugrundeliegenden Klimaparametern bestimmt, sondern auch sehr stark boden- und nutzungsabhängig ist. Die aus Klimaparametern abgeleiteten Werte können daher von den realen Verhältnissen vor Ort abweichen.

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

Die Bodenfeuchte beeinflusst eine Vielzahl von hydrologischen und agrarökologischen Prozessen und ist daher von GCOS als eine ECV (s. Kap. 2.2.4.4) gelistet, die mit Satellitendaten ermittelt werden kann. Die längsten auf Satellitendaten basierenden Datenreihen zur Bodenfeuchte reichen bis ins Ende der 1970er Jahre zurück. Dafür eingesetzte Sensoren sind multi-Frequenz-Radiometer, angefangen mit SMMR in den 1980er Jahren, SSM/I, TMI, AMSR-E und Windsat in den 1990er und 2000er Jahren und C-Band Scatterometer wie ERS-1/2 Scatterometer und METOP Advanced Scatterometer (ASCAT) im Anschluss. Die neuesten Missionen zur Bestimmung von Bodenfeuchte basieren ebenfalls auf Radardaten, insbesondere SAR (Synthetic Aperture Radar) Daten. Die derzeit produzierten Datensätze beruhen auf dem ASCAT Sensor, der seit 2006 auf den zwei EUMETSAT Satelliten MetOp-A und MetOp-B installiert ist, der SMAP (Soil Moisture Active Passive) Mission der NASA sowie ESAs SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) Mission.

Grundsätzlich ist Bodenfeuchte mit Hilfe von Satellitendaten gut für offene, z. B. landwirtschaftlich genutzte, Flächen zu bestimmen. Allerdings beschränkt sich vor allem bei räumlich hochauflösenden Ansätzen die direkt aus Satellitendaten ableitbare Information auf die oberen Zentimeter des Bodens. Probleme gibt es in Städten, dichten Wäldern und Gebirgen, da man hier aufgrund der Oberflächeneffekte und Topographie auf methodische Schwierigkeiten bei der Auswertung von Radardaten stößt. Auch bei schneebedecktem oder gefrorenem Boden ist die Berechnung der Bodenfeuchte mittels Satellitendaten schwierig, bzw. oft nicht realisierbar, weshalb diese Flächen in vielen Produkten ausmaskiert werden.

Im Rahmen des Copernicus Programms wird derzeit im Land Monitoring Service unter der globalen Komponente ein Produkt zur Bodenfeuchte angeboten. Der sogenannte „Soil Water Index“ (SWI) ist voll operationell und wird täglich global in einer räumlichen Auflösung von 0,1° (in etwa 11 km) erhoben. Er quantifiziert die Bodenfeuchte in unterschiedlichen Bodenschichtetiefen, die hauptsächlich durch den Niederschlag und die daraus resultierende Infiltration gesteuert wird. Die Interpreta-

tion der Daten ist nicht einfach, da Bodenfeuchte ein sehr heterogener Parameter ist, der durch kleinräumige Eigenschaften und Prozesse (Bodentypen, Vegetationsbedeckung etc.) beeinflusst wird. Der Copernicus Datensatz basiert auf den Daten des ASCAT-Sensors. Die Datenreihen reichen dadurch bis in das Jahr 2007 zurück. Der SWI wird als bezuglose Skala von 0 bis 100 in Prozent angegeben. Der Copernicus Datensatz enthält je nach Aufnahmezeitpunkt Lücken, die meist entweder auf die Topographie oder Schneebedeckung zurückzuführen sind.

Der Copernicus Bodenfeuchte-Datensatz wurde von der TU Wien erstellt, die auch auf ihrem eigenen Geoportal ³⁷ diese ASCAT-Datensätze zur Verfügung stellt. Neben dem SWI-Datensatz werden dort auch ein Surface Soil Moisture (SSM) Datensatz in naher Echtzeit bereitgestellt sowie weitere Datensätze (z. B. soil moisture, noise, dry reference, wet reference), die als Modellinputs für den SWI-Datensatz dienen. Die SWI ist somit ein modellierter Datensatz. Im Gegensatz zu der rein auf Satellitendaten basierende SSM, die nur für die ersten 1-5 cm des Bodens ermittelt werden kann, wird die Bodenfeuchte im SWI-Datensatz auch für tiefere, für die Pflanzenversorgung bedeutende Bodenschichten modelliert.

Neben dem ASCAT Datensatz auf der Copernicus Seite stellt die TU Wien auch einen ASCAT-Datensatz im H SAF³⁸ zur Verfügung und ist verantwortlich für die Entwicklung des Bodenfeuchte Datensatzes in ESAs CCI³⁹. In der CCI wird jedoch vorwiegend auf ältere Bodenfeuchte-Missionen (s. o.) zurückgegriffen, da der Fokus hier auf die Erstellung einer langen und konsistenten Bodenfeuchte-Zeitreihe liegt. Es sei jedoch angemerkt, dass für die nächste CCI-Phase auch die neuesten Bodenfeuchte-Missionen wie SMOS und SMAP eingesetzt werden sollen.

Des Weiteren werden von NASA verschiedene Bodenfeuchte-Produkte basierend auf der SMAP-Mission angeboten. Diese enthalten neben den bereits oben erwähnten SSM-Datensätzen auch weiter prozessierte Datensätze / Modelle, die dem SWI ähnlich sind. Zu nennen ist beispielsweise die sogenannte „Root Zone Soil Moisture“⁴⁰. Im Gegensatz zum Copernicus-Produkt gibt es bei diesem Datensatz keine Datenlücken, da für dessen Erstellung Hilfsdatensätze (z. B. Landnutzungsdatensätze) verwendet wurden. Auch von der SMOS-Mission gibt es Bodenfeuchte-Datensätze, die direkt herunterladbar sind⁴¹. Die Daten können bereits aggregiert als monatliche oder jährliche Werte bezogen werden. Zu guter Letzt ist das Bodenfeuchte-Produkt des JRC zu erwähnen, das im Rahmen der European Drought Products erstellt wird⁴². Die Daten werden in einer eigens erstellten Skala zwischen sehr feucht und sehr trocken eingeteilt. Hilfreich ist insbesondere, dass die Daten bereits im Geoportal sowohl per Pixel, als auch auf Regionen Ebene (administrative Einheiten) aggregiert und angezeigt werden können.

Prinzipiell basieren alle diese genannten Datensätze und Produkte auf ähnlichen, wenn nicht sogar identischen Ausgangsdatsätzen und Modellannahmen. Die räumlichen Auflösungen sind i. d. R. nicht differenzierter als 10 km (sofern keine Hilfsdatensätze verwendet wurden, die die Auflösung verbessern). Die Länge der Zeitreihen ist von den verwendeten Sensoren abhängig. Momentan wird an besser aufgelösten 1 km Bodenfeuchte-Produkten gearbeitet, basierend beispielsweise auf der

³⁷ <http://rs.geo.tuwien.ac.at/data-viewers/>

³⁸ <http://hsaf.meteoam.it/soil-moisture.php>

³⁹ www.esa-soilmoisture-cci.org/node/93

⁴⁰ https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=VIIRS_SNPP_CorrectedReflectance_TrueColor%28hidden%29,MODIS_Aqua_CorrectedReflectance_TrueColor%28hidden%29,MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueColor,SMAP_L4_Analyzed_Root_Zone_Soil_Moisture,Reference_Labels%28hidden%29,Reference_Features%28hidden%29,Coastlines&t=2016-02-10&v=-156.796875,-70.03125,113.203125,76.5

⁴¹ <http://cp34-bec.cmima.csic.es/land-datasets/>

⁴² <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1120>

ASAR-Mission oder neuerdings auf den Sentinel-1-Daten. Dennoch ist die Entwicklung hochaufgelöster Bodenfeuchte-Produkte mit gewissen methodischen Schwierigkeiten verbunden, insbesondere da die Oberflächeneffekte in den Radar-Satellitenbildern größer werden. Neue Entwicklungen diesbezüglich werden sicherlich noch einige Zeit erfordern.

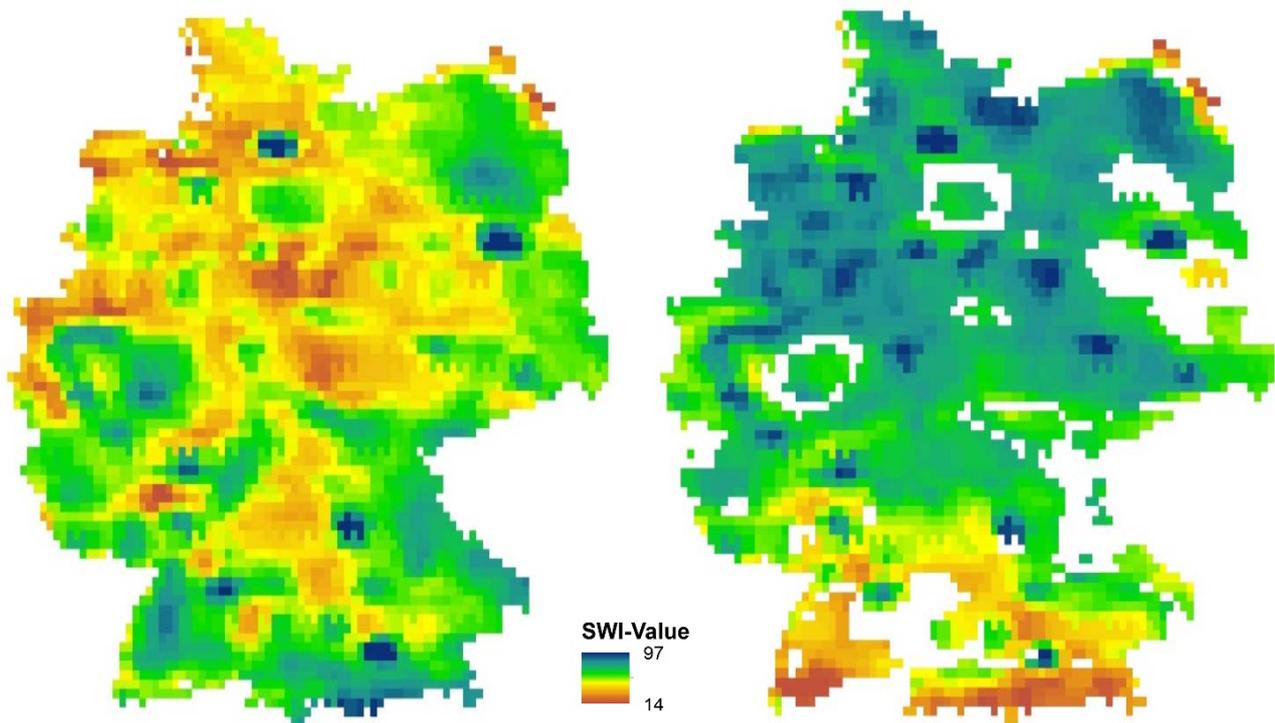
Mögliche Arbeitsschritte bei der Indikator-Umsetzung:

Im Folgenden wird beispielhaft anhand des Copernicus SWI-Datensatz aufgezeigt, wie ein Bodenfeuchteindikator auf Basis von Satellitendaten berechnet werden könnte. Es handelt sich bei dieser exemplarischen Erprobung ausdrücklich nicht um die Berechnung eines Indikators. Ziel eines auf Satellitendaten basierenden Indikators kann es nicht sein, den derzeitigen DAS-Indikator zu ersetzen, der auf qualitätsgesicherten Modell-Datensätzen basiert. Vielmehr sollen die Möglichkeiten der Satellitenfernerkundung aufgezeigt werden, räumlich differenzierte und hochfrequente Informationen zur Bodenfeuchte zu liefern.

Zur Indikatorberechnung wurden beispielhaft für das Jahr 2015 die sogenannten SWI10 composites heruntergeladen, in denen die täglich verfügbaren SWI-Werte bereits zu 10-Tages Einheiten zusammengefasst sind. Der SWI-Datensatz wird für verschiedene ‚Zeitlängen‘ zur Verfügung gestellt, die laut Metadatendokumentation verschiedene Bodenschichten charakterisieren. Es wurden exemplarisch die T40-Datensätze ausgewählt, die für die Analyse bodennaher Schichten (0-25 cm) empfohlen werden⁴³. Abbildung 24 zeigt exemplarisch zwei der insgesamt 36 heruntergeladenen SWI-Layer. Die überwiegend trockenen Böden im Sommer 2015 werden ebenso deutlich wie die feuchteren Böden im Winter, die sich entsprechend durch höhere SWI-Werte auszeichnen. Gut zu sehen sind sowohl die Datenlücken im Winter, die sich aufgrund von Schneebedeckung und gefrorenem Boden ergeben, sowie die grobe räumliche Auflösung der Daten von 0,1°. Eine weitere Schwäche des SWI-Datensatzes ist ebenfalls deutlich erkennbar: Die Bodenfeuchte in urbanen Räumen wird nicht adäquat wiedergegeben.

⁴³ Die anderen verfügbaren Zeitlängen eignen sich auch für die Analyse von Bodenschichtentiefen von 0-100cm und 50-100cm.

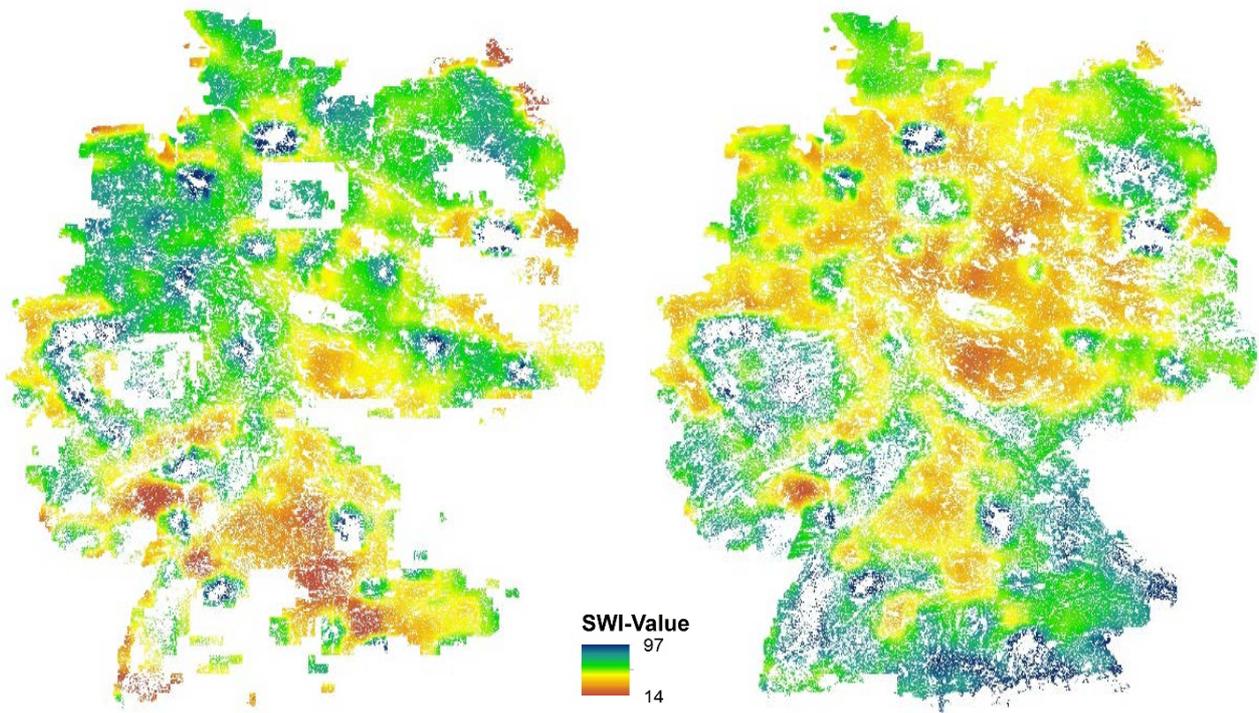
Abbildung 24: Copernicus SWI-Datensatz im Sommer 2015 (links) und Winter 2015 (rechts)



Um ein dem aktuellen DAS-Indikator vergleichbaren Darstellungsziele zu folgen, müssen in einem nächsten Schritt alle nicht-landwirtschaftlichen Flächen von der Analyse ausgenommen werden. Damit werden zugleich viele unsichere Werte des Datensatzes (z. B. zu Städten, dichten Wäldern oder im Hochgebirge) eliminiert. Die Selektion der landwirtschaftlichen Flächen erfolgte auf der Grundlage des Corine Land Cover Datensatz. Es wurden dabei folgende Landnutzungsklassen für die Verschneidung mit dem SWI-Datensatz berücksichtigt: non-irrigated arable land, vineyards, fruit trees and berry plantations, pastures, complex cultivation patterns, land principally occupied by agriculture with significant areas of natural vegetation. Für die Verschneidung im GIS müssen zuvor die Pixelgröße des SWI-Datensatzes auf die Größe des CLC-Datensatzes angepasst werden, wodurch sich (nur scheinbar) besser aufgelöste Karten ergeben.

Gemittelt über alle 36 SWI-Datensätze für das Jahr 2015 ergibt sich das in Abbildung 25 aus der linken Seite dargestellte Bild. Es wird auch hier deutlich, dass z. T. große Datenlücken bestehen, die aus den nicht verfügbaren Werten in der Winterzeit resultieren. Ebenso sind Mittelwertbildung für einzelne Monate möglich (s. rechter Teil der Abbildung).

Abbildung 25: Gemittelter SWI-Datensatz für landwirtschaftliche Flächen



Links: Mittel für das Jahr 2015. Rechts: Mittel für Juni 2015

Für eine Indikatorberechnung und Darstellung können die SWI-Daten auf unterschiedliche Weise räumlich und zeitlich aggregiert werden. Räumlich ließen sich Pixelwerte für die gesamte Bundesrepublik oder für Teilräume (z. B. Naturräume, Bodentypen) mitteln oder aufsummieren. Für eine zeitliche Aggregation gibt es die Möglichkeit eines über alle Monate gemittelten Jahreswerts oder einer für die Jahreszeiten differenzierte Mittelung. Auch Anomalien zwischen den Jahren ließen sich abbilden (z. B. signifikante Abweichungen der Jahresverläufe von einem langjährigen Mittel). In Abbildung 26 ist beispielhaft für ein ausgewähltes Pixel im nördlichen Bayern (ohne Schneebedeckung) ein jahreszeitlicher Verlauf dargestellt.

Abbildung 26: SWI-Werte im Jahresverlauf 2015 für ein ausgewähltes Pixel in Nordbayern



All diese Berechnungs- und Darstellungsvarianten könnten den bestehenden DAS-Indikator u. U. weiter qualifizieren, indem sie beispielsweise als Indikator-Zusatz ergänzt werden. Eine direkte Integration mit dem aktuellen auf nFK-Werten basierenden DAS-Indikator ist jedoch nicht möglich, da die bezugslose Skala des SWI einen Vergleich mit nFK-Werten nicht oder nur sehr schwer erlaubt. Kritisch zu bewerten sind auch die bestehenden Datenlücken im SWI-Datensatz, wodurch ein kontinuierliches Monitoring erschwert wird. Da es zum jetzigen Zeitpunkt noch viele methodisch und inhaltlich zu klärenden Fragen zur genauen Indikatorberechnung gibt, ist eine ergänzende oder alternative Indikatorberechnung derzeit jedoch nicht realisierbar.

3.4.3 Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Gewässerstruktur“ (WW-R-2)

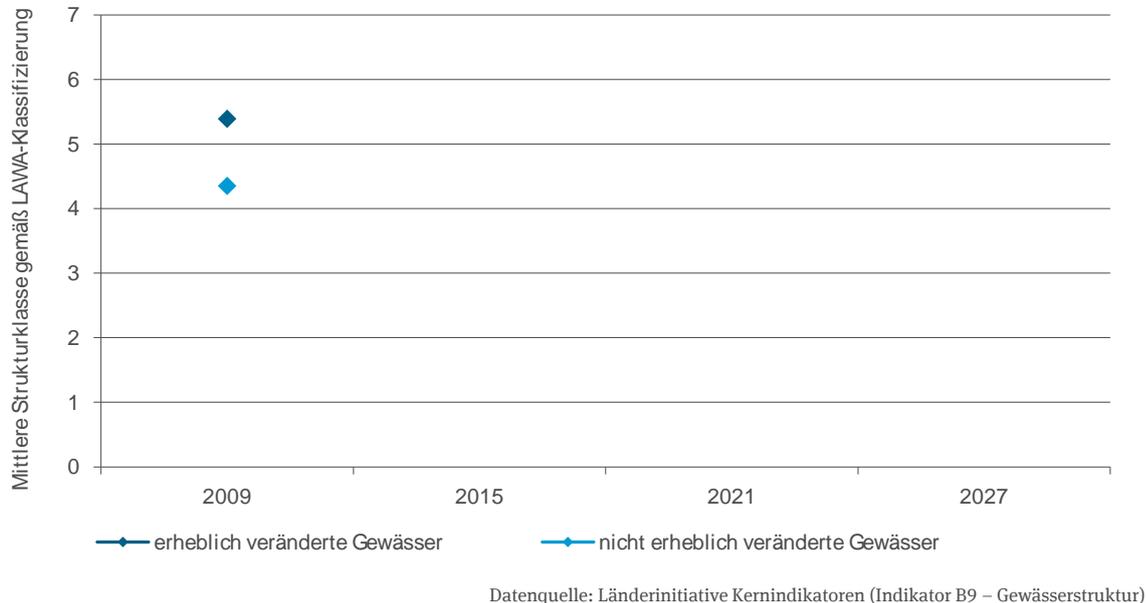
Aktuelle DAS-Indikatoren:

Der aktuelle DAS-Indikator beschreibt den Grad der Abweichung der Gewässerstruktur vom natürlichen Zustand für „erheblich veränderte“ und „nicht erheblich veränderte“ Fließgewässer (s. Abbildung 27). Der Indikator entspricht dem Indikator B9 – Gewässerstruktur (Teil 1: Grad der Veränderung der Gewässerstruktur; für Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet ab 10 km²) der Länderinitiative Kernindikatoren (LIKI). Er basiert auf Daten der bundesweit einheitlichen LAWA-Gewässerstrukturgütekartierung. Die Kartierung wird 6-jährlich wiederholt. Die Kartierung basiert auf der Erfassung der folgenden, die Struktur und Dynamik des Gewässers bestimmenden Hauptparameter: Laufentwicklung, Längsprofil, Querprofil, Sohlenstruktur, Uferstruktur und Gewässerumfeld.

Dem Indikator liegt die Hypothese zugrunde, dass mit einem veränderten Niederschlagsregime infolge des Klimawandels einerseits mit einer Zunahme der Hochwassergefahr zu rechnen ist, andererseits aber auch trockene Perioden zu einer Minderung des Gewässerabflusses führen können. Die natürliche Gewässerstruktur wiederherzustellen, ist wesentlicher Bestandteil des Ziels „Erreichung des guten ökologischen Zustandes“ der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Durch die Renaturierung von Gewässern und damit der Wiederherstellung einer natürlichen Morphologie mit einem natürlichen Ausuferungsvermögens des Gewässers und einer Wiederanbindung von Auen und Altarmen werden Lebensräume für die aquatische Lebensgemeinschaft erhalten, aber auch erhöhte Speicherkapazitäten geschaffen. So können struktureichere Gewässer den Abfluss verlangsamen und die

Hochwasserwelle abflachen. Durch den erhöhten Rückhalt können Überflutungsrisiken verringert und Trockenzeiten mit Niedrigwasser besser abgepuffert werden.

Abbildung 27: Indikator WW-R-2 „Gewässerstruktur“



Schwächen der aktuellen DAS-Indikatoren:

Der in das DAS-Indikatorensystem übernommene LIKI Indikator bezieht sich auf alle Fließgewässer ab einem Einzugsgebiet von 10 km². Aufgrund methodischer Unterschiede in den Kartierverfahren werden außerdem die Bundeswasserstraßen von der Erfassung ausgenommen. Die Erfassungskulisse ist damit eingeschränkt. Hinzu kommt, dass der Indikator nur alle sechs Jahre erfasst wird und damit eine hochfrequente Fortschreibung im DAS-Monitoringbericht nicht möglich ist.

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

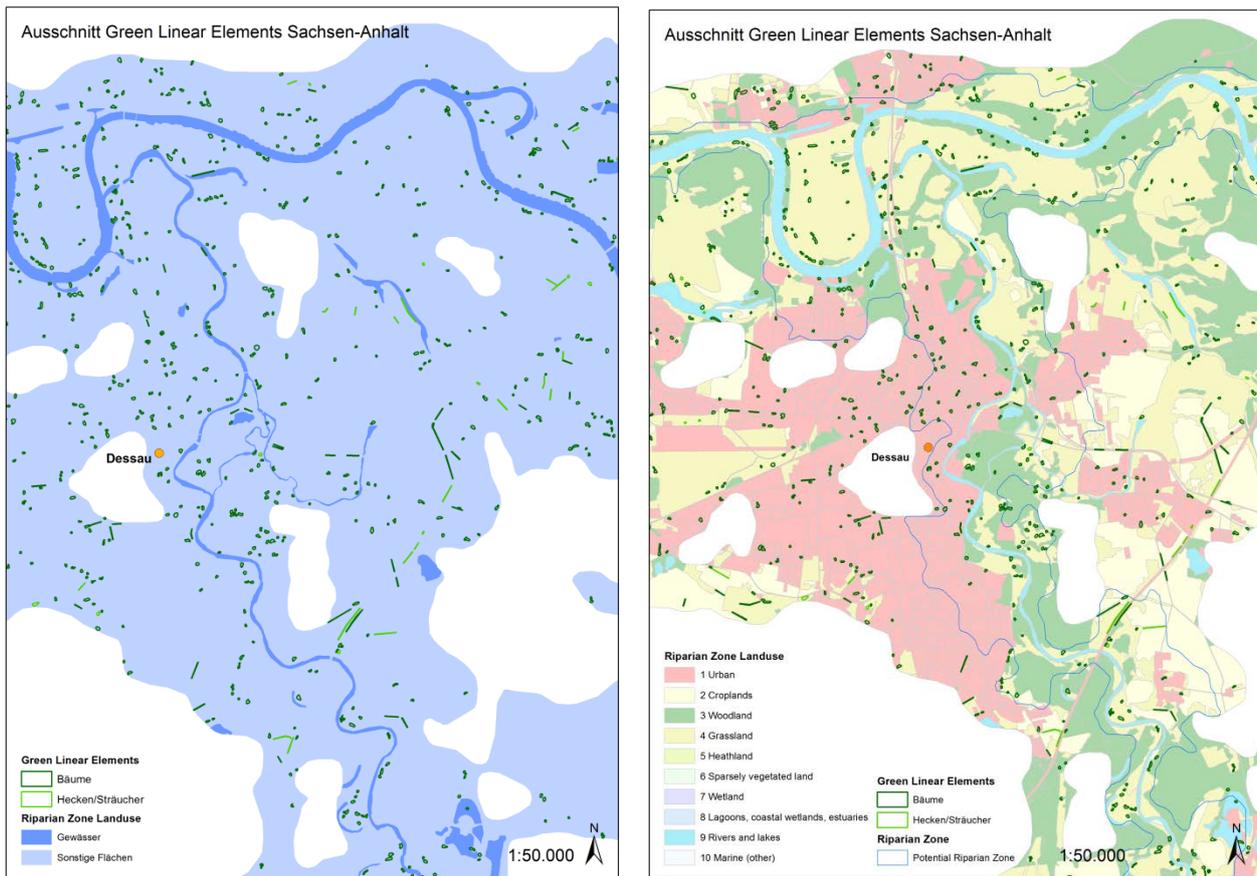
Der auf den Daten der LAWA-Gewässerstrukturgütekartierung basierende DAS-Indikator ist Ergebnis einer mehrere relevante (In situ-)Parameter integrierenden Bewertung. Er lässt sich satellitengestützt nicht reproduzieren. Fernerkundungsbasierte Erhebungen können immer nur Teilaspekte der Gewässerstruktur abbilden. Bezüglich der Landnutzung in der Aue sei auf Kap. 3.3.2 verwiesen. Einen weiteren Ansatzpunkt für die Erfassung naturnaher flussbegleitender Vegetation könnten Daten des Riparian Zone Layers, speziell des Layers „Green Linear Elements“ (GLE), des Copernicus-Dienstes zur Landüberwachung liefern. Innerhalb des Untersuchungsraums der Landbedeckungs- und -nutzungskartierung (RPZ LC/LU) werden alle Vegetationsstrukturen erfasst, deren Ausdehnung (Fläche bzw. Breite) unterhalb der Erfassungsgrenzen (MMU 0,5 Hektar, MMW 10 m) des RPZ LC/LU liegt (s. Abbildung 28). Erfasst werden:

- ▶ lineare Vegetationsstrukturen wie Hecken bzw. Buschwerk oder Baumreihen mit einer Breite bis maximal 10 m und einer Länge von mindestens 100 m (sofern die Strukturen bei einer Auflösung der berücksichtigten Satellitenbilddaten von 1,5 m bis 2,5 m identifizierbar waren) sowie
- ▶ Einzelflächen mit Bäumen und / oder Buschwerk mit einer Fläche von 500 m² (MMU) bis 5.000 m² (MMU) mit einer Mindestbreite von 10 m (MMW).

Neben Länge und Breite wird als weiteres Kriterium die Zirkularität der Strukturen verwendet, wobei dieses Kriterium in der Dokumentation des Datensatzes nicht näher erläutert ist.

Es werden nur Gehölze (Bäume bzw. Hecken und Buschwerk) und keine krautigen Strukturen berücksichtigt. Eine Differenzierung zwischen Bäumen (nach der zugrunde liegenden FAO-Definition über 5 m hoch) und Sträuchern (0,5 und 5 m) ist mit Einschränkungen möglich, da satellitengestützt eine exakte Höhenbestimmung nicht möglich ist.

Abbildung 28: Green linear elements



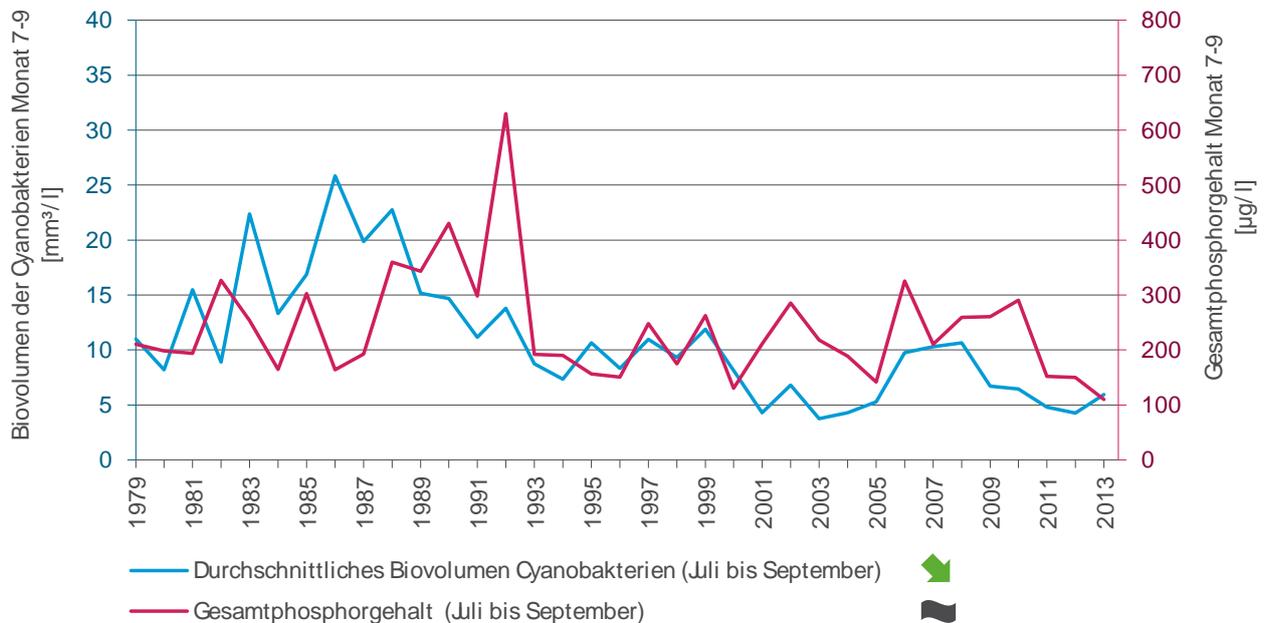
Eine Ergänzung des DAS-Indikators um eine (möglicherweise) hochfrequenter Darstellung der uferbegleitenden Gehölze ist grundsätzlich denkbar. Hierfür bedürfte es allerdings weiterer umfangreicher Überlegungen zur Qualifizierung der GLE. So wäre beispielsweise zu entscheiden, bis zu welchem Abstand zum Gewässer die Gehölzstrukturen noch als „gewässerbegleitend“ eingestuft werden können und welche Struktur diese haben müssen, um als naturnah eingestuft zu werden. Das bisherige Vorgehen für die Ermittlung der GLE müsste hierfür allerdings weiter differenziert werden, da bislang nur eine Unterscheidung hinsichtlich der Größe der Gehölze vorgenommen wird. Diese Überlegungen konnten im Rahmen des Vorhabens nicht weiter präzisiert werden.

3.4.4 Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Blaualgenbelastung von Badegewässern“ (GE-I-6)

Aktueller DAS-Indikator:

Beim aktuellen DAS-Indikator handelt es sich um eine Fallstudie, die beispielhaft Daten zu nur einem See, dem Müggelsee, präsentiert. Der Indikator bildet zum einen das Saisonmittel (Juli bis September) des Biovolumens von Cyanobakterien ab, zum anderen das Saisonmittel (Juli bis September) des Gesamtphosphorgehalts, da es einen engen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern gibt (s. Abbildung 29).

Abbildung 29: Indikator GE-I-6 „Blaualgenbelastung von Badegewässern“



Datenquelle: Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei IGB (Seenmonitoring)

Schwächen des aktuellen DAS-Indikators:

Es gibt derzeit noch keine bundesweite Quelle ausreichend hochfrequent erhobener Daten zum Cyanobakterienvorkommen in Seen, so dass sich eine DAS-Indikator, der auf In situ-Daten basiert derzeit noch auf eine Fallstudie beschränken muss. Art. 8 der (novellierten) EG-Badegewässerrichtlinie 2006/7/EG über die Qualität der Badegewässer und deren Bewirtschaftung schreibt zwar eine geeignete Überwachung vor, wenn das Profil des Badegewässers auf ein Potenzial für eine Massenvermehrung von Cyanobakterien hinweist. Von den Ländern durchgeführte Untersuchungen an ihren jeweiligen Badeseen dienen aber i. d. R. primär der „ad-hoc-Entscheidung“, ob der Badebetrieb aufrechterhalten werden kann. Für den Müggelsee liegen für die relevanten Monate Juli bis September die von Fachleuten für mindestens erforderlich erachteten drei Messungen vor, so dass sich auf dieser Grundlage eine Fallstudie entwickeln ließ.

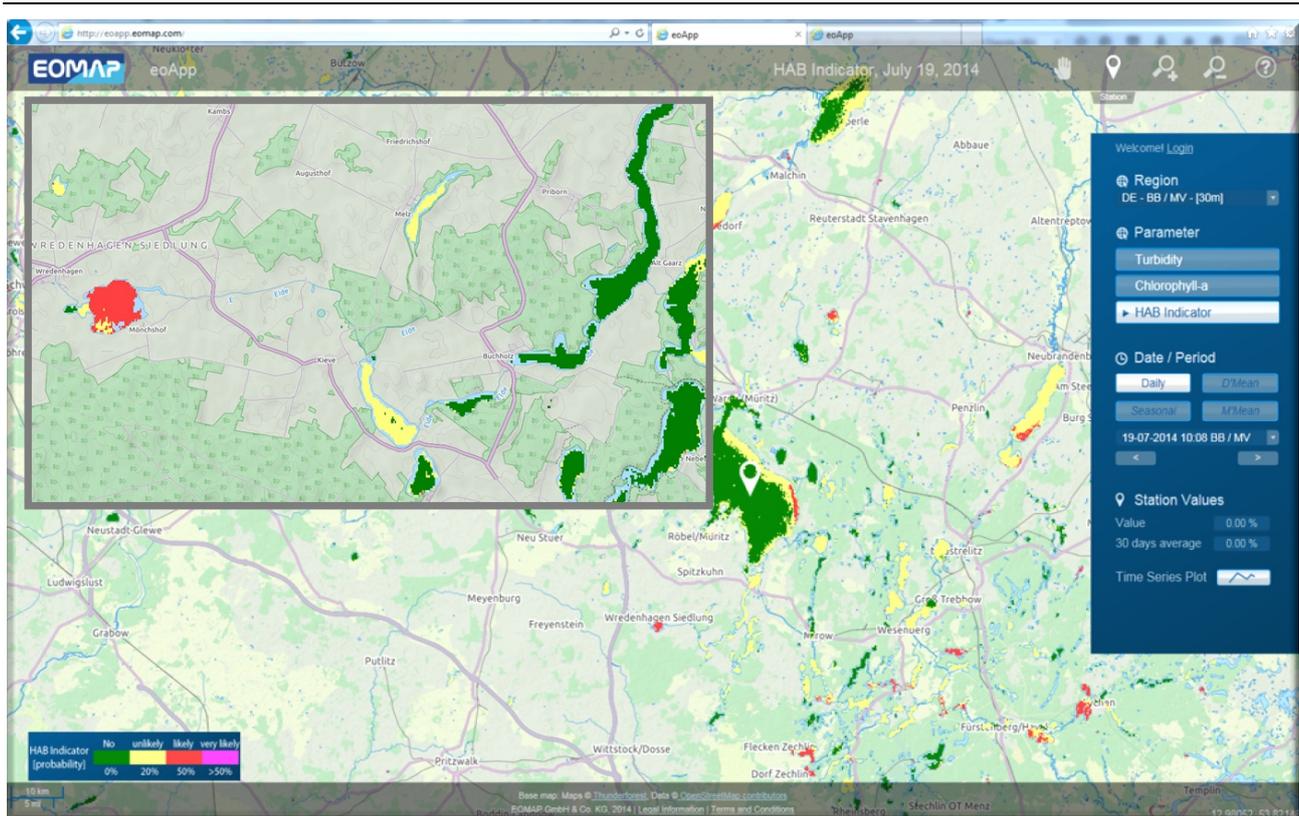
Eine zeitlich und räumlich repräsentative In situ-Erfassung des Cyanobakterien-Vorkommens ist insofern schwierig, als Cyanobakterien in den Gewässern aufgrund biotischer und abiotischer Einflüsse sowohl räumlich als auch zeitlich ein äußerst heterogenes Verteilungsmuster annehmen. So können die Cyanobakterien-„Blüten“ windabhängig in bestimmten Gewässerbereichen akkumulieren, jedoch auch bei Wechsel der Windrichtung rasch wieder verdriftet werden (UBA 2003).

Die derzeitige Darstellung der Cyanobakterien-Entwicklung in nur einem See innerhalb Deutschlands erlaubt keine Rückschlüsse auf die Entwicklung in anderen Seen. Die spezifischen Verhältnisse am Müggelsee müssen bei der Interpretation des Indikators berücksichtigt werden.

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

Satellitengestützt ist ein sowohl zeitlich als auch räumlich hoch aufgelöstes Monitoring der Blaualgenbelastung möglich. Es gibt eine Reihe multispektraler Satellitensensoren wie MODIS oder an Bord von Sentinel-3 für die zeitlich hochfrequente Erfassung größerer Gewässerkörper mit einer räumlichen Auflösung von 250 bis 1.000 m sowie die Landsat-Satelliten 5,7,8 und Sentinel 2 mit einer höheren räumlichen Auflösung von in 20 bis 30 m für die Beobachtung kleinerer Seen (HEEGE et al. 2015). Mit Blick auf die Erfassung von Blaualgenbelastungen sind inzwischen Verfahren entwickelt worden, die es erlauben, zwischen toxischen und nicht-toxischen Algen zu unterscheiden (s. Cya-noLakes, ein öffentlicher Informations- und Warndienst, der über mobile Anwendungen wöchentliche Updates, Vorhersagen und Echtzeit-Informationen zu Blaualgenblüten zur Verfügung stellt (MATTHEWS & BERNARD 2015)). Von EOMAP wurde eine Web-Application (eoApp) entwickelt, die zu Parametern wie Trübung, Chlorophyll-a und gefährliche Algenblüten Online-Daten in 30 m Auflösung und mit täglicher Aktualisierung zur Verfügung gestellt (s. Abbildung 30). Dieser Value adding-Service ist bereits operationell. Es fehlt aber noch an einer systematischen Validierung der Daten. Dies ist aufgrund der fehlenden In situ-Monitoringdaten allerdings mit größerem Aufwand verbunden.

Abbildung 30: Auszug aus der Web-Application eoApp – Cyanobakterienbelastung von Seen der Mecklenburger Seenplatte am 19.7.2014



Quelle: ©EOMAP GmbH & Co.KG 2016

Ein erweiterter bundesweiter DAS-Indikator ließe sich aus diesen Value adding-Services beispielsweise über folgende Schritte generieren:

- ▶ Zusammenfassung der erfassten Seen zu Seentypen: Die Unterteilung der Seentypen kann grob anhand von drei Regionen erfolgen: Norddeutsche Tiefebene, Mittelgebirge, Alpen und

Alpenvorland. Eine Regionsbildung bietet sich an, um die unterschiedlichen naturräumlichen Einflüsse auf Oberflächengewässer wiederzugeben. Diese Regionalisierung orientiert sich an den biozönotischen Ökoregionen von Illies (1978), der Deutschland im Wesentlichen in drei Ökoregionen „zentrales Tiefland“ (Region 14), „zentrale Mittelgebirge“ (Region 9) und Alpen (Region 4) eingeteilt hat (s. SCHÖNTHALER & VON ANDRIAN 2015, Indikator-Factsheets zum Handlungsfeld „Wasserhaushalt, Wasserwirtschaft, Küsten- und Meeresschutz“, z. B. WW-I-5 „Wassertemperatur stehender Gewässer“),

- ▶ für alle Seen eines Typs Aufaddierung aller Pixel, für die Belastungen angezeigt werden, für alle Tage der Beobachtungsperiode (von März bis November) und Division durch die insgesamt beobachtete Seenfläche. Damit ergäbe sich ein Wert, der sich zwischen den Seentypen und den Jahren vergleichen und in einer Zeitreihe darstellen ließe.

Das UBA FG II 2.4 (Binnengewässer) ist bereits mit mehreren Länderbehörden im Gespräch, um Projekte zur Nutzung von Möglichkeiten der Satellitenfernerkundung für das Gewässermonitoring anzustoßen. Diese Bemühungen könnten durch die Anforderungen, die aus der Weiterentwicklung des DAS-Indikatorensystem resultieren, gestützt werden.

3.4.5 Ergänzung des DAS-Indikators „Potenzieller und realer Windenergieertrag“ (EW-I-4) durch einen Indikator zum Solarstromertrag

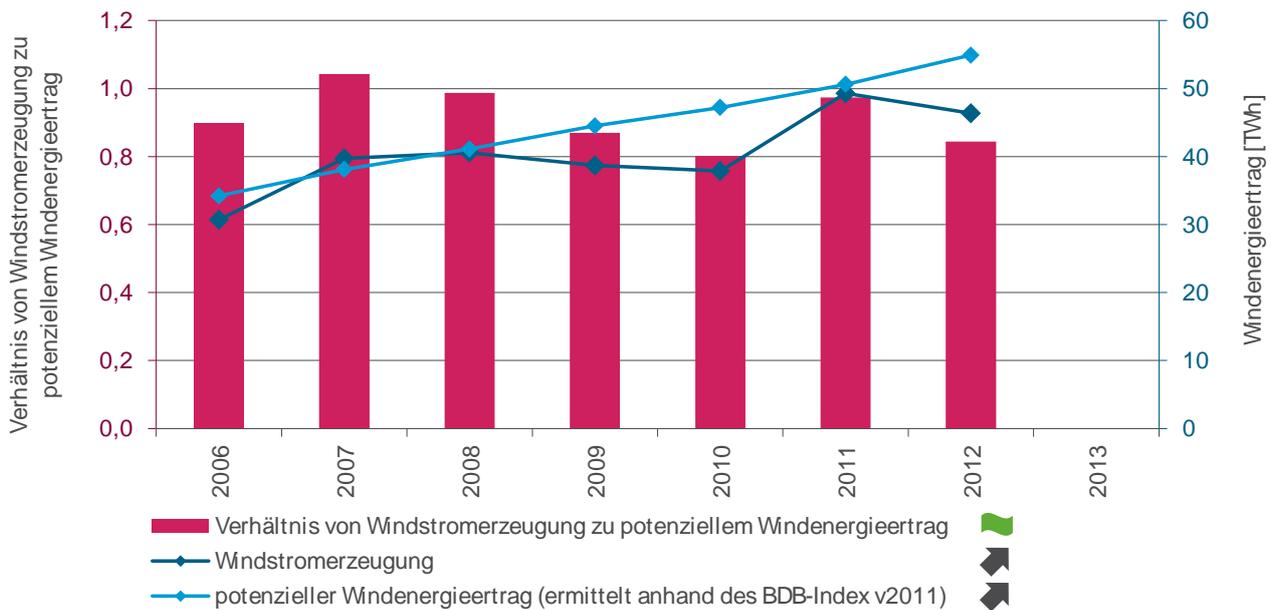
Aktueller DAS-Indikator:

Der aktuelle DAS-Indikator stellt den jährlichen potenziellen Windenergieertrag in Deutschland der tatsächlichen Windstromerzeugung gegenüber und gibt zudem das Verhältnis der beiden Größen an (s. Abbildung 31). Der Indikator ermöglicht dadurch Rückschlüsse auf die unterschiedliche Qualität der Windjahre, die z. B. durch zu niedrige oder zu hohe Windstärken beeinflusst sein kann, und davon ausgehend auf mögliche Auswirkungen für die Windenergiebranche. Die Daten zum potenziellen Windenergieertrag werden aus Daten zum Anlagenbestand der DEWI (UL International GmbH) und dem BDB-Index, einem Produktionsindex der Betreiber-Datenbasis, berechnet. Die tatsächliche Windstromerzeugung wird aus den Statistiken der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (A-GEE-Stat) sowie den Daten zur Ausfallarbeit durch Einspeisemanagement der BNetzA ermittelt.

Der Indikator zur Windenergie steht bisher stellvertretend für das gesamte Themenfeld der erneuerbaren Energien. Der besondere Fokus auf die Windenergie wurde gewählt, da die Windstromerzeugung in Deutschland derzeit den höchsten Anteil zur Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien (35 %) beiträgt. Andere erneuerbare Energieträger, die ebenfalls einen wichtigen Anteil an der erneuerbaren Stromerzeugung haben, insbesondere die Biomasse (25 %) und die Photovoltaik (22 %⁴⁴), werden dagegen bislang im Indikatorensystem nicht berücksichtigt, obwohl sie ggf. auch von einer Änderung der klimatischen Verhältnisse betroffen sein werden.

⁴⁴ Angaben jeweils ermittelt aus: BMWI 2015

Abbildung 31: Indikator EW-I-4 „Potenzieller und realer Windenergieertrag“



Datenquelle: Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (Erneuerbare Energien in Zahlen), Bundesnetzagentur (Ergebnisse der Monitoringabfrage), DEWI GmbH (Potenzieller Windenergieertrag)

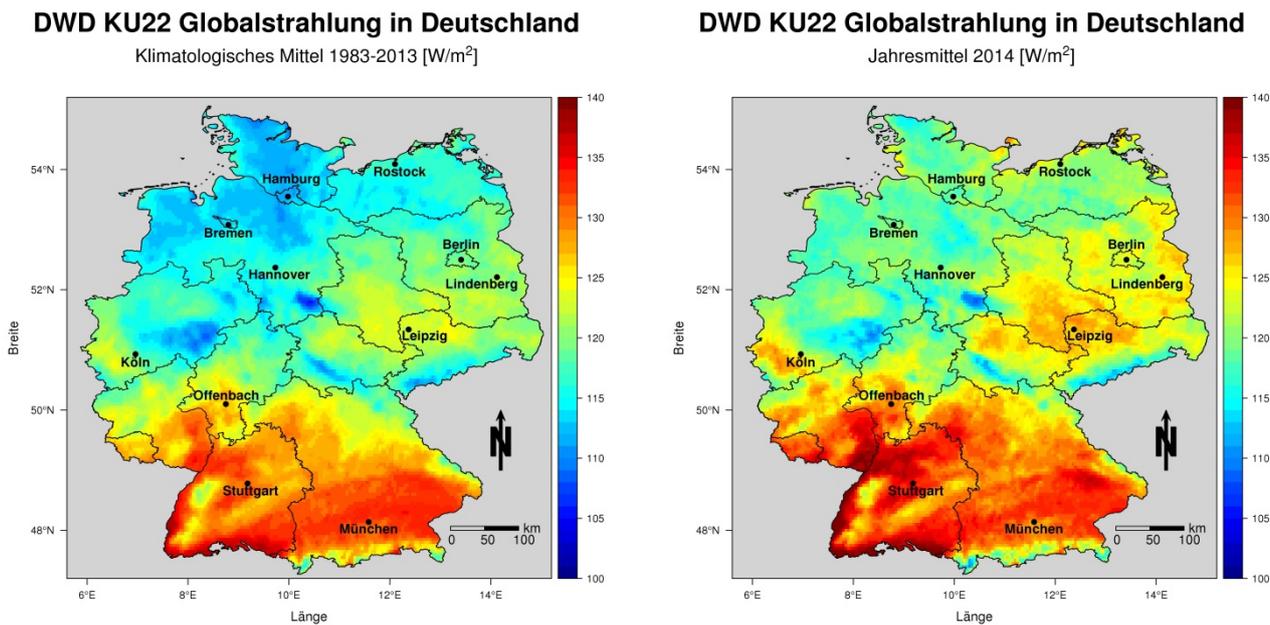
Potenziale zur Entwicklung eines DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten:

Auf der Grundlage von Satellitenfernerkundungsdaten wäre in Ergänzung zum oben beschriebenen Indikator zur Windstromerzeugung die Entwicklung eines Indikators zur Stromerzeugung aus Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) möglich. In Anlehnung an die Darstellungsform zur Windstromerzeugung würde auch dieser Indikator den potenziellen und den realen Stromertrag von PV-Anlagen darstellen und in Bezug zueinander setzen. Der Indikator könnte damit darstellen, ob die beobachtete Veränderung der Strahlungsbedingungen – die Analyse von satellitenbasierten Daten der solaren Einstrahlung zeigt für Deutschland im Zeitraum 1983 bis 2013 eine Zunahme der Globalstrahlung (MÜLLER et al. 2015) – sich auch in einem (höheren) Stromertrag der PV-Anlagen niederschlägt.

Der potenzielle Stromertrag spiegelt dabei kumuliert für die in Deutschland installierten PV-Anlagen den Ertrag wieder, den sich die Anlagenbetreiber bei einer mittleren Globalstrahlung je Jahr erhoffen. Er lässt sich ermitteln unter Verwendung eines räumlich differenzierten langjährigen (z. B. 30-jährigen) Mittelwerts der Globalstrahlung (s. Abbildung 32 links) und der regional installierten Leistung der PV-Anlagen. Die hierfür erforderlichen bzw. zu verwendenden Daten sind noch mit der Bundesnetzagentur (BNetzA) abzustimmen. Ggf. ist es darüber hinaus erforderlich, weitere meteorologische Größen, die die Bedingungen der Solarstromerzeugung erheblich beeinflussen (z. B. Temperatur, Windgeschwindigkeit) bei der Berechnung zu berücksichtigen.

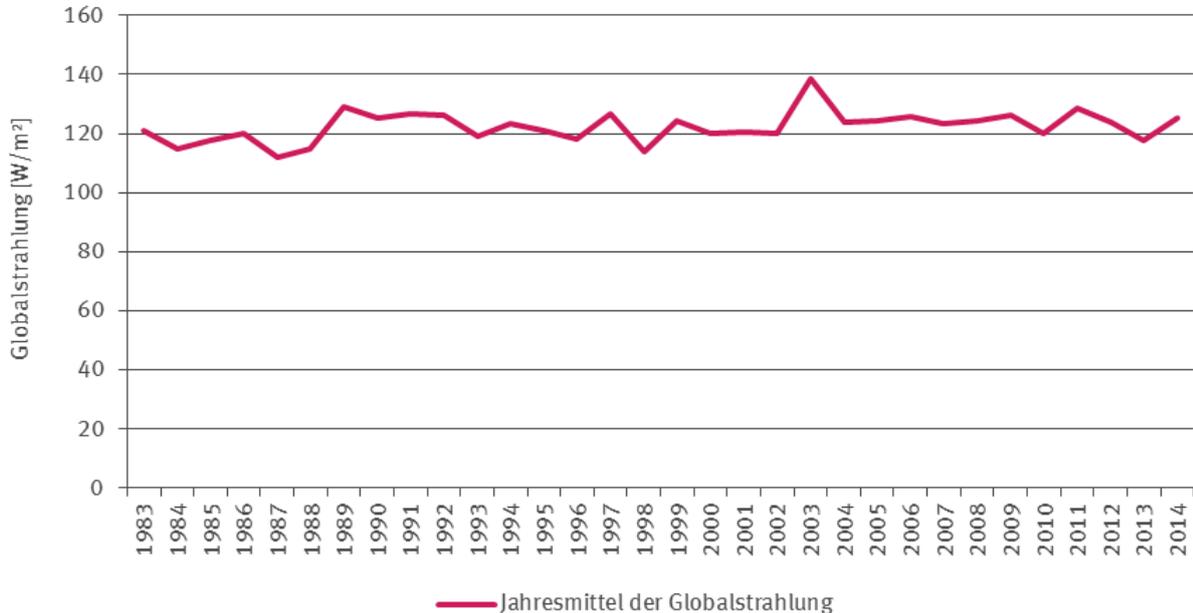
Diesem potenziellen Ertrag wäre der tatsächliche Solarstromertrag gegenüberzustellen, der von der AGEE-Stat jährlich ermittelt wird (BMWi 2015). Um den Einfluss der Globalstrahlung auf den Stromertrag aus PV-Anlagen darzustellen, wäre eine weitere Datenreihe zur solaren Einstrahlung des jeweiligen Jahres zu ergänzen (s. Abbildung 32 rechts sowie Abbildung 33). Alternativ zur Globalstrahlung ließe sich auch unter zusätzlicher Hinzuziehung der Faktoren Temperatur und Windgeschwindigkeit das PV-Potenzial bestimmen (wobei die Globalstrahlung den bei weitem größten Einfluss auf das Potenzial nimmt). Analog müssten dann allerdings bei der o.g. Berechnung des langjährigen potenziellen Stromertrags auch die beiden Faktoren Temperatur und Wind mitberücksichtigt werden (FELDER et al. 2015).

Abbildung 32: Globalstrahlung in Deutschland



Links: Klimatologisches Mittel der Jahre 1983 bis 2013. Rechts: Jahresmittel 2014
Quelle: DWD KU22

Abbildung 33: Entwicklung des Jahresmittels der Globalstrahlung für Deutschland



Datenquelle: DWD KU22

Quelle: DWD KU22, erzeugt aus dem Datensatz SARAH von EUMETSAT CM SAF

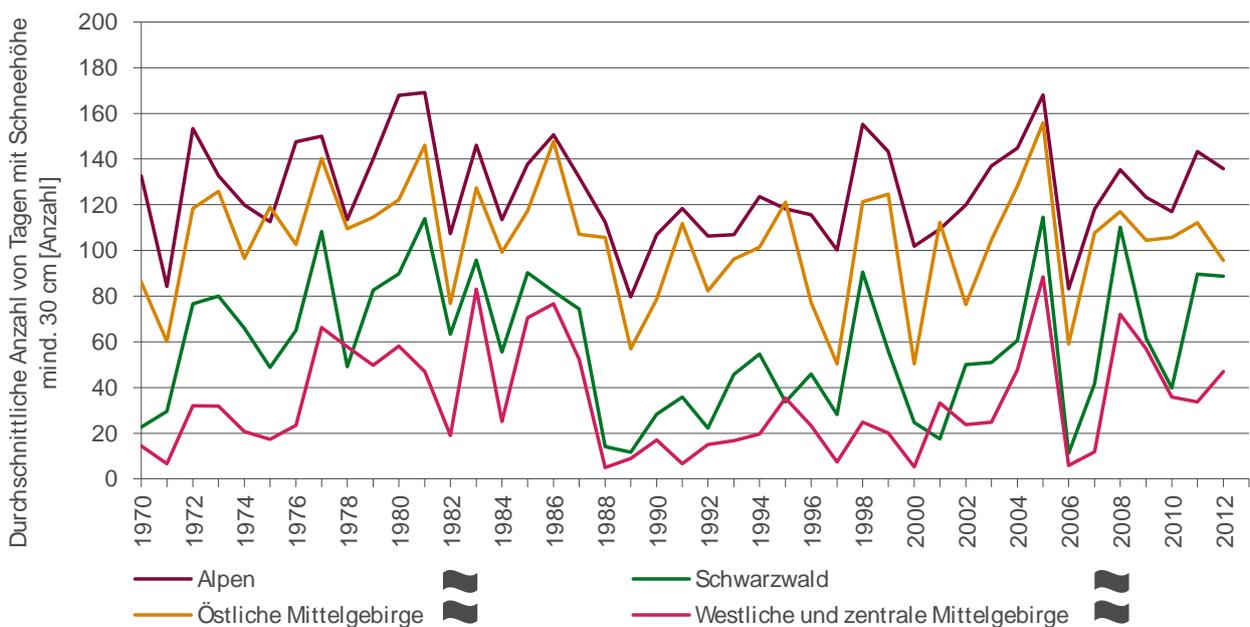
Zur Berechnung der Globalstrahlung kommen beim DWD Daten von EUMETSAT CM SAF (The EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring) zum Einsatz. Der vom CM SAF produzierte SARAH Datensatz ist einer der ersten satellitenbasierten homogenen Strahlungsdatensätze für einen Zeitraum von mehr als 30 Jahren.

3.4.6 Weitere Qualifizierung des DAS-Indikators „Schneedecke für den Wintersport“ (TOU-I-4)

Aktueller DAS-Indikator:

Der aktuelle DAS-Indikator stellt die durchschnittliche Anzahl von Tagen mit mindestens 30 cm Schneedecke in vier Skitouristischen Räumen („Alpen“, „Schwarzwald“, „Mittlere und zentrale Mittelgebirge“ sowie „Östliche Mittelgebirge“) dar. Er wurde in Kooperation mit dem DWD generiert. Zur Ermittlung der skitouristischen Räume wurden in einem ersten Schritt die Skigemeinden, für die im DSV Skiatlas Alpinkgebiete ausgewiesen sind, den offiziellen Reisegebieten nach dem Gemeindeverzeichnis des Statistischen Bundesamts zugeordnet. Insgesamt gibt es 19 Reisegebiete, in denen Gemeinden mit mindestens einem alpinen Skigebiet liegen. Zu diesen Reisegebieten wurden passende DWD-Messstationen gesucht, die in oder in unmittelbarer räumlicher Nähe zu den jeweiligen Skigemeinden und in etwa in deren Höhenlage liegen. Die Stationswerte wurden dann auf die mittlere Höhe der Skigebiete interpoliert und für die jeweiligen Reisegebiete gemittelt. In einem letzten Schritt wurden die Reisegebiete zu Skitouristischen Räumen zusammengefasst (s. Abbildung 34).

Abbildung 34: Indikator TOU-I-4 „Schneedecke für den Wintersport“



Datenquelle: DWD (Schneedeckenbeobachtung)

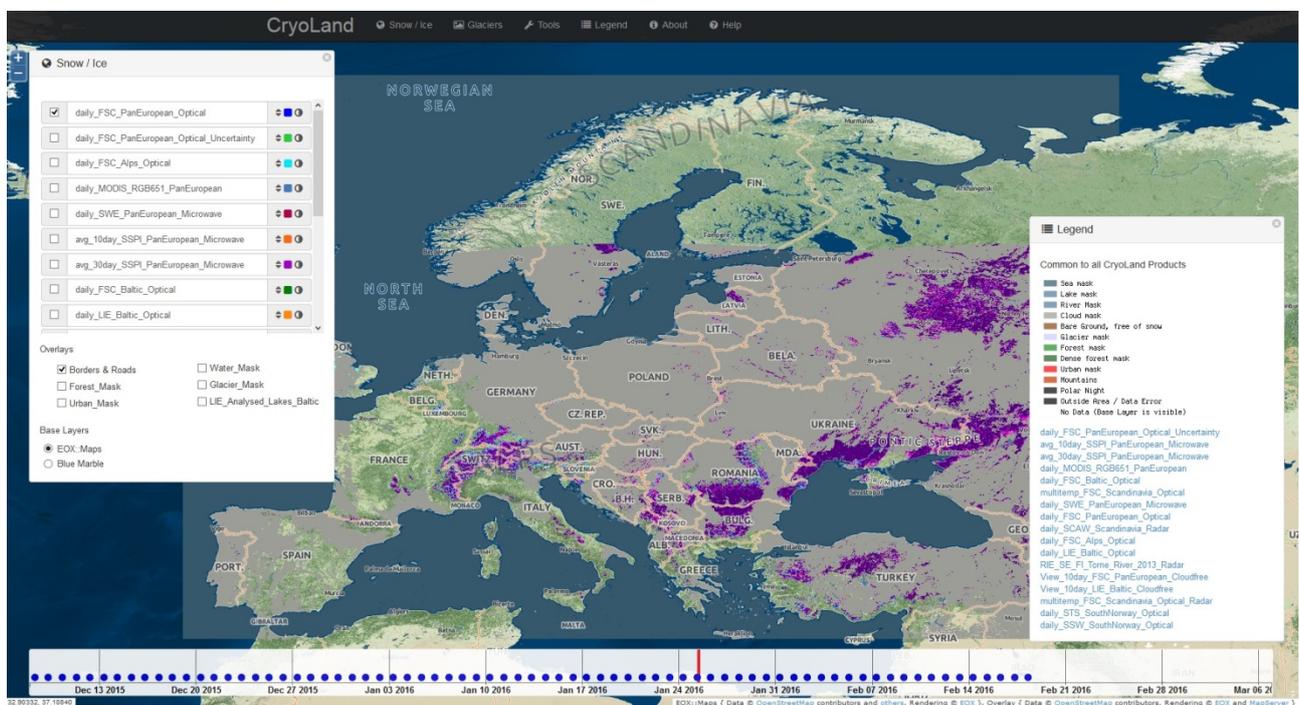
Schwächen des aktuellen DAS-Indikators:

Für den Indikator sind verschiedene Schwächen beschrieben. So können aus datentechnischen Gründen nur Gemeinden mit Alpinski-Angeboten berücksichtigt werden. Die vielen insbesondere im Mittelgebirgsraum liegenden Gemeinden, die auch für den Skilanglauf oder für andere schneegebundene Urlaubs- und Freizeitaktivitäten Angebote bereitstellen, lassen sich nicht sinnvoll räumlich abgrenzen. Damit wird mit dem Indikator nur ein Ausschnitt aus dem Wintertourismusangebot betrachtet. Außerdem wird auf Unschärfen durch die erforderliche Interpolation der Messwerte hingewiesen. Insgesamt ist die Generierung des Indikators vergleichsweise aufwändig.

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators mithilfe von Satellitendaten sind erkennbar. Die Bestimmung der Schneebedeckung mittels Satellitendaten ist methodisch ausgereift und kann vollautomatisiert durchgeführt werden. Ein Copernicus-Dienst zur Schneebedeckung ist derzeit nicht verfügbar, allerdings ist der Parameter „snow cover“, bzw. „snow area extent“ in aktuellen Ausschreibungen für die Dienste zur Überwachung des Klimawandels und zur Landüberwachung enthalten (s. Kap. 2.2.4.4 bzw. Kap. 2.2.4.1). Des Weiteren wird an entsprechenden Value adding-Services zur Schneebedeckung gearbeitet. Ein Beispiel ist CryoLand, ein Kooperationsprojekt, das zwischen 2011 und 2015 von der EU im 7. Rahmenprogramm gefördert wurde und dessen Produkte bis 2017 operationell verfügbar sein sollen⁴⁵. Ein von CryoLand erzeugtes Produkt ist die „fractional snow cover“, die täglich und europaweit in einer räumlichen Auflösung von 500 m berechnet wird. Die Datenreihe reicht dabei bis zum Jahr 2002 zurück. Auf dem Geoportal⁴⁶ von CryoLand ist der Datensatz einsehbar und kann in der derzeitigen Version auch heruntergeladen werden. (s. Abbildung 35).

Abbildung 35: CryoLand – Fractional Snow Cover Datensatz



Schneebedeckung am 25. Januar 2016 (graue Flächen stellen Wolkenbedeckung dar)

Einschränkungen des CryoLand-Datensatzes sind seine grobe räumliche Auflösung von 500 m und die Tatsache, dass er viele Datenlücken aufgrund von Wolkenbedeckung enthält. Die fractional snow cover von CryoLand wird mit Hilfe von optischen Daten (MODIS-Daten) berechnet.

Ein anderer Datensatz zur Schneebedeckung, der allerdings operationell nur für den Alpenraum vorliegt, wird von der EURAC bereitgestellt⁴⁷. Ähnlich dem CryoLand-Datensatz werden dafür MODIS-Daten verwendet, allerdings in einer räumlichen Auflösung von 250 m. Der Datensatz wird ebenfalls

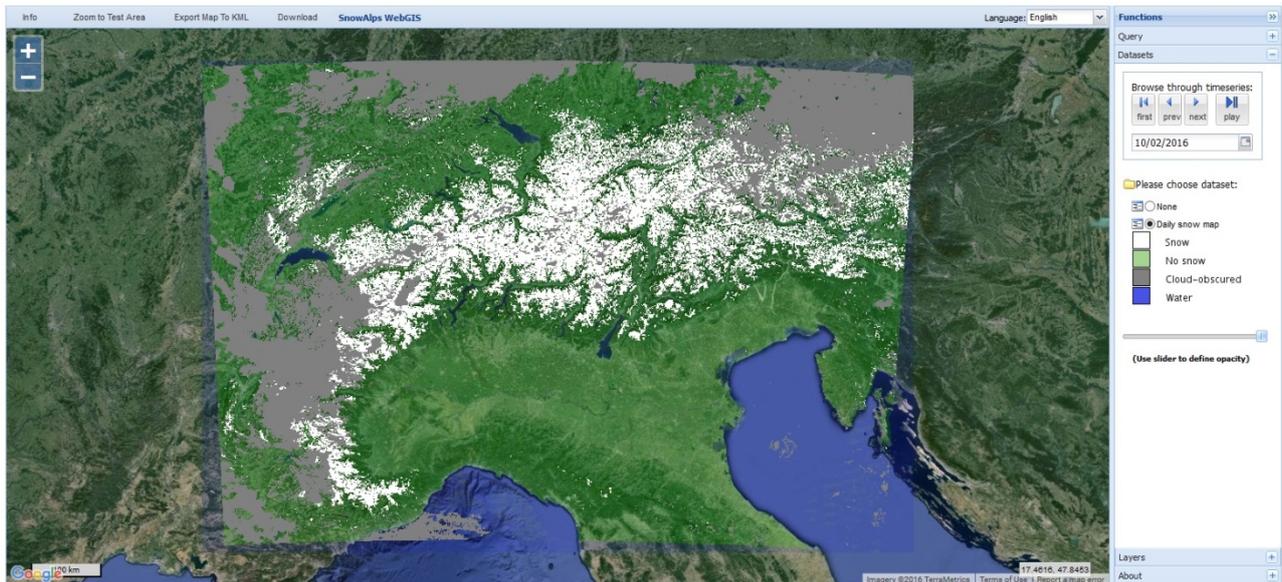
⁴⁵ <http://cryoland.eu>

⁴⁶ <http://neso1.cryoland.enveo.at/cryoclient/>

⁴⁷ www.eurac.edu/en/research/mountains/remsen/services/Pages/MODIS-Daily-Snow-Cover.aspx

vollautomatisch prozessiert und täglich auf dem Geoportal der EURAC⁴⁸ zum Download bereitgestellt. Die Datenreihe reicht bis 2002 zurück. Abbildung 36 zeigt das Schneebedeckungsprodukt der EURAC zum Zeitpunkt 10. Februar 2016 (ein Tag mit relativ geringer Wolkenbedeckung im Alpenraum).

Abbildung 36: EURAC – Snow Cover Datensatz



Schneebedeckung am 10. Januar 2016 (graue Flächen stellen Wolkenbedeckung dar)

Die Vorteile der Satellitendaten zur Ermittlung der Schneebedeckung bestehen in deren großer räumlicher Abdeckung und der räumlich differenzierten Darstellung sowie der hohen zeitlichen Auflösung (tägliche Werte). Damit lassen sich Entwicklungen sowohl innerhalb des Jahres als auch differenzierte Vergleiche zwischen mehreren Jahren analysieren. Gegenüber dem bestehenden DAS-Indikator haben die Satellitendatensätze allerdings den Nachteil, dass nur die Schneebedeckung, nicht aber die Schneedeckenhöhe abgeleitet werden kann. Die Tatsache dass die täglichen Schneebedeckungs-Produkte viele Datenlücken aufgrund der Wolkenbedeckung aufweisen, wirkt vordergründig stark einschränkend. Allerdings können diese Datenlücken mithilfe von Zeitreihenanalysen herausgerechnet werden. So treten in monatlich oder jährlich aggregierten Produkten i. d. R. keine Datenlücken mehr auf, da hier fehlende Daten interpoliert werden.

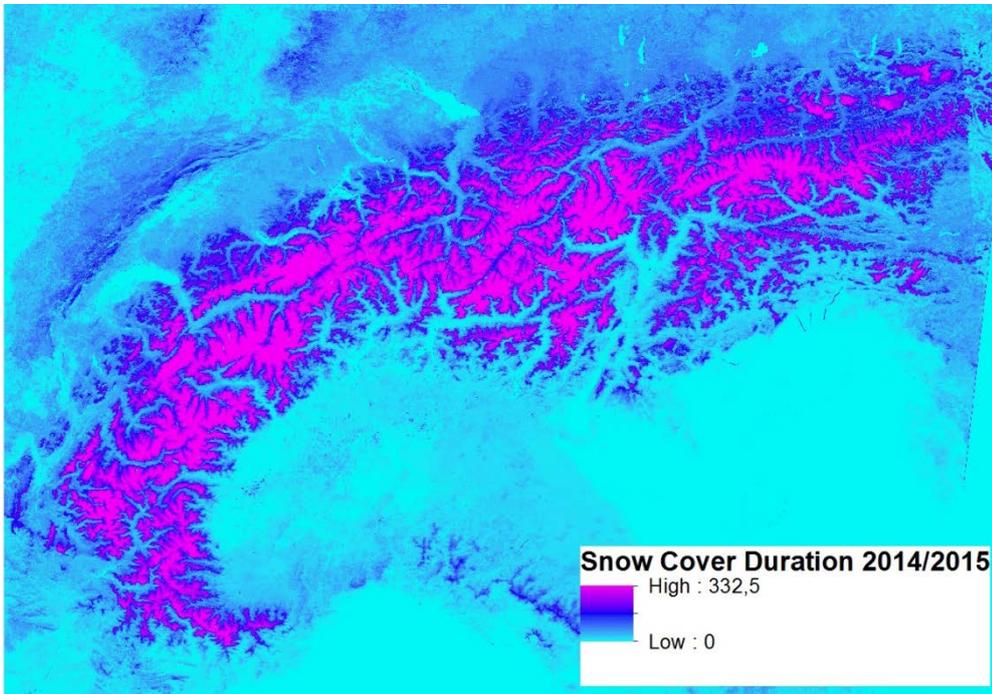
Das EURAC-Produkt bietet entsprechend neben täglichen Werten zur Schneebedeckung auch auf die jeweilige Wintersaison aggregierte snow cover duration (SCD) maps an. In diesen Karten wird berechnet, an wie vielen Tagen im Jahr ein Pixel mit Schnee bedeckt war. Als Jahr wird dabei stets das hydrologische Jahr vom 01. Oktober bis zum 30. September des Folgejahres bezeichnet. Die Daten liegen für die Jahre 2002 bis 2015 vor.

Im Folgenden werden beispielhaft anhand des EURAC-Datensatzes mögliche Schritte für eine Indikatorberechnung skizziert. Auch in diesem Fall geht es weniger um einen direkten Ersatz des bisherigen DAS-Indikators, als vielmehr um eine exemplarische Darstellung, wie der Indikator mithilfe von Satellitenbildern zusätzliche qualifiziert bzw. seine Berechnung erleichtert werden könnte. Da der EURAC-Datensatz bisher nur für den Alpenraum vorliegt, eignet er sich ohnehin nicht für die deutschlandweite Darstellung im DAS-Indikatorensystem.

⁴⁸ <http://webgis.eurac.edu/snowalps/>

Abbildung 37 zeigt beispielhaft die Karte der Dauer der Schneebedeckung (SCD-Karte) für das Jahr 2014/2015 für den Alpenraum. Die höchsten Pixelwerte erreichen dabei 332 Tage im Jahr mit Schneebedeckung.

Abbildung 37: EURAC – Snow Cover Duration Map für das Jahr 2014/2015



Nach einer Verschneidung dieser Daten mit dem deutschen Staatsgebiet und dem Gebiet der Alpenkonvention ergibt sich eine Darstellung der Schneebedeckung für den deutschen Alpenraum, der die bayerischen Alpinskigebiete Allgäu, Zugspitz-Region, Tölzer Land, Alpenregion Tegernsee-Schliersee, Rosenheimer Land, Chiemsee, Chiemgau und Berchtesgaden (gemäß DSV Skiatlas) einschließt. Ergänzend ist eine Verschneidung der daraus resultierenden SCD-Karten mit einem digitalen Höhenmodell (verwendet wurde hier ein frei verfügbare SRTM Höhenmodell mit einer räumlichen Auflösung von 30 m), um alle Gebiete unter 900 Höhenmeter, in denen i. d. R. kein Skibetrieb durchgeführt wird, von der Auswertung auszunehmen (alternativ wären auch andere Höhen-Schwellen möglich). Abbildung 38 zeigt das Ergebnis dieser Verschneidungen für 2014/2015.

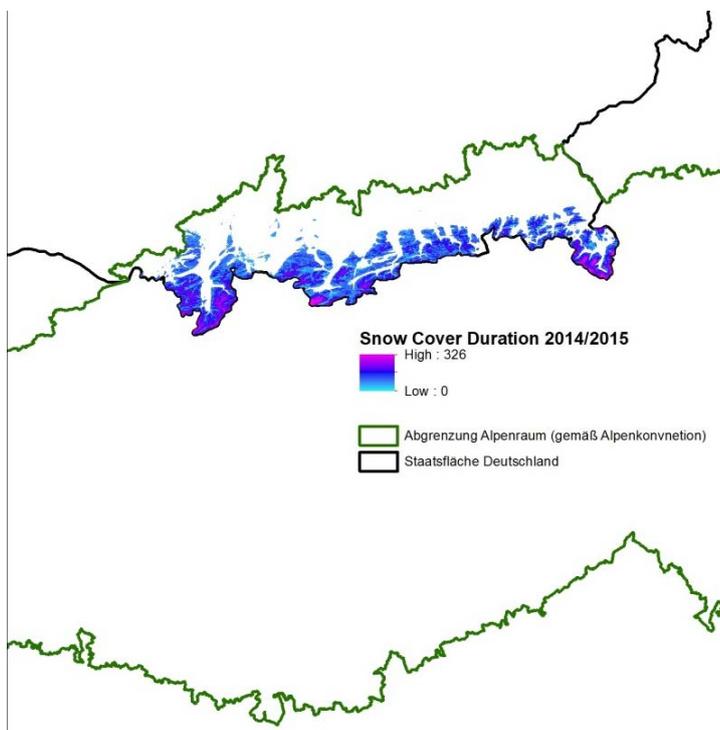


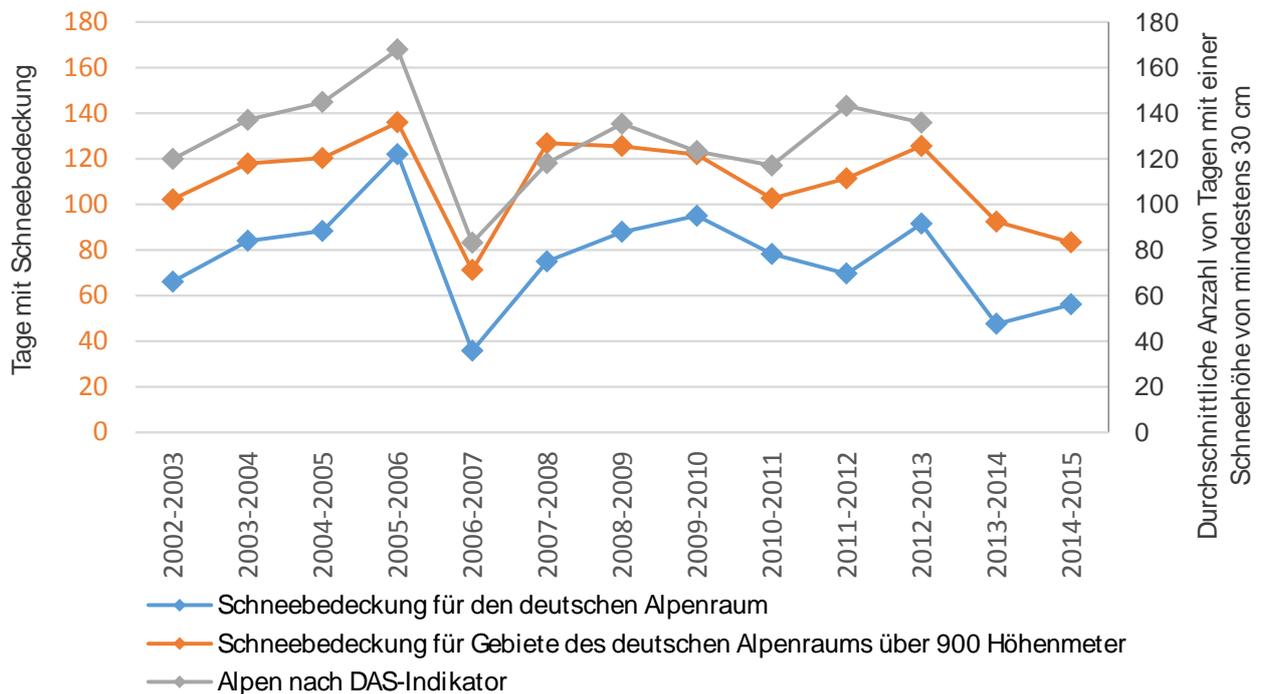
Abbildung 38 zeigt das Ergebnis dieser Verschneidungen für 2014/2015.

Abbildung 38: Snow Cover Duration Map für den deutschen Alpenraum

Die erzeugten SCD-Karten lassen sich nun räumlich und zeitlich unterschiedlich aggregieren und darstellen. So könnten beispielsweise noch weitere Gebiete abgegrenzt oder zusammengefasst werden (z. B. Skigemeinden), um lokale Veränderungen besser wiederzugeben. Durch die 10-jährige Datenreihe lassen sich auch jährliche Veränderungen der SCD darstellen.

Abbildung 38 zeigt die jährlich aggregierten SCD-Werte für den deutschen Alpenraum in der Zeitreihe, für die Daten aus dem SCD-Produkt zur Verfügung stehen. Bei parallelem Abtrag der Werte für den skitouristischen Raum „Alpen“ aus dem DAS-Indikator ergibt sich eine weitgehende Übereinstimmung (Abweichungen können sich auch dadurch ergeben, dass der DAS-Indikator lediglich für den Zeitraum vom 1.11. bis zum 30.4. und nicht für das gesamte hydrologische Jahr berechnet wurde).

Abbildung 39: Tage mit Schneebedeckung im Alpenraum



Quelle: Eigene Berechnung mit dem EURAC SCD-Produkt, Auszug aus dem DAS-Indikator TOU-I-4

Gerade mit den seit kurzem verfügbaren Sentinel-Daten ist in naher Zukunft auch die Erstellung hochauflösender Schneebedeckungsprodukte möglich, mit denen eine noch gezieltere Ansprache der eigentlichen Skigebiete stattfinden könnte.

3.4.7 Weitere Qualifizierung der Aussagen zu Siedlungs- und Verkehrsflächen

Aktuelle DAS-Indikatoren:

Im DAS-Indikatorensystem gibt es derzeit die zwei folgenden Indikatoren, die auf statistischen Daten zur Siedlungs- und Verkehrsflächen basieren:

- ▶ RO-R-5: Siedlungs- und Verkehrsfläche
- ▶ RO-R-6: Siedlungsnutzung in Hochwassergefahrenbereichen

Beide Response-Indikatoren sind mit der raumordnerischen Zielsetzung verbunden, unbebaute, unzerschnittene und unzersiedelte Fläche als begrenzte Ressource zu erhalten und damit einen Beitrag sowohl zum Klimaschutz (Schaffung einer energiesparenden und verkehrsvermeidenden Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung) als auch zur Anpassung an den Klimawandel zu leisten. Mit Blick auf die Anpassung dient eine Reduzierung der Inanspruchnahme von Flächen für Baumaßnahmen insbesondere der Erhaltung:

- ▶ von Retentions- und Versickerungsflächen für einen ausgeglichenen Gebietswasserhaushalt zum Hochwasserschutz und zur Sicherung der Trinkwasserversorgung,
- ▶ klimatisch bedeutsamer Freiflächen und von Erholungsflächen für den Menschen (v. a. innerhalb von bioklimatisch belasteten Gebieten, s. auch Kap. 3.3.1),
- ▶ wichtiger Lebensraumfunktionen für Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen einschließlich von Vernetzungsstrukturen,
- ▶ von natürlichen Bodenfunktionen, inkl. der Erhaltung fruchtbarer Böden für die Land- und Forstwirtschaft sowie für die Erzeugung nachwachsender Rohstoffe.

Der Indikator RO-R-5 ist eine Übernahme der Indikatoren „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche“ aus dem Nachhaltigkeitsindikatorenset des Bundes und „Flächeninanspruchnahme“ aus dem Indikatorenset zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Er stellt die mittlere tägliche Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV) differenziert nach den Flächenkategorien Gebäude- und Freifläche, Betriebsfläche ohne Abbauland, Erholungsfläche und Friedhofsfläche sowie Verkehrsfläche dar. Der Indikator RO-R-6 ist speziell auf den Hochwasserschutz gerichtet und bildet die für Siedlungszwecke genutzte Fläche (Wohnbauflächen, Flächen mit gemischter Nutzung, Flächen mit besonderer funktionaler Prägung, Industrie- und Gewerbeflächen, Verkehrsflächen) im Bereich der Überschwemmungsflächen eines hundertjährigen Hochwassers HQ₁₀₀ (gemäß Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie – HWRM-RL) dar.

Schwächen der aktuellen DAS-Indikatoren:

Mit Blick auf die o. g. raumordnerischen und hochwasserschutzrelevanten Ziele macht es einen erheblichen Unterschied, ob die in der Flächenstatistik innerhalb der Kategorie „Siedlungs- und Verkehrsfläche“ geführten Flächen versiegelt oder unbebaut sind. Die Siedlungs- und Verkehrsflächen umfassen definitionsgemäß auch einen erheblichen Anteil unbebauter und nicht versiegelter Flächen. Hochrechnungen ergeben, dass rund die Hälfte der Siedlungs- und Verkehrsfläche versiegelt ist, Verkehrsflächen stärker, Erholungsflächen weniger stark (GUNREBEN et al. 2007). Eine weitere Spezifizierung der beiden DAS-Indikatoren zur Abbildung der tatsächlich versiegelten Fläche würde vor diesem Hintergrund die Aussagekraft im Hinblick auf die Klimawandelanpassung erhöhen.

Potenziale zur Weiterentwicklung des DAS-Indikators auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

Für satellitenbildgestützte Informationen zu versiegelten Flächen bieten sich insbesondere die folgenden Datengrundlagen an:

- ▶ Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE2012) (s. Kap. 3.3.1),
- ▶ Datensatz zur Landbedeckung und Landnutzung (RPZ LC/LU) für die Riparian Zones (s. Kap. 3.3.2),
- ▶ High Resolution Layer (HRL) Imperviousness der pan-europäischen Komponente des Dienstes zur Landüberwachung, der in der räumlichen Auflösung eines 20 m*20 m-Rasters (HRL Imperviousness 20 m) sowie eines 100 m*100 m-Rasters (HRL Imperviousness 100 m) für die

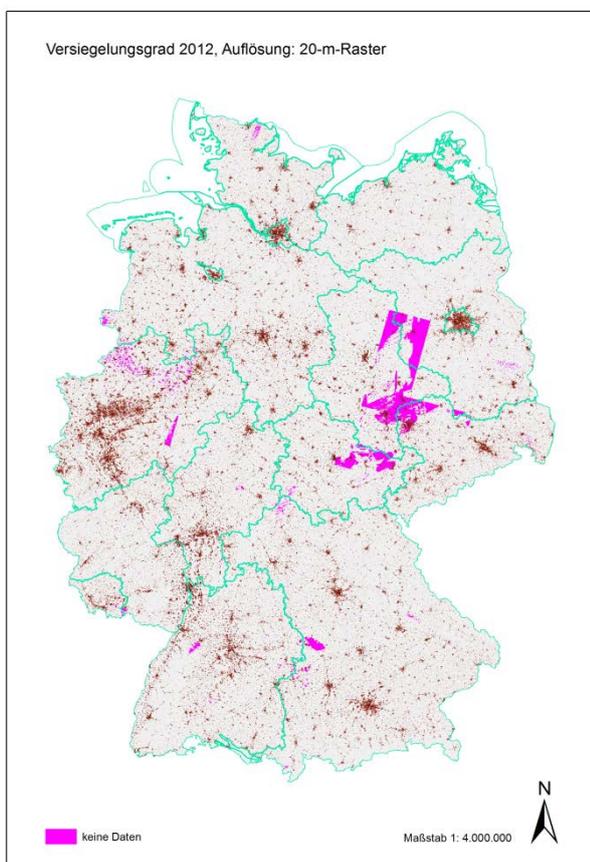
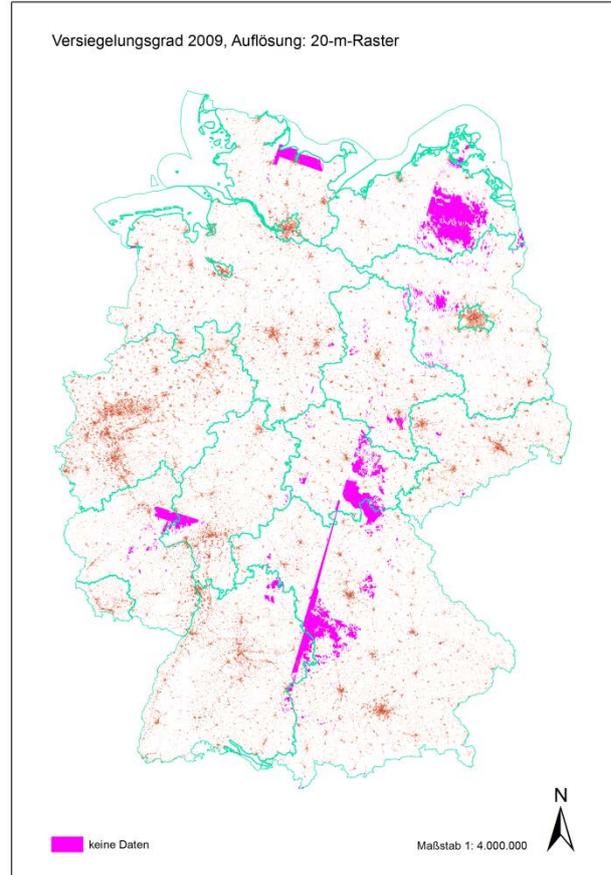
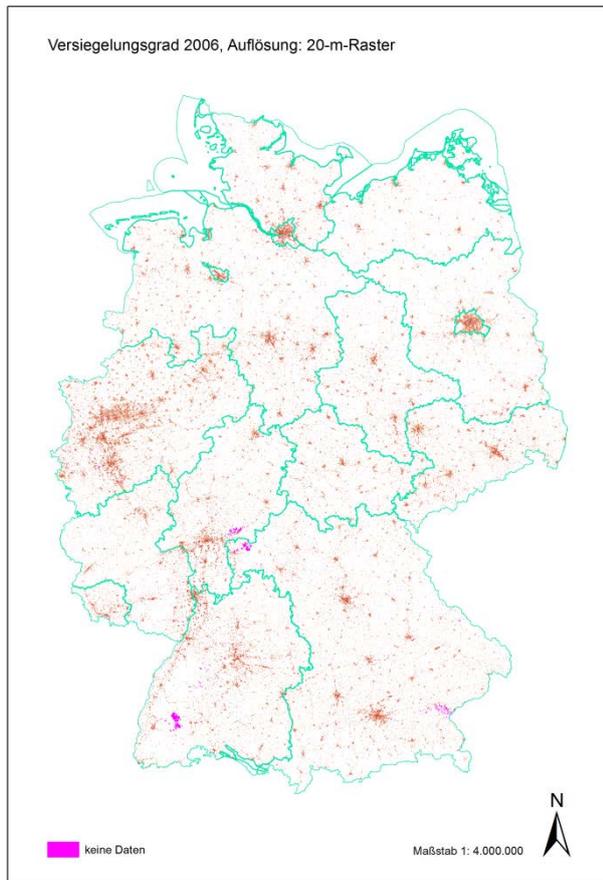
Jahre 2006, 2009 und 2012 und künftig alle drei Jahre einen Datensatz zur räumlichen Verteilung und zum Grad der Versiegelung der Böden zu Verfügung stellt.

Die Verwendbarkeit der beiden erstgenannten Datensätze wurde in den Kap. 3.3.1 und 3.3.2 bereits ausführlich diskutiert. Vor allem mit Blick auf den Indikator RO-R-6 ergeben sich starke Überschneidungen mit dem bereits in Kap. 3.3.2 diskutierten möglichen Indikator WW-R-X „Ackerbau im Deichvorland“. Grundsätzlich wäre jedoch der HRL Imperviousness spezifischer auf die hier diskutierte Fragestellung zugeschnitten, da er in einem dreijährlichen Turnus mit einer hohen räumlichen Auflösung Daten zum Versiegelungsgrad sehr differenziert in 1-Prozent-Schritten zur Verfügung stellt.

Um den HRL Imperviousness 2012 zu erzeugen, erfolgte im Wesentlichen eine Analyse des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Die aktuellen NDVI-Bilder wurden dazu anhand der Versiegelungsdaten des Jahres 2009 kalibriert und der Versiegelungsgrad in den aktuellen Bildern mithilfe eines automatischen Algorithmus mit einer Auflösung von 20 m detektiert. Im Folgeschritt wurde die Veränderung zwischen den Jahren 2009 bis 2012 für die 100 m-Auflösung durch eine Aggregation und Re-Projektion des 20m*20m-Produkts erzeugt. Bei diesem Schritt wurde eine zusätzliche schwellenwertgestützte Versiegelungsänderungsanalyse durchgeführt, um das Bildrauschen und falsche Änderungssignale zu beseitigen (LANGANKE 2015). Der Versiegelungs-Änderungslayer 2009-2012 wurde anschließend dem Imperviousness-Layer 2009 in der 100 m-Auflösung hinzugefügt und so der aggregierte Imperviousness-Layer 2012 in der 100 m-Auflösung erzeugt. Dieser Ansatz dient dazu, für die Datensätze der 100 m-Auflösung die Konsistenz zwischen den verschiedenen Datenjahren zu erhalten.

Der HRL Imperviousness weist bislang allerdings noch deutliche Datenlücken für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auf. Vor allem die Daten für 2009 und 2012 zeigen bandspezifisch größere Datenlücken (s. Abbildung 40) sowohl für den HRL Imperviousness 20 m als auch für den daraus abgeleiteten HRL Imperviousness 100 m (s. auch Tabelle 10 Spalten ③ bzw. ④). Diese Lücken erschweren eine bundesweite Auswertung der Daten und machen derzeit die unmittelbare Generierung eines DAS-Indikators unmöglich.

Abbildung 40: Datenlücken im High Resolution Layer Imperviousness



Um abzuschätzen, ob bzw. in welcher Form der HRL Imperviousness trotz der vorhandenen Datenlücken als Grundlage für DAS-Indikatoren ausgewertet kann, wird im Folgenden eine vergleichende Auswertung auf Ebene der Bundesländer vorgenommen. Darin werden die Daten aus dem Imperviousness-Layer in der 20 m- und der 100 m-Auflösung Daten zur Versiegelung gegenübergestellt, die mit Hilfe eines Rechenmodells aus der in der Flächennutzungsstatistik ausgewiesenen Siedlungs- und Verkehrsfläche ermittelt worden sind (s. Tabelle 10). Das Rechenmodell entstammt den Arbeiten der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO), der einen Arbeitskreis eingerichtet hat, um eine Aussage über die Bodenversiegelung in Deutschland treffen zu können. Auf der Basis vorliegender Regionaldaten zur Bodenversiegelung wurde ein Rechenmodell entwickelt, mit dem sich überschlägig die Bodenversiegelung innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsfläche berechnen lässt. Diesem Rechenmodell liegt die Beobachtung zugrunde, dass der Versiegelungsgrad innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsfläche umso höher ist, je stärker die Region besiedelt ist (je stärker die Besiedelung, desto knapper ist der Raum und desto intensiver sind die Bebauung und die Versiegelung der genutzten Flächen). Ziel des Rechenmodells ist es, zur Weiterentwicklung des Nachhaltigkeitsindikators „Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrsflächen“ einen bundesweiten Indikator (Boden-)Versiegelung zu entwickeln (s. GUNREBEN et al. 2007). Basierend auf diesen Untersuchungen und Berechnungen veröffentlicht das UBA Daten zum Anteil der versiegelten und unversiegelten Siedlungs- und Verkehrsfläche für die Bundesländer.

Die Berechnungsergebnisse werden vom UBA für die Jahre 1992 und 2011 bereitgestellt, in Tabelle 10 sind für das Jahr 2011 die spezifischen Anteile der versiegelten Fläche an der Gesamtfläche (Versiegelungsgrad) der Bundesländer in Spalte ⑨ dargestellt⁴⁹. Diese Werte lassen sich mit den Versiegelungsgraden vergleichen, die auf der Grundlage des HRL Imperviousness für das Jahr 2012 ermittelt wurden. Hierfür wurden zunächst die im HRL Imperviousness 20 m bzw 100 m als versiegelt kartierten Rasterflächen je Bundesland ermittelt, mit dem jeweiligen in 1-Prozent-Schritten angegebenen Rasterflächen-Versiegelungsgrad gewichtet und anschließend zur versiegelten Fläche des jeweiligen Bundeslands addiert (s. Spalte ⑤ bzw. ⑥ in Tabelle 10). Aus dem Quotient mit der jeweiligen Gesamtfläche wird dann der bundeslandspezifische Versiegelungsgrad berechnet.

Im Ergebnis ergibt sich eine größenordnungsmäßig gute Übereinstimmung dieser Werte (s. Spalten ⑦ bis ⑨ in Tabelle 10). Dies lässt den Rückschluss zu, dass der HRL Imperviousness grundsätzlich für die Abbildung der versiegelten Fläche geeignet sein kann. Gegenüber der Anwendung des Rechenmodells liegt ein Vorteil des HRL Imperviousness darin, dass bislang keine regelmäßige Berechnung der Versiegelung erfolgt und die in der Flächenstatistik ausgewiesene Siedlungs- und Verkehrsfläche größere Unregelmäßigkeiten aufweist. Ein Grund für die tendenzielle Unterschätzung der Versiegelung, die sich für die Flächenstaaten im Vergleich zum Rechenmodell zeigt, kann darin liegen, dass die satellitengestützte Erhebung des HRL Imperviousness Straßen im überörtlichen Bereich unterhalb der Ebene von Autobahnen und Bundesstraßen nur zu kleinen Teilen erfasst. Um die Versiegelung in diesem Punkt besser zu erfassen, wären ggf. weitere Datenquellen hinzuziehen, z. B. das LBM-DE, die Daten von Open Street Map oder auch die zu den vorangegangenen Zeitschnitten ermittelten versiegelten Flächen. Dass für die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen die mit dem HRL Imperviousness ermittelten Versiegelungsgrade im Vergleich höher sind, kann – im Umkehrschluss zur obigen Argumentation für die Flächenstaaten – dadurch begründet sein, dass städtische Verkehrsinfrastrukturen im Kontext von Siedlungsflächen als durchgängig versiegelte Fläche möglicherweise in größerem Umfang erfasst werden. Ein Zusammenhang zwischen festgestellten Abweichungen und den Datenlücken ist aus Tabelle 10 nicht unmittelbar ersichtlich. Dennoch ist der Vergleich für die Bundesländer, für die es im Imperviousness-Layer 2012 größere Datenlücken gibt (s. Spalte ② in Tabelle 10), mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren.

⁴⁹ www.umweltbundesamt.de/daten/bodenbelastung-land-oekosysteme/bodenversiegelung

Aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Auflösung der beiden Teilprodukte des HRL Imperviousness und der unterschiedlichen zu ihrer Erstellung durchgeführten Arbeitsschritten, z. B. die Bereinigung um Pseudo-Changes bei der Erstellung des Change-Layers und der davon ausgehenden Ausarbeitung des HRL Imperviousness 100 m, führt die Auswertung der beiden Layer erwartungsgemäß zu unterschiedlichen Resultaten. Konkret ist die auf der Grundlage des HRL Imperviousness 20 m ermittelte versiegelte Fläche insgesamt deutlich größer. Für die Auswertung der Produkte in den beiden verfügbaren Auflösungen ergeben sich daraus unterschiedliche Einschränkungen bzw. Anwendungsbereiche (s. auch Kap. 4.2.1.2).

Der HRL Imperviousness 20 m erscheint grundsätzlich besser geeignet, um vergleichende Auswertungen des Versiegelungsgrades zu bestimmten Zeitschnitten zu erzeugen. Durch die höhere Auflösung und den an den Vorerhebungen kalibrierten Auswertungsalgorithmus wird davon ausgegangen, dass auch kleinere versiegelte Flächen und damit die versiegelte Fläche insgesamt sehr präzise ermittelt werden können. Dies kann ein Grund dafür sein, dass der ermittelte Versiegelungsgrad näher an dem mit dem Rechenmodell der LABO AG ermittelten Wert liegt.

Veränderungsanalysen, insbesondere auch räumlich explizite Analysen, sollen ausschließlich mit dem HRL Imperviousness 100 m bzw. dem Change Layer erfolgen. Offenbar werden bei der kleinteiligen Kartierung aber auch falsche Änderungssignale detektiert. Diese werden bei der Erstellung des Change-Layers für das 100 m*100 m-Raster durch eine zusätzliche schwellenwertgestützte Versiegelungsänderungsanalyse zusammen mit einem grundsätzlichen Bildrauschen beseitigt. Da diese Prozedur für den HRL Imperviousness 20 m nicht durchgeführt wird, soll dieses Produkt nicht für Veränderungsanalysen, z. B. durch direkte Verschneidungen der 20 m-Produkte zweier Jahre, herangezogen werden (LANGANKE 2015). Die Prozedur kann aber auch bewirken, dass reale Veränderungen zu stark gefiltert werden und es so wiederum zu einer Unterschätzung der Versiegelungsgrade kommt.

Tabelle 10: Vergleich Imperviousness-Layer (20 m-Auflösung) und Versiegelungsmodellierung

Bundesländer	① Gesamtfläche HRL Imperviousness 2012 100 m [ha]	② Gesamtfläche HRL Imperviousness 2012 20 m [ha]	③ nicht erfasste Fläche HRL Imperviousness 2012 100 m [ha]	④ nicht erfasste Fläche HRL Imperviousness 2012 20 m [ha]	⑤ Versiegelte Fläche HRL Imperviousness 2012 100 m [ha]	⑥ Versiegelte Fläche HRL Imperviousness 2012 20 m [ha]	⑦ Versiegelungsgrad HRL Imperviousness 2012 100 m	⑧ Versiegelungsgrad HRL Imperviousness 2012 20 m	⑨ Versiegelungsgrad Rechenmodell LABO AG
BE	89.213	89.187	0	0	31.824	34.694	35,7%	38,9%	34,9%
HH	75.221	75.316	0	0	24.851	27.124	33,0%	36,0%	29,7%
HB	40.191	40.169	0	0	13.013	13.821	32,4%	34,4%	26,6%
NRW	3.411.061	3.410.629	60.316	61.002	334.985	352.503	9,8%	10,3%	10,4%
SL	257.037	256.891	2.076	2.057	20.078	21.406	7,8%	8,3%	9,6%
BW	3.601.256	3.601.031	12.908	12.961	207.188	222.257	5,8%	6,2%	6,6%
HE	2.111.519	2.111.528	3.568	3.615	119.245	131.170	5,6%	6,2%	7,2%
SN	1.844.882	1.844.831	79.896	80.560	110.029	112.074	6,0%	6,1%	5,6%
RP	1.985.707	1.985.440	2.408	2.398	93.120	99.635	4,7%	5,0%	6,3%
SH	1.575.265	1.575.913	5.970	5.941	73.809	82.641	4,7%	5,2%	5,7%
BY	7.058.461	7.058.367	39.774	39.907	301.258	317.980	4,3%	4,5%	5,3%
NI	4.776.214	4.776.458	9.657	9.739	215.708	239.958	4,5%	5,0%	6,3%
TH	1.620.239	1.620.106	87.591	87.772	60.936	66.442	3,8%	4,1%	4,3%
ST	2.055.280	2.055.252	208.423	208.623	76.247	84.427	3,7%	4,1%	4,4%
BB	2.965.446	2.965.438	140.917	140.901	93.298	101.604	3,1%	3,4%	4,1%
MV	2.305.922	2.305.909	598	721	59.019	66.668	2,6%	2,9%	3,3%
DE	35.772.914	35.772.465	654.102	656.197	1.834.608	1.974.404	5,1%	5,5%	6,2%

BW: Baden-Württemberg, BY: Bayern, BE: Berlin, BB: Brandenburg, HB: Bremen, HH: Hamburg, HE: Hessen, MV: Mecklenburg-Vorpommern, NI: Niedersachsen, NRW: Nordrhein-Westfalen, RP: Rheinland-Pfalz, SL: Saarland, SN: Sachsen, ST: Sachsen-Anhalt, SH: Schleswig-Holstein, TH: Thüringen, DE: Deutschland

3.5 Laufende Weiterentwicklungen von Indikatoren im Meeresbereich

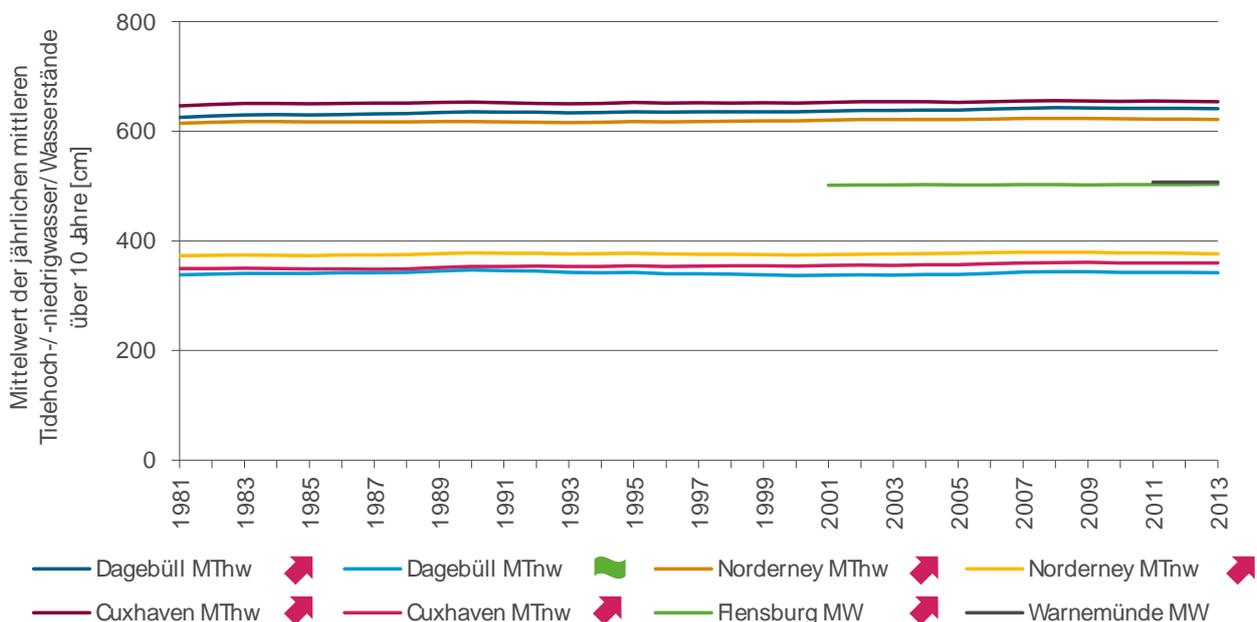
Im Rahmen des Vorhabens wurden u. a. auch DAS-Indikatoren zur Meeresumwelt auf die mögliche Einbindung von Fernerkundungsdaten hin diskutiert. Im Austausch mit der nationalen Fachkoordination des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt wurde klar, dass das BSH ein großes Eigeninteresse daran hat, die Möglichkeiten einer Verwendung von Fernerkundungsdaten bestmöglich für die Generierung von DAS-Indikatoren und speziell für die Weiterentwicklung der bereits zum DAS-Indikatorensystem zugelieferten Indikatoren nutzbar zu machen. Dadurch ergibt sich für das UBA in diesem Themenfeld kein spezifischer Handlungsbedarf. Im Folgenden wird der Diskussionsstand zur möglichen bzw. bereits erfolgten Einbindung von Fernerkundungsdaten in die Generierung der DAS-Indikatoren WW-I-9 (Meeresspiegel) und WW-I-10 (Intensität von Sturmfluten) sowie WW-I-8 (Wassertemperatur des Meeres) und TOU-I-1 (Badetemperaturen an der Küste) wiedergegeben.

3.5.1 WW-I-9 „Meeresspiegel“ und WW-I-10 „Intensität von Sturmfluten“

Aktuelle Indikatoren:

Der aktuelle DAS-Indikator WW-I-9 (Meeresspiegel) stellt für ausgewählte Einzelpegel die Entwicklung des jährlichen mittleren Tidehochwassers und Tideniedrigwassers als gleitendes Mittel über Zehnjahreszeiträume (für die drei Nordsee-Pegel Dagebüll, Norderney und Cuxhaven) sowie die Entwicklung des jährlichen mittleren Wasserstands als gleitendes Mittel über Zehnjahreszeiträume (für die zwei Ostsee-Pegel Flensburg und Warnemünde) dar (s. Abbildung 41).

Abbildung 41: Indikator WW-I-9 „Meeresspiegel“



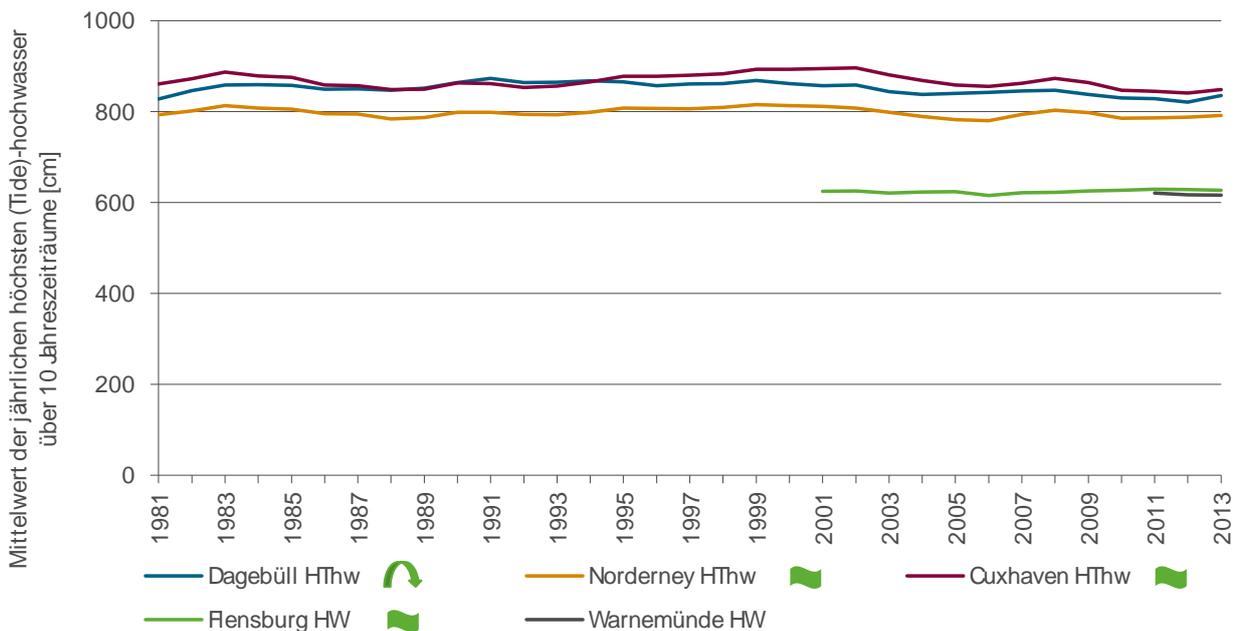
Datenquelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Pegeldatenbank der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

Durch den Klimawandel wird für die deutschen Küsten ein Anstieg des Meeresspiegels prognostiziert. Die globale Erwärmung führt zu zwei unterschiedlichen Effekten, die einen ansteigenden Meeresspiegel befördern: Zum einen führen höhere Wassertemperaturen zu einer Reduzierung der Dichte und damit zu einer Volumenausdehnung des Ozeanwassers (thermische / sterische Ausdehnung). Zum anderen gelangt durch das Abschmelzen von Gebirgsgletschern und Eisverluste der kontinentalen Eisschilde Grönlands und der Antarktis, einschließlich der durch Letzteres verursachten Schwerkraft-

veränderungen, verstärkt Schmelzwasser in die Meere (BMVI 2015: 25). Für letzteres sind die Unsicherheiten allerdings noch relativ groß. Der ansteigende Meeresspiegel bedeutet für Küstenregionen eine steigende Gefährdung durch die veränderte Häufigkeit und Menge des einfließenden Meerwassers.

Der aktuelle DAS-Indikator WW-I-10 (Intensität von Sturmfluten) stellt anhand ausgewählter Einzelpegel der Nordsee (Dagebüll, Norderney und Cuxhaven) und Ostsee (Flensburg und Warnemünde) das jährliche höchste (Tide)hochwasser als gleitendes Mittel über Zehnjahreszeiträume dar. Je höher der Indikatorwert, desto höher ist dabei die Intensität der Sturmfluten (s. Abbildung 42).

Abbildung 42: Indikator WW-I-10 „Intensität von Sturmfluten“



Datenquelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Pegeldatenbank der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)

Durch den klimawandelbedingten Anstieg des Meeresspiegels und das Auftreten von stärkeren Winden kann es verstärkt zu Sturmflutereignissen bzw. zu höheren Sturmfluthöhen kommen. Durch den Meeresspiegelanstieg haben Sturmfluten in der Nordsee heute ein höheres Ausgangsniveau als früher und laufen durchschnittlich etwa zwei Dezimeter höher auf als noch vor 100 Jahren. Szenarien für Sturmfluten deuten darauf hin, dass Sturmfluthöhen bis Ende des Jahrhunderts deutlich höher ausfallen können. Die Unsicherheiten dieser Szenarien sind allerdings zurzeit noch relativ hoch. Die Intensität der Sturmfluten wird beschrieben mit dem jährlich höchsten Tidehochwasser (HThw) für die Nordsee bzw. dem jährlich höchsten Hochwasser (HW) für die Ostsee. Der jeweilige Wert ist relevant für die Bemessung des Hochwasserschutzes an Nord- und Ostseeküste.

Schwächen der aktuellen DAS-Indikatoren, neue Entwicklungen:

Die Darstellungen zu den beiden aktuellen DAS-Indikatoren beruhen auf Daten ausgewählter Einzelpegel, die natürlicherweise durch lokale Rahmenbedingungen geprägt sind. Bei der Auswahl der Pegel wurde darauf geachtet, dass diese Prägung durch lokale Gegebenheiten nicht zu stark ist. Des Weiteren wurde eine regionale Verteilung der Pegel zwischen Nord- und Ostsee, aber auch an der jeweiligen Küste angestrebt. Aus der Nutzung von Pegeldaten für die Beschreibung des Meeresspiegelanstiegs ergeben sich – unabhängig von den betrachteten Parametern – die folgenden Nachteile:

- ▶ Aufgrund vertikaler Landbewegungen (tektonische Hebungen und Senkungen von Küstenabschnitten) „tauchen“ Pegel tiefer oder flacher in das Wasser ein, weshalb an den Pegeln nur „scheinbare“ oder relative Wasserstandsänderungen erfasst werden. Diese Einflüsse lassen sich durch ohnehin zum Ausgleich von Veränderungen der Pegelnullpunkte vorgenommene Verschiebungen der Pegellatten nicht ausgleichen. Die BfG misst aus diesen Gründen solche Höhenänderungen seit 2008 an ausgewählten, mit GNSS-Sensoren (Global Navigation Satellite System) ausgestatteten, Pegeln. Je nach Station zeigen sich mehr oder weniger ausgeprägte Änderungen.
- ▶ Pegeldaten beschreiben Entwicklungen am Messort und lassen sich derzeit nicht in die Fläche bringen. Ein Indikator, der auf Pegeldaten basiert, kann dabei immer nur die Entwicklungen anhand (repräsentativ) ausgewählter Einzelpegel darstellen.
- ▶ Die Meeresspiegelveränderungen können derzeit noch nicht über verschiedene Messstellen hinweg gemittelt werden, da eine methodische Grundlage dafür bislang fehlt. Für die DAS-Indikatoren WW-I-9 und WW-I-10 müssen somit die Einzelpegelstände angegeben werden.

Eine methodische Grundlage zur Mittelung von Einzelpegelmessungen wurde zum Abschluss des DAS-Indikatorenvorhabens aus dem damals noch laufenden Projekt KLIWAS (Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland) erwartet. Dies wurde seit 2009 im Auftrag des BMVI durch dessen Forschungseinrichtungen (DWD, BfG, BSH und BAW) durchgeführt, um die aktuellen und künftigen Auswirkungen des Klimawandels an den Meeres-, Küsten- und Binnengewässern zu untersuchen. Im März 2015, d. h. nach der Fertigstellung des Monitoringberichts zur DAS, hat das BMVI seine Schlussfolgerungen aus KLIWAS publiziert (BMVI 2015). Obwohl methodische Vorschläge zur Mittelung von Pegeldaten aus KLIWAS letztendlich nicht erwachsen sind, hat das Projekt interessante Informationen bezüglich der DAS-Indikatoren aufgezeigt.

Datenanalysen im Rahmen von KLIWAS (die Arbeiten waren vorrangig auf den Nordseeraum konzentriert) haben signifikante Schwankungen im Langzeitverhalten des mittleren Meeresspiegels (MSL, mean sea level) und der extremen Wasserstände für den Aufzeichnungszeitraum 1900 bis 2008 der Tidepegel in der Deutschen Bucht nachgewiesen: „Bis in die 1950er Jahre waren die Veränderungen der Pegelstände vor allem an die Schwankungen des MSL gekoppelt. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts herrschte dagegen eine signifikant divergente Entwicklung vor. D. h., seit Ende der 1950er und seit dem Beginn der 1960er Jahre laufen die Trends des MSL und der Extremwasserstände auseinander. Während, unabhängig vom aktuellen Meeresspiegelanstieg, die extrem hohen Perzentile signifikant größere positive Trends als der MSL aufweisen, sind die niedrigeren Perzentile durch signifikant negative Trends geprägt“ (BMVI 2015: 25). Hoch- und Niedrigwasser entwickeln sich somit unterschiedlich zum Trend des MSL. „Demzufolge sind die Veränderungen der extremen Wasserstände nicht notwendigerweise an die Veränderungen des MSL gekoppelt“ (BMVI 2015: 25), und die Ursachen für diese Entwicklungen sind vermutlich nicht klimabedingt (ebd.: 31). Diese Erkenntnisse machen die aktuelle Definition des DAS-Indikators WW-I-9 angreifbar, der auf den Tidehochwasser-Werten basiert.

Potenziale zur Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

Satellitendaten eignen sich grundsätzlich gut zur Ermittlung der Meeresspiegelhöhe und werden schon seit mehreren Jahren dafür eingesetzt. Dabei kommen i. d. R. altimetrische Daten (z. B. bei den Jason-Satelliten) oder u. U. auch elektromagnetische Verfahren (wie z. B. beim Grace-Satelliten) zum Einsatz. Seit den 1990er Jahren wird der Meeresspiegel kontinuierlich durch Radar-Altimeterdaten berechnet, beginnend 1992 mit der TOPEX/Poseidon Mission, gefolgt von Jason-1 (2001-2013) und schließlich Jason-2 (2008-heute), der aktuell alle zehn Tage den globalen Meeresspiegel mit einer

Unsicherheit von 3-4 mm ermittelt (im Januar 2016 ist auch Jason-3 erfolgreich gestartet). Seit Februar 2016 ist Sentinel-3A im Orbit, wodurch von nun an auch Altimeterdaten durch die Sentinel-Satelliten des Copernicus-Programms zur Verfügung stehen, die eine Berechnung des Meeresspiegels erlauben. Insbesondere aber Sentinel-6/Jason CS, der 2017 gestartet werden soll, wird sich mit dem Monitoring des Meeresspiegelanstiegs befassen.

Durch die Erhebung von altimetrischen Daten wird stets die absolute Höhe des Meeresspiegels und nicht die Höhe in Relation zur Küste gemessen. Zur Validierung und Verifizierung, werden die Daten kontinuierlich mit einem bestehenden globalen Netz aus Pegelmessungen verglichen. Damit ergänzen sich die Interpretationsmöglichkeiten aus Pegel- und Satellitendaten und ermöglichen es, Aufschluss über die Auswirkungen des Meeresspiegelanstiegs am jeweiligen Küstenabschnitt zu geben. Zur Anbindung der Pegelstanddaten an die Satellitendaten wurde exemplarisch im Rahmen von KLIWAS gearbeitet. Dabei zeigte sich, dass die in KLIWAS analysierten Pegel- und Altimetriebeobachtungen für den Nordseeraum ein hohes Maß an Übereinstimmung aufzeigen (bis auf wenige cm) und sich daher sehr gut ergänzen (BMVI 2015: 30). Allerdings geht aus der Dokumentation nicht hervor, welche Satellitendaten hierfür herangezogen wurden. Im globalen Maßstab und in systematischer Weise arbeiten derzeit die Universität Darmstadt (Dr.-Ing. Luciana Fenoglio-Marc) in Kooperation mit der ESA, der EUMETSAT und in engem Austausch mit der BfG und dem BSH daran, eine bessere Anbindung der Altimeterdaten an die Pegelstandmessungen herzustellen.

Im Rahmen des Copernicus-Programms werden im Marine Environment Monitoring Service mehrere Produkte zum Meeresspiegel angeboten, u. a. das globale Vorhersagemodell „Global Ocean 1/12° Physics Analysis and Forecast updated“, das täglich in einer räumlichen Auflösung von 0,08 Grad (ca. 8 km) Informationen zum Meeresspiegel liefert. Der Meeresspiegel-Datensatz wird täglich gemittelt als Raster (NetCDF) zum Download bereitgestellt. Die Einheit des Datensatzes ist dabei „height above geoid in m“ und bezieht sich somit auf das Geoid als Höhenbezugsfläche. Das Geoid wird als Äquipotenzialfläche des Erdschwerefelds definiert (das Potenzial der Erdschwere ist an jedem Punkt gleich). Es kann nicht direkt berechnet werden und wird klassisch über den mittleren Meeresspiegel abgeschätzt und bestimmt, der wiederum über langjährige Pegelmessungen berechnet wird (Geoid und mittlerer Meeresspiegel sind somit in etwa gleich). Der Datensatz gibt somit die Veränderung des Meeresspiegels zum mittleren Meeresspiegel wieder und kann dadurch mit tatsächlichen Pegelmessungen verglichen und kombiniert werden.

Abbildung 43: Auszüge aus einem Datensatz zum Meeresspiegelanstieg des Marine Monitoring Service

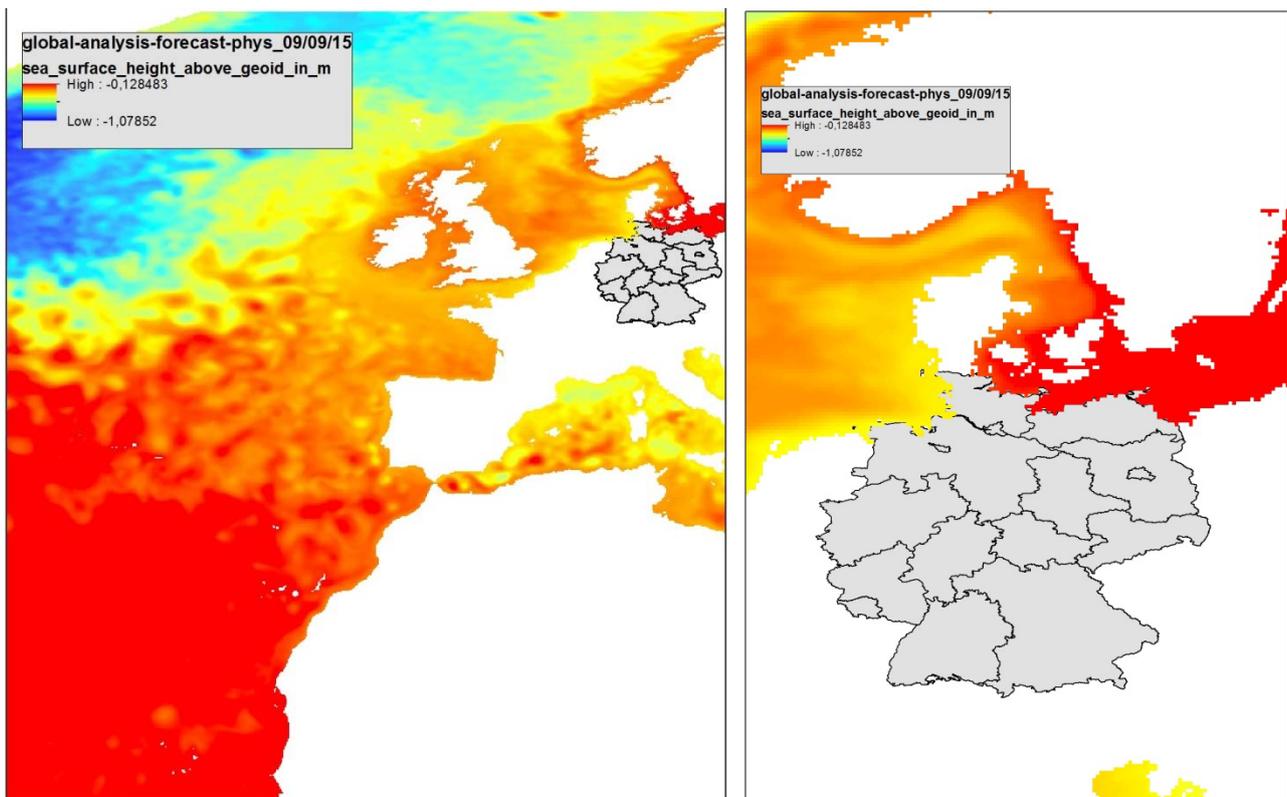


Abbildung 43 zeigt exemplarisch einen Meeresspiegel-Datensatz zum Zeitpunkt 09. September 2015. Die räumliche Auflösung von 8 km pro Pixel erscheint zwar recht grob, ermöglicht aber durchaus Differenzierungen in deutschen Gewässern, wie z. B. zwischen Nord- und Ostsee, aber auch innerhalb der Deutschen Bucht.

Vor dem Hintergrund der obigen Ausführungen wäre es grundsätzlich denkbar, für die Ermittlung der Indikatoren WW-I-9 und WW-I-10 das Meeresspiegelprodukt des Marine Environment Monitoring Service heranzuziehen. Dabei könnte der Datensatz in unterschiedlicher Weise zeitlich und räumlich aggregiert werden (z. B. zeitlich als monatliche oder jährliche Mittelwerte, räumlich als ein aggregierter Wert für alle deutschen Meeresgebiete oder differenziert für unterschiedliche Meeresgebiete). Da der Datensatz allerdings als täglich gemittelter Wert zur Verfügung gestellt wird, erweist sich die Berechnung von Tidehochwasser- und Tideniedrigwasserständen (wie z. T. in den derzeitigen DAS-Indikatoren) als schwierig. Allerdings könnte alternativ der mittlere Wasserstand ermittelt werden. Es ließe sich auf diese Weise eine weitere Qualifizierung der bestehenden Indikatoren insbesondere mit Blick auf eine größere räumliche Abdeckung herbeiführen. Einschränkend ist jedoch, dass aus der derzeitigen Dokumentation des Copernicus Produkt (Product User Manual & Quality Information Document) nicht hervorgeht, wie der Datensatz genau erstellt wurde. Es wird lediglich darauf hingewiesen, dass der Datensatz auf Altimeterdaten basiert, welche In situ-Daten hingegen einfließen, wird nicht erwähnt.

Die Möglichkeiten der Weiterentwicklung der Indikatoren WW-I-9 und WW-I-10 mit Hilfe von Satellitendaten und speziell des Datensatzes aus dem Marine Environment Monitoring Service wurden mit Fachexperten aus dem BSH (Bernd Brügge, Iris Ehlert, Hartmut Heinrich, Stephan Dick) diskutiert. Dabei wurde von Seiten des BSH eine weitere Qualifizierung der bestehenden Indikatoren mit Satellitendaten generell in Frage gestellt. Vor dem Hintergrund dass die verwendeten Pegelmessungen der derzeitigen DAS-Indikatoren laut BSH für die deutschen Meeresgebiete die präzisesten Messungen darstellen, die Anzahl der Pegel ausreichend und diese auch in der Fläche repräsentativ sind, ergibt

sich keine dringende Notwendigkeit Satellitendaten einzusetzen. Der große Vorteil von Fernerkundungsdaten, Informationen in einer hohen räumlichen Abdeckung zu liefern, ist in dem Fall der zwei DAS-Indikatoren nur bedingt nützlich, da der Meeresspiegelanstieg sehr ortsgebunden und insbesondere an der Küste von Interesse ist, da die Auswirkungen dort relevant sind.

Auch Forschungsprojekte wie KLIWAS oder AMSeL (Analyse von hochaufgelösten Tidewasserständen und Ermittlung des MSL an der deutschen Nordseeküste) haben gezeigt, dass Meeresspiegeländerungen lokal sehr unterschiedlich sind und von global verfügbaren MSL-Daten nur bedingt auf küstennahe Meeresspiegelhöhen rückgeschlossen werden kann. Dieser Umstand unterstützt die Nutzung von lokalen Einzelpegeln und widerspricht der Nutzung von globalen, auf Satellitendaten basierenden, MSL-Datensätzen. Bezüglich der zeitlichen Auflösung bzw. der Anzahl von Messungen pro Zeiteinheit und der Präzision der Messungen sind die Pegeldata ohnehin exzellent.

Seitens des BSH wurde bestätigt, dass Tidehochwasser- und Tideniedrigwasserstände aufgrund der groben zeitlichen Auflösung der Satellitendaten nur schwer darstellbar sind. Dadurch ergeben sich insbesondere für Indikator WW-I-10 keine direkten Weiterentwicklungsmöglichkeiten mit Satellitendaten. Hinzu kommt, dass für die Intensität von Sturmfluten nicht nur der allgemeine Anstieg des Meeresspiegels eine Rolle spielt, sondern auch viele andere, z. T. sehr komplexe, Faktoren, wie z. B. Windstärke und -richtung, Windstau berücksichtigt werden müssen, die allerdings durch Produkte, die auf Satellitendaten basieren, nicht adäquat dargestellt werden können.

Der Umstand, dass im bisherigen Indikator WW-I-9 für die Nordsee Tidehochwasser- und Tideniedrigwasserstände und für die Ostsee der mittlere Wasserstand angegeben wird, liegt nicht an den verwendeten Pegelmessungen, sondern an dem unterschiedlichen Ausmaß der Gezeiten in Nord- und Ostsee und an der daraus resultierenden unterschiedlichen Eignung von Indikatordata für die deutschen Meeresgebiete.

Hinsichtlich der oben erwähnten vertikalen Landbewegungen könnten Satellitendaten ebenfalls keine nennenswerten Verbesserungen bewirken. Viele Pegel sind bereits mit GNSS-Sensoren ausgestattet und die Messungen werden über komplexe Berechnungen z. T. schon geodätisch korrigiert.

Aus derzeitiger Sicht ergibt sich vor diesem Hintergrund keine Notwendigkeit zur Weiterentwicklung der beiden bereits bestehenden DAS-Indikatoren. Das BSH, das Zulieferer für die beiden Indikatoren ist, sichert zu, in Zukunft möglicherweise verbesserte Ansätze zur Berücksichtigung von Satellitendaten für die Ermittlung auch des küstennahen Meeresspiegelanstiegs, die der Verbesserung der eigenen Produkte für die deutschen Meeresgebiete dienen, im Kontakt mit dem UBA auch für die Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren nutzbar zu machen.

3.5.2 WW-I-8 „Wassertemperatur des Meeres“ und TOU-I-1 „Badetemperaturen an der Küste“

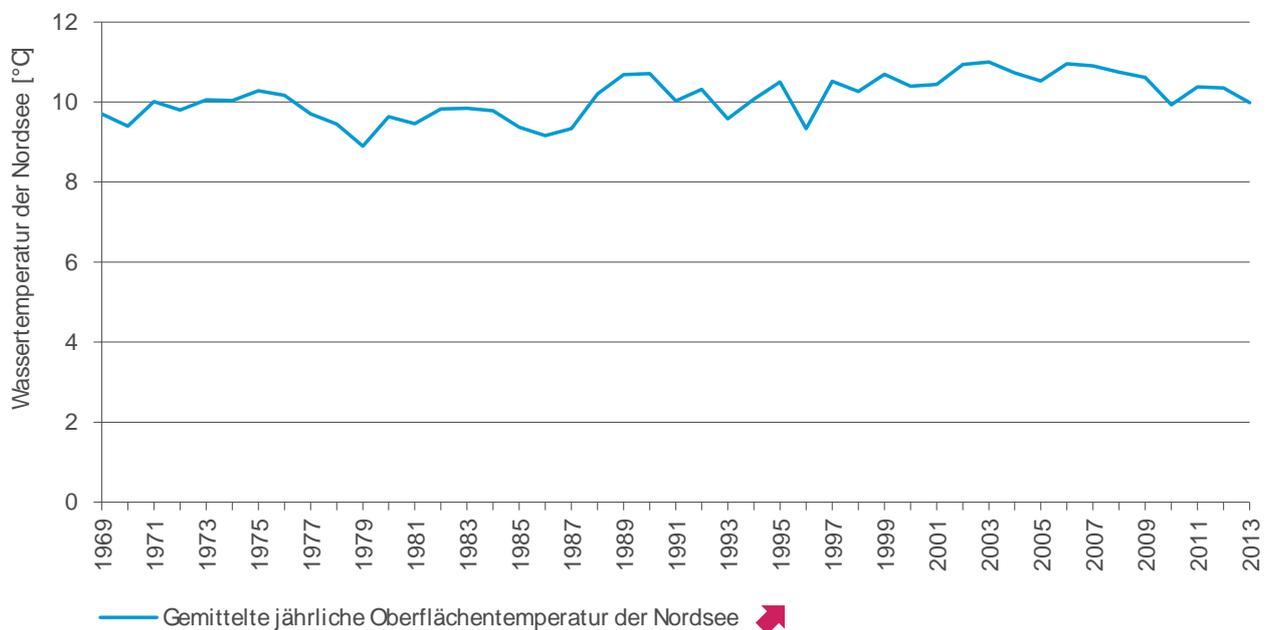
Aktuelle Indikatoren:

Der aktuelle DAS-Indikator WW-I-8 (Wassertemperatur des Meeres) stellt die mittlere jährliche Oberflächentemperatur der Nordsee dar (s. Abbildung 44). Die Daten werden sowohl aus Satellitenmessungen als auch In situ-Daten aus dem Marinen Umweltmessnetz in Nord- und Ostsee (MARNET) durch das BSH ermittelt. Die Messwerte werden über eine Woche hinweg zu einer Wochenkarte der mittleren Oberflächentemperatur der Nordsee aggregiert. Die Wochendaten werden schließlich zu Monatswerten gemittelt, aus denen wiederum das Jahresmittel berechnet wird.

Dem Indikator liegt die Hypothese zugrunde, dass mit dem prognostizierten Anstieg der Lufttemperatur ein Anstieg der Meerestemperatur einhergeht. So lässt sich der Anstieg der Oberflächenwassertemperatur beispielsweise nach besonders warmen Hitzeperioden, wie den Sommern der Jahre 2003 und 2006, nachweisen. Die Projektionen des KLIWAS Projekts für die Nordsee sagen einen Anstieg der Luft- und Meerwassertemperatur bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 2,8°C, bzw. 2,5°C voraus.

Die Meere sind gigantische Wärmespeicher und nehmen laut IPCC den Großteil der Klimaerwärmung auf. Eine Auswirkung sich erwärmender Ozeane sind die Ausdehnung des Meerwassers und der daraus resultierende Anstieg des Meeresspiegels. Die Erwärmung der Ozeane hat ebenso aber auch einen großen Einfluss auf die maritimen Ökosysteme. Die Flora und Fauna werden sich hinsichtlich Bestandsdichten und Verbreitungsgebieten ändern, wodurch auch Auswirkungen auf die Meeresfischerei nicht auszuschließen sind.

Abbildung 44: Indikator WW-I-8 „Wassertemperatur des Meeres“



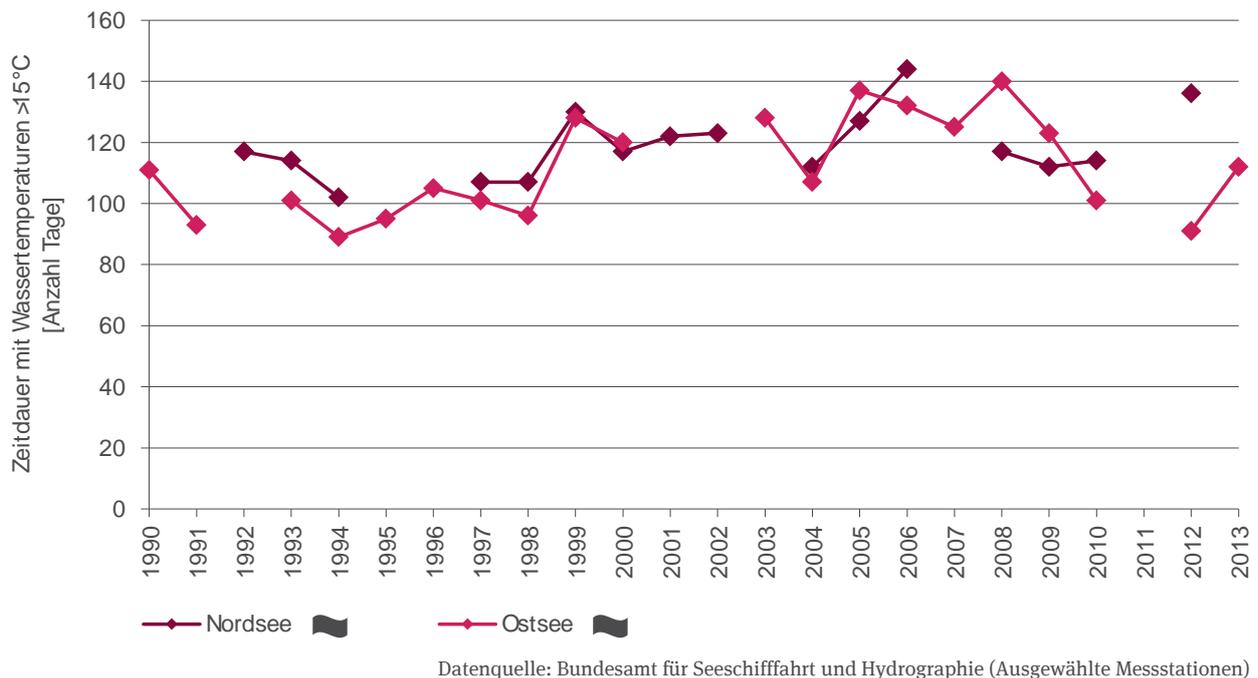
Datenquelle: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (eigene Messungen in der Nordsee)

Der aktuelle DAS-Indikator TOU-I-1 (Badetemperaturen an der Küste, s. Abbildung 45) stellt die Dauer der Wassertemperaturperiode über 15°C an den zwei BSH-Messstationen „Deutsche Bucht“ in der Nordsee und „Leuchtturm Kiel“ in der Ostsee dar. Die Daten werden als Differenz des letzten und des ersten Tages im Jahr berechnet, in denen der Temperaturschwellenwert von 15°C dauerhaft überschritten wird.

Die Auswertung von Wassertemperaturzeitreihen von automatisierten Messstationen des BSH kommt zu dem Ergebnis, dass die durchschnittlichen Oberflächenwassertemperaturen sowohl in der Deutschen Bucht als auch in der westlichen Ostsee in den vergangenen zwei Jahrzehnten angestiegen sind. Damit verbunden wurde auch eine deutliche Verlängerung der mittleren Dauer der potenziellen Badeperiode um 54 auf dann 160 Tage bis Ende des 21. Jahrhunderts berechnet.

Für die typischen Formen des Sommertourismus, insbesondere den Badeurlaub, wird in Deutschland eher von positiven Auswirkungen des Klimawandels ausgegangen, sprich von einer Verlängerung der Badesaison und eine steigende Attraktivität der Badegebiete.

Abbildung 45: Indikator TOU-I-1 „Badetemperaturen an der Küste“



Schwächen der aktuellen DAS-Indikatoren, neue Entwicklungen:

Die Daten des aktuellen Indikators WW-I-8 (Wassertemperatur des Meeres) liegen lediglich für die Nordsee vor. Für die Ostsee gibt es keine in vergleichbarer Weise aggregierte Daten. Da der aktuelle Indikator jedoch bereits auf Satellitendaten und In situ-Daten aus dem BSH basiert, ist es fraglich ob Copernicus-Produkte eine Verbesserung des Indikators ermöglichen.

Der aktuelle Indikator TOU-I-1 (Badetemperaturen an der Küste) basiert nur auf zwei Einzelpegeldaten. Dadurch können die Badetemperaturen nur exemplarisch für diese beiden Einzelmessstellen ermittelt werden, und aufgrund der Entfernung dieser Stationen zur Küste kann sich die Situation an den Badeorten an der Küste individuell anders darstellen. Räumlich differenzierte Temperaturunterschiede (z. B. zwischen den Küstenzonen) haben jedoch einen großen Einfluss auf den Badetourismus.

Potenziale zur Weiterentwicklung der DAS-Indikatoren auf der Grundlage von Satellitendaten, zu klärende Fragen:

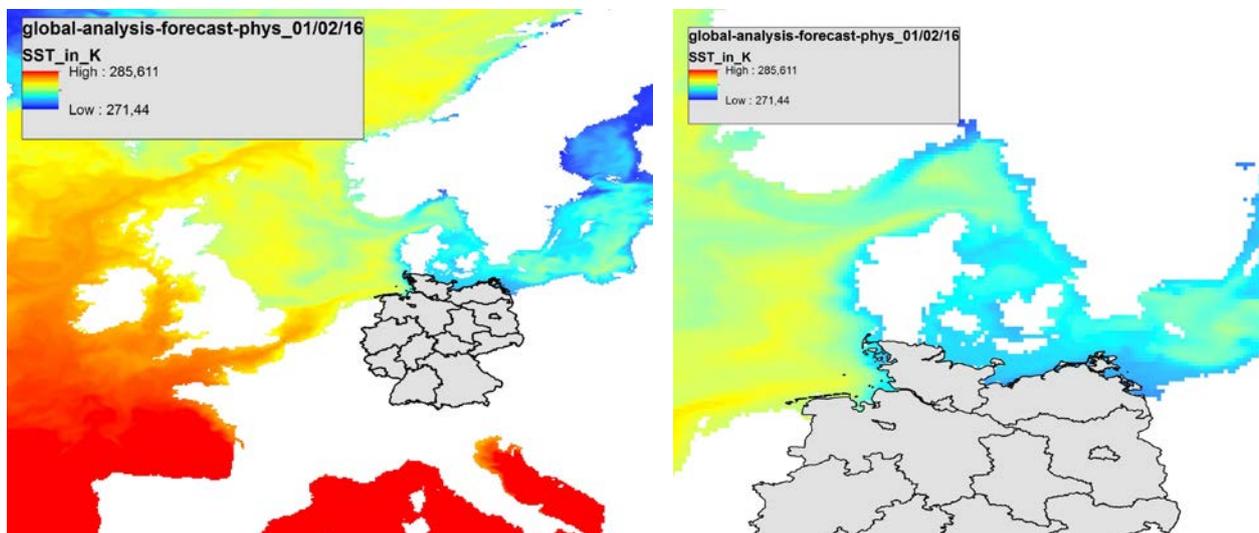
Satellitendaten werden seit den 1980er Jahren zu Bestimmung von Meeresoberflächentemperaturen eingesetzt. Dabei wurde anfangs auf Aufnahmen von Infrarot Radiometer-Sensoren zurückgegriffen, bis ab den 1990er Jahren auch Mikrowellensensoren zum Einsatz kamen. Diese haben den großen Vorteil, dass sie auch bei Wolkenbedeckung Daten liefern, jedoch verfügen sie i. d. R. über eine geringere räumliche Auflösung als optische Satellitendaten. Bei den Sentinel-Satelliten ist insbesondere Sentinel-3 für die Messung der Oberflächentemperatur des Meeres (sea surface temperature, SST) zuständig. An Bord von Sentinel-3 befindet sich ein SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) Instrument, das in 500 m (visible und shortwave infrared) bzw. 1 km (thermal Infrared) räumlicher Auflösung Aufnahmen der SST erstellt. Sentinel-3 führt dabei die Datenerhebung durch die AATSR (Advanced Along-Track Scanning Radiometer) Instrumente an Bord der ENVISAT- und ERS-Satelliten fort und folgt den Datenprozessierungs-Spezifikationen des GHRSSST (Group of High Resolution Sea Surface Temperature) Programms.

Eine Einschränkung der Satellitendaten ist jedoch, dass sie die Oberflächentemperatur nur in der obersten Schicht der Ozeane ermitteln. Abhängig von der spezifischen Wellenlänge der Aufnahmen wird dabei i. d. R. nur in die obersten Millimeter der Meeresoberfläche gemessen. Dies macht insbesondere eine Integration und Validierung mit In situ-Messungen von Bojen oder Schiffen schwierig, die generell SST in 1-3 m Tiefe und darunter messen. Die Ableitung der Meerestemperatur aus Satellitendaten erfolgt somit unter Einsatz von Modellen.

Im Rahmen des Copernicus-Programms werden im Marine Environment Monitoring Service mehrere Produkte zur Meeresoberflächentemperatur angeboten, u. a. das Produkt „Global Ocean 1/12° Physics Analysis and Forecast updated“, das alle zwei Stunden in einer räumlichen Auflösung von 0,08 Grad (ca. 8 km) Informationen zur SST liefert. Die Daten werden seit 2013 täglich aktualisiert. Abbildung 46 zeigt ein NetCDF Raster des SST-Parameters zum Zeitpunkt 01. Februar 2016.

Der Datensatz wird als „sea water potential temperature“ in der Einheit Kelvin angegeben. Die Metadokumentation (Product User Manual & Quality Information Document) ist etwas undurchsichtig. Es geht allerdings daraus hervor, dass der SST-Parameter auf dem „Reynolds SST-Datensatz“ basiert, wofür Satellitendaten der AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) und AMSR (Advances Microwave Scanning Radiometer) Instrumente (beide auf NOAA/NASA Satelliten) verwendet wurden. Welche In situ-Daten in das Modell integriert wurden, geht aus der Dokumentation allerdings nicht hervor. Für eine Indikatorberechnung könnte der Datensatz unterschiedlich zeitlich und räumlich aggregiert werden (z. B. zeitlich als monatliche oder jährliche Mittelwerte, räumlich als ein aggregierter Wert für alle deutschen Meeresgebiete oder differenziert für unterschiedliche Meeresgebiete).

Abbildung 46: Auszüge aus dem NetCDF File zur Meeresoberflächentemperatur des Marine Monitoring Service



Auch die Möglichkeiten der weiteren Qualifizierung der Indikatoren WW-I-8 und TOU-I-1 mithilfe von auf Satellitendaten basierenden Datensätzen, insbesondere dem genannten Copernicus-Produkt, wurden mit den Fachexperten des BSH diskutiert. Von Seiten des BSH wurde darauf verwiesen, dass das BSH eigene Datensätze zur Meeresoberflächentemperatur und auch speziell zur Badetemperatur entwickelt und anbietet. Diese sind zwar nicht in den Copernicus-Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt eingeflossen, haben allerdings bereits in Copernicus Downstream Services Anwendung gefunden. So werden beispielsweise wöchentliche Karten zur SST in der Nord- und Ostsee produziert, die auf AVHRR-Daten und Daten des europäischen Wettersatelliten MetOp sowie Stationsmessungen

des MARNET Messnetzes und anderen In situ-Daten basieren (s. Abbildung 47). Die Datenreihen reichen bis 1990 zurück und sind auf der Internetseite des BSH einsehbar⁵⁰.

Abbildung 47: SST-Datensatz des BSH exemplarisch für die Ostsee

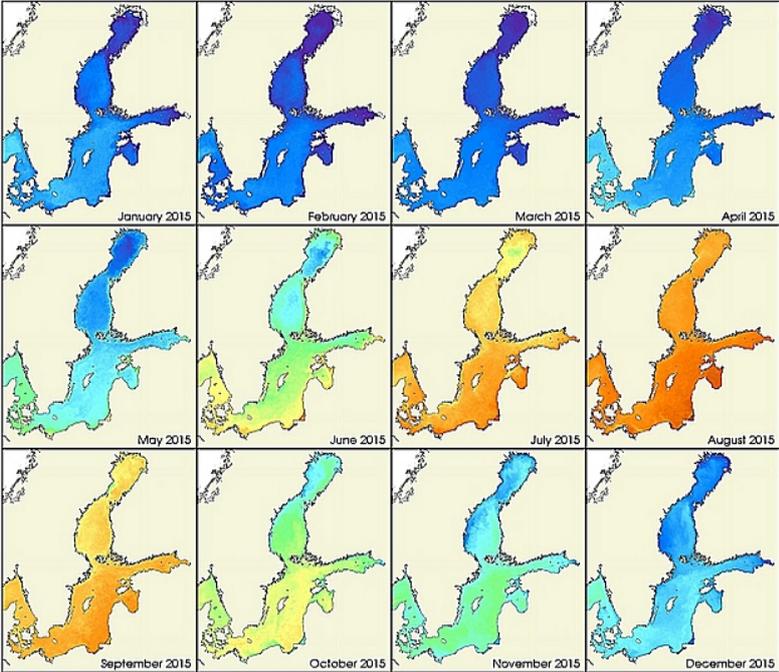
Schifffahrt	Meeresdaten	Meeresnutzung	Produkte	Anträge	Das BSH
-------------	-------------	---------------	----------	---------	---------



**BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE**

Ostsee / Baltic Sea

Wasseroberflächentemperatur aus Satellitendaten : Monatsmittel des Jahres 2015
Sea Surface Temperatur based on satellite data : Monthly means of the year 2015



Monthly mean Multi-Channel Sea Surface Temperature
in 2015


°C

2016
2015
2014
2013
2012
2011
2010
2009
2008
2007
2006
2005
2004
2003
2002
2001
2000
1999
1998
1997
1996
1995
1994
1993
1992
1991
1990

[Nordsee / North Sea](#)

[zurück / back](#)

Suche

Wenn Sie Informationen zu bestimmten Begriffen suchen, können Sie sich hier alle Seiten anzeigen lassen, die diese Begriffe enthalten.

Bitte geben Sie Ihre Suchbegriffe ein

Verknüpfung der Begriffe mit
 und oder

[Suche starten](#)

Druckversion

[Seite drucken](#)

Kontakt

Wenn Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an
[Gisela Tschersich](#)
 Telefon 040 3190 - 3145

Links

Mehr dazu auf www.bsh.de:
[Eis](#)
[Meeresoberflächentemperatur](#)
[Baden&Meer](#)
 und extern
[Brockmann Consult](#)
[EUMETCast](#)

English Version

[GO](#)

Quelle: www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Fernerkundung/ostsee2015.jsp

Für die Ermittlung des Indikators WW-I-8 verwendete das BSH allerdings einen anderen Datensatz. Dabei handelt es sich um einen verbesserten „blended analysis“ Datensatz, der für eine homogene Zeitreihe zurück bis ins Jahr 1969 vorliegt. Dieser liegt derzeit nur für die Nordsee vor, da für die Ostsee noch klimatologische Daten und Auswertungen fehlen und insbesondere aufgrund der Eissituation in den Wintermonaten methodische Schwierigkeiten bestehen. Allerdings wird am BSH an einem Datensatz für die Ostsee gearbeitet, dessen Erstellung jedoch noch einige Zeit in Anspruch nehmen wird. Von Seiten des BSH wurde der SST-Datensatz des Copernicus Marine Environment Service durchaus als möglicher Datensatz für den DAS-Indikator eingestuft, insbesondere da die Daten durch neue Modelle und Satellitendaten (von nun an auch Sentinel-3-Daten) stetig weiterentwickelt und

⁵⁰ www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Fernerkundung/index.jsp

qualitätsverbessert werden. Allgemein wurde betont, dass Vorhersagemodelle (wie im Fall des Copernicus-Produkts) weniger geeignet sind wie tatsächliche Beobachtungsdaten. Aufgrund der Datenqualität wird aber derzeit seitens des BSH nicht die Notwendigkeit gesehen, den aktuellen Datensatz (obwohl dieser nur für die Nordsee verfügbar ist) durch einen anderen, beispielsweise den Copernicus-Datensatz, zu ersetzen.

Auch bezüglich der Badetemperaturen stellt das BSH auf seiner Internetseite Daten zur Verfügung (s. Abbildung 48). Die Daten basieren auf Stationsmessungen an der Küste und eigenen Modellierungen, die stündlich automatisch aktualisiert werden.

Abbildung 48: Badetemperaturen-Daten des BSH exemplarisch für die Deutsche Bucht

Schifffahrt
Meeresdaten
Meeresnutzung
Produkte
Anträge
Das BSH

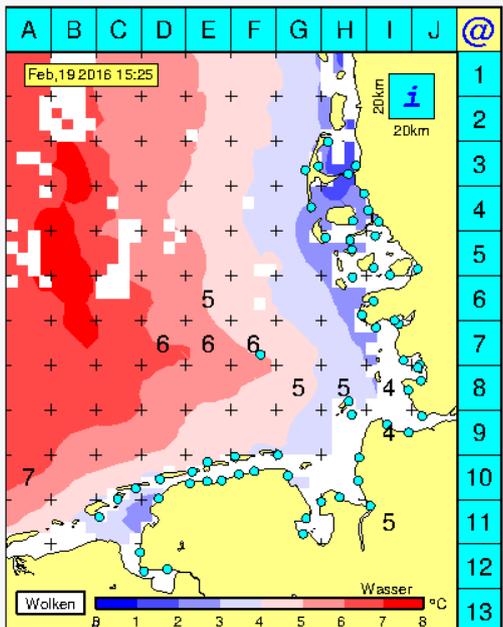


**BUNDESAMT FÜR
SEESCHIFFFAHRT
UND
HYDROGRAPHIE**

Baden & Meer

Wassertemperaturübersicht für die Deutsche Bucht

Wassertemperatur (Wind und Lufttemperatur)



Die Karte mit den aktuellen Wassertemperaturen wird stündlich erneuert.

Lokale Informationen für:

- Amrum H5
- Baltrum E10
- Bensersiel E10
- Borkum C11
- Bremerhaven I11
- Büsum I7
- Cuxhaven I9
- Dagebüll I4
- Dangast G11
- Deichsiel J8
- Dornumersiel E10
- Dorumer Neufeld H10
- Eckwarder Deich H11
- Eidersperwerk I7
- Emden D12
- Föhr H4
- Friedrichskoog I8
- Gröde I5
- Harlesiel F10
- Helgoland F7
- Helmsanderkoog I7
- Hindenburgdamm H3
- Hörnum G4
- Hooge H5

Suche

Wenn Sie Informationen zu bestimmten Begriffen suchen, können Sie sich hier alle Seiten anzeigen lassen, die diese Begriffe enthalten.

Bitte geben Sie Ihre Suchbegriffe ein

Verknüpfung der Begriffe mit

und oder

[Suche starten](#)

Druckversion

[Seite drucken](#)

Kontakt

Wenn Sie noch Fragen haben, wenden Sie sich bitte an

[Inge Menzenhauer](#)

Telefon 040 3190 - 3135

Links

Mehr dazu auf www.bsh.de:

- [Informationen zu Baden & Meer](#)
- [Unsere Partner bei Baden & Meer](#)
- [Gezeiten](#)
- [Strömungen](#)
- [Wasserstand](#)
- [Meeresoberflächentemperatur](#)

English Version

[go...](#)

Klicken Sie einen Ort an! Wählen Sie einen Ort

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie übernimmt für die hier wiedergegebenen Informationen keine Gewähr!

[Baden & Meer](#)
[Ostsee](#)
[Karteninfo](#)

Quelle: www.bsh.de/aktdat/bm/DBWasserMess.htm

Das BSH bestätigt, dass die derzeit eingesetzten zwei Pegelmessungen, „Deutsche Bucht“ und „Leuchtturm Kiel“, die beste Qualität aufweisen und auch bestmöglich repräsentativ sind. Weitere Pegeldata wären wünschenswert, um die Qualität der Messergebnisse sicherzustellen, allerdings werden Pegelmessungen an der Küste stark durch lokale Gegebenheiten beeinflusst (auf wenige Kilometer Distanz werden z. T. erhebliche Schwankungen festgestellt), weshalb die Auswahl geeigneter

Daten schwierig und limitiert ist. Die auf der BSH-Seite gezeigten Daten in der Rubrik Baden & Meer zeigen hauptsächlich Modelldaten, die keine nennenswerten Verbesserungen zum bisherigen Indikator versprechen.

Da die DAS-Indikatoren WW-I-8 und TOU-I-1 unter Mitwirkung des BSH und unter Verwendung der Daten des BSH erstellt wurden, ergibt sich für das Vorhaben derzeit keine unmittelbare Notwendigkeit, an einer Weiterentwicklung der Indikatoren zu arbeiten. Wie im Falle der DAS-Indikatoren WW-I-9 und WW-I-10 (s. Kap. 3.5.1) bereits beschrieben, wird das BSH auch bezüglich der Wassertemperatur mit konkreten Verbesserungsansätzen der bestehenden Indikatoren, die sich aus einer veränderten oder erweiterten Nutzung von Satellitendaten ergeben, mit dem UBA in Kontakt bleiben.

4 Weiterentwicklung des Copernicus-Programms

4.1 Allgemeine Erfahrungen und Empfehlungen

Die hier ausgesprochenen Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Copernicus Programms beziehen sich vornehmlich auf die Anforderungen, die sich für das Umweltmonitoring auf nationaler Ebene ergeben. Diese sind im Wesentlichen:

- ▶ Ansprache von für das Umweltmonitoring relevanten Parametern,
- ▶ Bereitstellung von konsistenten, qualitätsgesicherten und langfristig verfügbaren Zeitreihen,
- ▶ offener Zugang zu den Daten und vollständige Datendokumentation nach internationalen Standards.
- ▶ thematische Konsistenz oder zumindest ein klarer Bezug zu amtlichen Datensätzen (z. B. Flächenstatistiken).

Die Empfehlungen leiten sich aus den Recherchen zu dieser Studie, Gesprächen mit den nationalen Copernicus Fachkoordinatoren und anderen Experten, eigenen Erfahrungen der Autoren sowie aus den praktischen Tests der Verwendbarkeit von Copernicus Daten und Diensten, wie sie in Kap. 3.3 und 3.4 durchgeführt wurden, ab.

4.1.1 Erfahrungen aus der Verarbeitung von Satellitendaten und der Nutzung von Copernicus-Diensten

Dieses Kapitel baut auf den Darstellungen in Kap. 2.3 auf und führt die darin ausgeführten Überlegungen zu den Nutzungsmöglichkeiten der Copernicus-Dienste und -Daten für DAS-Indikatoren auf der Grundlage der bei der praktischen Nutzung der Daten gemachten Erfahrungen weiter.

1) Satellitendaten, können erheblich zum Umweltmonitoring und zum Klimawirkungsmonitoring in Deutschland beitragen und werden in Deutschland auch außerhalb von Copernicus bereits intensiv und operationell eingesetzt.

- ▶ Der Wert der Satellitendaten liegt vor allem in der Möglichkeit zur flächenhaften Beobachtung einer Vielzahl relevanter Umweltparameter in relativ hoher zeitlicher Auflösung (täglich bis monatlich); siehe auch Kap. 3.2, insbesondere Tabelle 5.
- ▶ Einschränkungen der Nutzung von Satellitendaten ergeben sich aus der gegenüber In situ-Messungen oft geringeren Messgenauigkeit. Zudem entsprechen die aus Satellitendaten direkt ableitbaren Parameter in vielen Fällen nicht unmittelbar den für das Monitoring erwünschten Zielparametern.
- ▶ Satellitendaten werden meist erst als (flächenhafte) Ergänzung von In situ-Daten sowie als Input von Modellen für das Umweltmonitoring in Wert gesetzt.
- ▶ Für diese Inwertsetzung sind zusätzliche Prozessierungsschritte notwendig. Diese „Value adding“-Schritte erfolgen in Deutschland zurzeit entweder direkt durch die Behörden, was entsprechend hohe Expertise und Ressourcen erfordert, oder sie werden von Forschungseinrichtungen und kommerziellen Anbietern durchgeführt.

- ▶ Beispiele für die operationelle Integration von Satellitendaten unabhängig von Copernicus in Aktivitäten der Bundesoberbehörden sind das Digitales Landbedeckungsmodell für Deutschland (LBM-DE)⁵¹ des BKG, der CLC Datensatz, das Produkt zur Meeresoberflächentemperatur⁵² des BSH oder die Produkte der Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF)⁵³ unter Mitwirkung des DWD (z. B. Globalstrahlung).

2) Die Sentinel Daten aus der Copernicus „Space“ Komponente haben gegenüber bisherigen Satelliten-Missionen erhebliche Vorteile mit Blick auf Monitoringaufgaben.

Das betrifft insbesondere:

- ▶ den kostenfreien Zugang, der überhaupt erst ein operationelles Monitoring über die Zeit ermöglicht,
- ▶ die hohe räumliche Auflösung (Sentinel 2: 10-20 m optisch, Sentinel 1: 5-20 m Radar für die hochauflösenden Daten),
- ▶ die hohe zeitliche Wiederholfrequenz (5-6 Tage für die hochauflösenden Daten, täglich für die mittelaflösenden Daten),
- ▶ die schnelle Bereitstellung der Daten innerhalb von wenigen Stunden,
- ▶ die Ausrichtung an europäischen Anforderungen (Fokus der räumlichen Abdeckung liegt auf Europa),
- ▶ die Vielfalt der eingesetzten Fernerkundungstechnologien und der sich daraus ergebenden Synergien (z. B. optische Daten, Radardaten, Altimetrie),
- ▶ die hohe Qualität der Daten (z. B. hohe radiometrische Auflösung),
- ▶ die Bereitstellung von vorprozessierten Daten und Zusatzinformationen (z. B. Wolkenmaske),
- ▶ die langfristige Perspektive der Copernicus „Space Komponente“ (eine durchgehende Satellitendatenerhebung soll bis mindestens 2030 gesichert sein).

3) Bisher bestehen noch Einschränkungen bei der Bereitstellung und der Zugänglichkeit der Sentinel Daten, wobei an einigen der im Folgenden beschriebenen Beschränkungen zurzeit gearbeitet wird⁵⁴.

- ▶ Die Zugänglichkeit zu den Sentinel Daten über das Sentinel Scientific Data Hub der ESA ist zurzeit noch eingeschränkt. Das Scientific Data Hub ist in seiner jetzigen Form als sogenanntes „rolling archive“ ausgelegt. Das bedeutet, dass hier nur Daten der jeweils letzten drei Monate verfügbar sind. Ältere Daten werden zwar intern bei der ESA archiviert. Eine öffentliche Bereitstellung ist aber zurzeit nicht möglich, langfristig aber wohl geplant. Somit ist die ad hoc Erstellung von längeren Zeitserien auf Nutzerseite, wie sie für das Monitoring notwendig sind, derzeit kaum möglich. Praktisch würde dies erfordern, dass der Nutzer neuere Daten kontinuierlich herunterlädt und sein eigenes Archiv anlegt. Dies ist aber aufgrund der hohen Ressourcenanforderungen (Datenmengen von Terrabyte bis Petabyte) für die meisten Nutzer nicht kosteneffizient zu realisieren.
- ▶ Eine weitere Einschränkung liegt in der geringen Bandbreite des Scientific Data Hubs und in der Beschränkung des gleichzeitigen Downloads auf zwei Bilder. In der Praxis ergeben sich dadurch derzeit lange Downloadzeiten und eine geringe Anzahl von Bildern, die überhaupt in sinnvoller Zeit heruntergeladen werden kann.

⁵¹ www.bkg.bund.de/nn_168418/DE/Bundesamt/Produkte/Geodaten/Landbedeckungsmodell/DLM-DE__node.html__nnn=true

⁵² www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Fernerkundung/index.jsp

⁵³ www.cmsaf.eu

⁵⁴ <https://scihub.copernicus.eu/roadmap/>

- ▶ Bis jetzt werden über das Sentinel Scientific Hub größtenteils sogenannte „Level 1“-Produkte angeboten. Für viele Anwendungen werden aber weiterverarbeitete Produkte (sogenannte „Level 2“ Produkte) benötigt, beispielsweise atmosphärenkorrigierte Sentinel-2-Daten⁵⁵. Im jetzigen Konzept muss diese Prozessierung durch den Nutzer selbst durchgeführt werden. Dafür stellt die ESA ein entsprechendes Tool zur Verfügung (SNAP tool⁵⁶), dessen Entwicklung aber noch nicht abgeschlossen ist und das hohe Anforderungen an die Expertise des Nutzers sowie an die Hardware stellt. In Zukunft ist es vorgesehen auch Level-2 Produkte bereitzustellen.
- ▶ Viele dieser Einschränkungen sollen auf nationaler Ebene durch die Errichtung sogenannter „Collaborative Ground Segments“, eine Art nationaler Sentinel-Datenzentren aufgehoben werden. In Deutschland soll das über die sogenannte „Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland (CODE-DE)“, die über die DLR ausgeschrieben wurde, erfolgen. Dieses Konzept bietet enorme Chance für die Bereitstellung von Sentinel-Produkten und Diensten für die nationale Ebene. Unklar ist bei diesem Konzept zurzeit noch, welche Daten bzw. welche Datenlevel über eine solche Plattform kostenlos bereitgestellt werden und welche Daten bzw. welche Dienste eventuelle kostenpflichtig sein werden.

4) Die unmittelbare Nutzbarkeit und die Nützlichkeit der kostenfreien Produkte der Copernicus-Dienste für das Umwelt-, Klima- und Klimafolgenmonitoring auf nationaler Ebene sind (bisher) eingeschränkt.

- ▶ Zum großen Teil ist die Entwicklung der Copernicus-Dienste und -Produkte noch nicht abgeschlossen (u. a. sind Sentinel Daten noch überhaupt nicht in den Diensten berücksichtigt). Am weitesten entwickelt und für das Klimafolgenmonitoring am unmittelbarsten geeignet sind zurzeit die Produkte des Dienstes zur Landüberwachung.
- ▶ Für das Monitoring notwendige konsistente Zeitreihen liegen für die wenigsten Produkte vor. Die meisten der bis jetzt verfügbaren Copernicus-Produkte decken nur kurze Zeitreihen oder wenige Zeitpunkte ab. Außerdem ist die Konsistenz der Erhebung nicht immer gewährleistet, da die Algorithmen weiterentwickelt werden oder sich die Datengrundlage ändert.
- ▶ Eine Einschränkung ist oft die Produktqualität. So gibt es in einigen Produkten noch Datenlücken (z. B. in den HRL des Land Monitoring Service), wodurch deren Einsatz für die Nutzung (auch die Generierung von DAS-Indikatoren) eingeschränkt bleibt. Auch haben sich im Rahmen dieser Studie im praktischen Einsatz und im Vergleich mit amtlichen Produkten auf der nationalen Ebene zum Teil deutliche Abweichungen und Ungenauigkeiten gezeigt (zum Beispiel bei den Veränderungslayern der CLC-Daten, s. Kap. 3.4.1).
- ▶ Die Datenportale (vor allem die der Dienste zur Überwachung der Meeresumwelt und der Atmosphäre) sind zum Teil unübersichtlich und nicht ausreichend mit Metadaten und Information für den Anwender ausgestattet.
- ▶ Viele Produkte sind für spezifische Monitoringaufgaben auf nationaler Ebene zu generisch. Ein Grund hierfür ist die überwiegende Ausrichtung der Copernicus-Dienste an den Interessen, Bedürfnissen und Berichtsaufgaben der Europäischen Kommission. Außerdem werden stärker anwendungsbezogene Fragestellungen bewusst nicht als kostenfreie Copernicus Dienste und Produkte entwickelt, da die Kommission für solche konkrete Anwendungen einen kommerziellen Markt für Dienstleister schaffen möchte (Value adding-Services).
- ▶ Für einige Copernicus Produkte (z. B. die hochauflösenden Produkte des Dienstes zur Landüberwachung), die von kommerziellen Dienstleistern erzeugt werden, ist die Methode der Erstellung der Dienste nicht konsistent, transparent und offen. Durch die Notwendigkeit, die

⁵⁵ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/data-products>

⁵⁶ <http://step.esa.int/main/toolboxes/snap/>

Erstellung der Produkte an verschiedenen Anbieter vergeben können, entstehen räumliche und zeitliche Inkonsistenzen, die den Monitoring Ansatz erschweren.

- ▶ Generell sind die Produkte im Wesentlichen auf eine möglichst konsistente europäische Abdeckung optimiert und nicht auf spezifische nationalen Anforderungen. Zusätzlich zu den Produkten aus den Copernicus-Diensten existieren zum Teil alternative nationale Datensätze, die oft einen amtlichen Charakter haben und deshalb für nationale Monitoringaufgaben geeigneter erscheinen (z. B. das LBM-DE2012 als Alternative zu dem CLC-Datensatz aus den Produkten des Land Services). Oft enthalten aber die Copernicus-Produkte Informationen, die den nationalen Datensätzen fehlen oder diese ergänzen könnten (z. B. höhere räumliche Auflösung, vollständigere Abdeckung). Dieses Potenzial ist aber durch das unklare Verhältnis von nationalen Datensätzen zu Copernicus-Produkten oft nicht für offizielle Monitoringaufgaben nutzbar (z. B. in Bezug auf Genauigkeit, Vergleichbarkeit der Klassen).

5) Die von der Europäischen Umweltagentur (EEA) verwaltete Copernicus In situ-Komponente ist bisher noch wenig entwickelt und konzeptionell noch nicht ausdefiniert.

- ▶ Auf der Website werden nur ein Europäisches Höhenmodell in 25 m Auflösung sowie die LUCAS-Datenbank mit Stichproben zur Landnutzung in Europa aufgeführt⁵⁷.
- ▶ Der Großteil der Copernicus In situ-Daten soll durch die Zusammenführung nationaler In situ-Daten generiert werden. Bisher ist aber wenig in diese Richtung geschehen. Zurzeit ist eine Ausschreibung offen, die zum Ziel hat, die EEA in der Koordinierung der In situ-Komponente zu unterstützen⁵⁸.

6) Außerhalb von Copernicus existieren und entstehen für das Umweltmonitoring relevante Produkte. Diese können Copernicus Dienste ergänzen, doch ist deren Beziehung zu Copernicus nicht klar.

- ▶ Zu Diensten, die für ein Umweltmonitoring relevant sind, zählen u. a. die Daten der EUMETSAT Satellite Application Facilities⁵⁹ (Climate, Ocean and Sea Ice, Land Surface Analysis), die ESA Climate Change Initiative (CCI)⁶⁰ sowie die Dienste des JRC wie z. B. das European Drought Observatory⁶¹.
- ▶ Parallel zu den Entwicklungen, die innerhalb des Copernicus Programms laufen wird auch eine Vielzahl von ESA-Projekten innerhalb des „scientific exploitation of operational missions“ (SEOM)⁶² Programm gefördert. Als Beispiele für Sentinel-2-Daten seien hier der L3 processor, der monatliche wolkenfreie Komposite generiert, und der L2B processor, der entwickelt wird, um LAI, FAPAR, Chlorophyllgehalt und Wassergehalt von Vegetation abzuleiten, genannt. Weitere derartige Algorithmen sind geplant, z. B. ein crop mapping processor, ein forest mapping processor sowie ein water processor⁶³. Diese Algorithmen werden in die von der ESA entwickelte Software SNAP integriert und stehen somit einer breiten Nutzergemeinschaft zur Verfügung.

⁵⁷ <http://land.copernicus.eu/in-situ>

⁵⁸ www.eea.europa.eu/about-us/tenders/eea-idm-cei-15-008

⁵⁹ www.eumetsat.int/website/home/Satellites/GroundSegment/Safs/index.html

⁶⁰ <http://cci.esa.int/>

⁶¹ <http://edo.jrc.ec.europa.eu>

⁶² <http://seom.esa.int>

⁶³ http://seom.esa.int/landtraining2015/files/Day_2/D2P1b_LTC2015_Malik.pdf & www.jecam.org/01_ESA_Koetz_JE-CAM2015.pdf

4.1.2 Generelle Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Copernicus-Programms

Auf der Grundlage der aus den Recherchen und dem praktischen Umgang mit den Copernicus-Daten und Diensten resultierenden Erfahrungen lassen die folgenden generellen Empfehlungen für die Weiterentwicklung des Copernicus-Programms ableiten.

1) Die Bereitstellung der Sentinel Daten über das ESA Sentinel Scientific Data Hub sollte konsequent verbessert werden.

- ▶ Durch Bereitstellung einer entsprechenden Bandbreite bzw. einer erweiterten Downloadmöglichkeiten sollte der effiziente Zugang zu den Sentinel-Daten gewährleistet werden.
- ▶ Das Sentinel Scientific Data Hub sollte auch den Zugang zu älteren Daten ermöglichen.
- ▶ Die Generierung von Zeitserien könnte schon portalseitig angeboten werden.
- ▶ Auch Level 2-Daten sollten über das Portal für die Endnutzer bereitgestellt werden.
- ▶ Die Entwicklung des derzeit noch in ständiger Entwicklung befindlichen SNAP Tools sollte konsolidiert werden.
- ▶ Die verbesserte und vollständige Bereitstellung von Sentinel-Daten sollte in Zukunft auch über die nationalen Collaborative Ground Segments kostenfrei und unbeschränkt erfolgen (in Deutschland die geplante Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland (CODE-DE)).

2) Die Bereitstellung und die Dokumentation der Copernicus Dienste und Produkte über die jeweiligen Datenportale sollte verbessert werden.

- ▶ Die Datenportale der einzelnen Dienste sollten einheitlich gestaltet werden und konsistenter gegliedert werden.
- ▶ Die Auswahl der Produkte sollte klarer gegliedert werden. Das betrifft vor allem den Meeres- und den Atmosphärendienst mit jeweils über 100 verschiedenen Produkten, deren Unterschiede nicht eindeutig sind. Hier ist zu prüfen, ob Produkte nicht zusammengeführt werden können.
- ▶ Auf den Portalen sollten Einschränkungen in der Zugänglichkeit kenntlich gemacht werden (z. B. unvollständige Datenverfügbarkeit, Datenlücken, kostenfreier Zugang nur beschränkt möglich).
- ▶ Die Möglichkeit zur Generierung von Zeitserien für vom Nutzer definierte räumliche Ausschnitte zum gezielten Abruf von den Datenportalen wäre wünschenswert.
- ▶ Alle Daten sollten, wo noch nicht geschehen, mit einheitlichen Metadaten nach internationalen Standards versehen werden (OGC, ISO, INSPIRE).
- ▶ Auf den Portalen sollte auf andere existierende Dienste zu jeweils ähnlichen Themen verwiesen werden. Dabei sollten der Bezug des Copernicus-Dienstes zu diesen Diensten geklärt werden (bezüglich Datengrundlage, Methode, Zielrichtung) und Hinweise für die Anwender bezüglich der Eignung der jeweiligen Dienste für verschiedene Anwendungen gegeben werden. Zu Diensten, auf die verwiesen werden sollte, zählen u. a. die Daten der EUMETSAT Satellite Application Facilities⁶⁴ (Climate, Ocean and Sea Ice, Land Surface Analysis), die ESA Climate Change Initiative (CCI)⁶⁵, die Dienste des JRC wie z. B. das European Drought Observatory⁶⁶ sowie die ESA SEOM Entwicklungen.

⁶⁴ www.eumetsat.int/website/home/Satellites/GroundSegment/Safs/index.html

⁶⁵ <http://cci.esa.int/>

⁶⁶ <http://edo.jrc.ec.europa.eu>

3) Die Daten bzw. Produkte der Copernicus Dienste sollten transparent und unabhängig validiert werden.

- ▶ Zwar liegen für die meisten Produkte in der ein oder anderen Form Validierungen und Qualitätshinweise vor, diese folgen aber über die Dienste und z. T. über die Produkt hinweg keinen einheitlichen Standards und sind in den wenigsten Fällen von unabhängigen Stellen durchgeführt worden. Außerdem ist diese Information oft nur schwer oder gar nicht zugänglich. Viele Produkte werden außerdem bis jetzt als nicht oder nur teilweise validiert auf den Datenportals geführt (so z. B. die hochauflösenden Produkte des Dienstes zu Landbedeckung). Jedes Copernicus-Produkt sollte transparent, nach einheitlichen Standards und unabhängig validiert werden, und diese Validierung sollte entsprechend öffentlich zugänglich dokumentiert werden. Die Validierungen durch nationale Behörden für die Produkte der pan-europäischen Komponente des Landdienstes könnten hier als gutes Beispiel dienen, da sie von den Nutzern selber durchgeführt werden und so auch eine unabhängige und praxisrelevante Prüfung darstellen.
- ▶ Wo möglich und sinnvoll sollten den Daten bzw. Produkten räumlich explizite Qualitätsinformationen („Quality Flags“) zur Seite gestellt werden.
- ▶ Zielführend könnte auch sein, unabhängige und wissenschaftliche Assessment Panels zur Prüfung unterschiedlicher Datensätze einzurichten und Empfehlungen (z. B. in Form von Guidelines oder Tools) auszusprechen, welche Datensätze für welchen spezifischen Anwendungszweck am geeignetsten sind.

4) Die Weiterentwicklung der kostenfreien Copernicus-Dienste in Richtung der Auswertung konsistenter Zeitreihen für Monitoringaufgaben sollte konsequent vorangetrieben werden.

- ▶ Datenlücken sollten gefüllt werden. Für alle Copernicus-Dienste sollten neben den unmittelbar aus den Satellitendaten abgeleiteten Produkten, die i. d. R. technologisch bedingt räumliche und zeitliche Datenlücken enthalten (z. B. durch Bewölkung bei optischen Daten oder Radarschatten bei Radardaten), abgeleitete Produkte entwickelt werden, in denen dieses Datenlücken gefüllt werden. Dies kann zum Beispiel durch zeitliche oder räumliche Filterung oder Interpolation innerhalb dieser Datensätze erfolgen, aber auch durch Füllen der Datenlücken mit Daten aus anderen Datenquellen. Allerdings sollten solche Prozessierungsschritte in einem separaten Quality Layer räumlich explizit dokumentiert werden.
- ▶ Die Methoden für die Erstellung der Dienste (Algorithmen) sowie die zugrunde liegenden Datenquellen sollte über alle Zeitpunkte konsistent sein. Ändern sich die Algorithmen z. B. aufgrund von Weiterentwicklungen, sollten auch die Daten für die Vergangenheit mit den neuen Algorithmen re-prozessiert werden. Ändern sich die Datengrundlagen (z. B. durch neue Satelliten), sollte eine Interkalibrierung der Daten zueinander vorgenommen werden.
- ▶ Eine langfristige Verfügbarkeit der Daten und Produkte sollte gewährleistet werden.
- ▶ Das Potenzial von Sentinel 1 und Sentinel 2 zum Monitoring in hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung sollte konsequent genutzt werden. Dazu gehört die Entwicklung von Produkten mit 10, 20, 100 m Auflösung mit wöchentlicher, zweiwöchentlicher oder monatlicher Auflösung. In den bisherigen Konzepten werden solche zeitlich hochauflösenden Monitoringaufgaben in der globalen Komponente des Landdienstes angeboten und für diese eher mittelauflösenden Satellitendaten wie Sentinel 3 eingeplant⁶⁷.
- ▶ Für die maßgeschneiderte Berechnung von Produkten (z. B. räumlicher Ausschnitt, zeitliche Auflösung) sowie deren Weiterentwicklung sind die Möglichkeiten zur eigenen Prozessierung z. B. mit Hilfe des SNAP Tools sowohl offline (auf dem eigenen Rechner) als auch online (z. B.

⁶⁷ s. z. B. www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Land_services: „Sentinel-3, with its medium-resolution optical and thermal infrared sensors, will be of particular relevance for the global land monitoring.“

auf den Servern der ESA oder der nationalen Plattformen wie CODE-DE) weiterzuentwickeln und publik zu machen. Gute Beispiele für solche Entwicklungen ist die Erweiterung des SNAP Tools durch im Rahmen von SEOM Projekten entwickelten Algorithmen sowie das Konzept der „Thematic Exploitation Platform“⁶⁸ TEP der ESA, auf denen für bestimmte Themenbereiche Daten und Algorithmen zur Online-Prozessierung bereitgestellt werden.

5) Die Koordination und Information bezüglich der kommerziellen Value adding-Services auf europäischer Ebene sollte verbessert werden.

- ▶ Seitens Copernicus sollten klare Information vermittelt werden, welche Produkte zu welchen Fragestellungen wann genau über die Copernicus-Dienste angeboten werden. Zurzeit lässt sich dies nur indirekt über die Ausschreibungen der jeweiligen Dienste ableiten.
- ▶ Ein Informationsportal zu bestehenden Value adding-Services wäre hilfreich. Auf diesem könnten bestehende Value adding-Services gelistet werden inklusive deren Spezifikation (Status, Abdeckung, Auflösung etc.) und den entsprechenden Zugangsbedingungen (inkl. Kosten).

6) Die In situ-Komponente sollte stärker in die Copernicus Dienste integriert werden.

- ▶ Das Potenzial der Integration von In situ-Daten mit Satellitendaten sollte bei der Entwicklung und Umsetzung der Copernicus-Produkte konsequenter berücksichtigt werden.
- ▶ Die Zusammenführung von In situ-Daten auf europäischer Ebene ist hierfür sinnvoll und wünschenswert.
- ▶ Die Möglichkeit zur Schaffung von einheitlichen In situ-Daten für das Training und die Validierung von Copernicus Diensten sollte angestrebt werden.
- ▶ Es ist zu diskutieren, ob die In situ-Komponente eine eigenständige Einheit bleiben sollte oder ob einzelne In situ-Komponenten den jeweils entsprechenden Copernicus Diensten zugeordnet werden sollten.

7) Um für nationale Monitoringaufgaben unter Nutzung von Copernicus-Produkten die nötige Absicherung zu haben, sollte auf nationaler Ebene ein systematischer Vergleich und Abgleich der Copernicus-Produkte mit nationalen amtlichen Datensätzen ähnlichen Inhalts erfolgen.

- ▶ Das betrifft zum Beispiel die Produkte des Dienstes zur Landüberwachung (High Resolution Layer, Urban Atlas, Riparian Zones) im Vergleich zu Daten aus dem nationalen ATKIS Datenpools, aber auch Produkte aus dem Dienst zur Meeresumwelt (Meeresspiegel, Wassertemperatur) im Vergleich zu den Daten der BSH.
- ▶ Verglichen werden sollten die räumliche und zeitliche Auflösung, die Länge und Konsistenz der Zeitreihen sowie die gesicherte Fortschreibung der Produkte, Zugänglichkeit und Verfügbarkeit der Produkte inkl. Kosten, die Genauigkeit der Datensätze sowie die Vergleichbarkeit und Überführbarkeit der thematischen Informationen.
- ▶ Zurzeit ist ein solcher Vergleich nur eingeschränkt möglich, da in den Copernicus-Produkten die Metadateninformationen unvollständig und unzureichend sind (s. o.).
- ▶ Ideal wäre eine Art amtlicher Nutzungsempfehlung bzw. wären Aussagen zu den Einschränkungen und zum Umgang mit den Produkten seitens der jeweils zuständigen nationalen Oberbehörden. Jeder Datensatz hat seine Vor- und Nachteile (basierend auf den verwendeten Inputdaten und Modellen) und kann seine Potenziale in verschiedenen Anwendungen unter-

⁶⁸ https://earth.esa.int/documents/10174/1157689/TEP_RFI

schiedlich gut ausspielen. Dies muss für den Nutzer durch die Copernicus-Dienste transparent und klar dokumentiert werden. Copernicus sollte für seine Dienste eine solche Bewertung unterschiedlicher Datensätze vornehmen und diese nicht dem Nutzer überlassen.

8) Das erfolgreiche Konzept der nationalen Fachkoordinatoren sollte weitergeführt werden.

- ▶ Die nationalen Fachkoordinatoren könnten in Kooperation mit den jeweiligen Bundesoberbehörden eine Einschätzung zur Nutzbarkeit der einzelnen Copernicus-Produkte für nationale Zwecke und zu deren Beziehung zu existierenden nationalen Datensätzen anbieten (vgl. Empfehlung 7).
- ▶ In Zukunft könnte der Sammlung von Anforderungen an Produkte für die nationale und subnationale Ebene sowie der Koordination der Entwicklung solcher Produkte eine wichtigere Rolle im Aufgabenbereich der nationalen Fachkoordinatoren zukommen.
- ▶ Von Interesse wären dabei insbesondere Produkte, die für mehrere Themenbereiche sowie für Bund und Länder relevant sind. Dabei sollten sowohl das Potenzial für die Weiterentwicklung der kostenfreien Copernicus-Produkte wie auch die Möglichkeiten für die koordinierte und möglicherweise kofinanzierte Entwicklung von bundesweiten Value adding-Services, die dann für die Nutzer offen und kostenlos zu Verfügung stehen, in Betracht gezogen werden.
- ▶ Mit der neu zu errichtenden Copernicus Data and Exploitation Platform – Deutschland (CODE-DE) angeboten würde sich eine Möglichkeit zur Umsetzung und Verbreitung von solchen nationalen Diensten bieten. Bei der Entwicklung dieser Plattform und ihre Inhalte sollten die Fachkoordinatoren entsprechend eingebunden werden.

4.2 Ansätze zur Weiterentwicklung der einzelnen Copernicus-Dienste und -Produkte

Im folgenden Kapitel werden die im Rahmen des Vorhabens identifizierten Weiterentwicklungsmöglichkeiten für die Dienste zur Landüberwachung, zur Überwachung der Atmosphäre, zur Überwachung der Meeresumwelt sowie für den Katastrophen- und Krisenmanagementdienst im Überblick zusammenfasst. Die Vorschläge sind aus dem Interesse eines nationalen Umweltmonitorings heraus formuliert. Da aktuell keine klare Trennlinie zwischen den Inhalten der kostenfreien Copernicus Dienste und den möglichen Inhalten kommerzieller Value adding-Services gezogen werden kann, werden hier auch Vorschläge unterbreitet, die eher in die letztgenannte Kategorie fallen.

4.2.1 Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Landüberwachung

Generell sind die Produkte des Dienstes zur Landüberwachung von allen im Rahmen dieser Studie untersuchten Diensten die am weitesten entwickelten und für das Klima- und Klimafolgenmonitoring von hoher Relevanz. Entsprechend beziehen sich die meisten Fälle, in denen eine Verwendung von Copernicus-Produkten für die Erstellung von DAS-Indikatoren vielversprechend erscheint, auf diesen Dienst.

4.2.1.1 Ansätze zur Weiterentwicklung der globalen Komponente

- ▶ Für die globale Komponente sollten in Zukunft konsequent Sentinel-Daten berücksichtigt werden. Dabei sollte nicht nur auf Daten in mittlerer Auflösung (Sentinel-3-Daten) zurückgegriffen werden, sondern auch die Verwendung der hochauflösenden Daten von Sentinel-1 und 2 angestrebt werden. Die Abgrenzung zur pan-europäischen Komponente müsste in diesem Fall diskutiert werden.
- ▶ Für die Weiterverarbeitung der Produkte der globalen Komponente in Richtung Monitoring könnten Tools zur Auswertung von Zeitserien bereitgestellt werden. Mit solchen Tools könn-

ten zum Beispiel Trends oder Anomalien der zeitlich hochauflösenden Parameter aus der globalen Komponente bestimmt werden (z. B. für NDVI, LAI etc.). Solche Tools werden bereits in ähnlich Diensten (z. B. ESA CCI) online zu Verfügung gestellt.

- ▶ Für die verbesserte Nutzung des Soil Water Index für das Umweltmonitoring ist die Erweiterung der Produktpalette, wie sie von der TU Wien erstellt wurde (s. Kap. 3.4.2) zu prüfen. Außerdem könnte mit Hilfe von Sentinel 1 die Auflösung des Soil Water Index erhöht werden (auf 1 km oder sogar 100 m).

4.2.1.2 Ansätze zur Weiterentwicklung der pan-europäischen Komponente

Generelle Vorschläge für die pan-europäische Komponente sind:

- ▶ Mindestens mittelfristig sollte die Konsistenz der Landbedeckungsinformation aller Datensätze der pan-europäischen und der lokalen Komponente gewährleistet werden. Bisher enthalten die unterschiedlichen Datensätze (CLC, High Resolution Layer, lokale Komponente) mit unterschiedlichen Methoden erzeugte Informationen, die zwar komplementär angelegt sind, aber doch Informationen zu den gleichen Landbedeckungsklassen enthalten. Diese Informationen sind bisher nicht konsistent.
- ▶ Eine weitere Harmonisierung der unterschiedlichen Landnutzungsdatensätze (CLC, HRL) mit nationalen Datensätzen ist für nationale Monitoringaufgaben unerlässlich. Hierzu sind die Vorschläge der EAGLE-Initiative⁶⁹ unter Schirmherrschaft der EEA sehr hilfreich. Diese Initiative hat sich zum Ziel gesetzt, Methoden und Tools zur Harmonisierung solcher Datensätze zu entwickeln.
- ▶ Hierzu gehören auch eine unabhängige Validierung sowie eine Überprüfung der Konsistenz der Copernicus-Produkte mit anderen offiziellen Datensätzen auf nationaler Ebene (z. B. ATKIS-DLM, LBM-DE 2012). Eine entsprechende Angabe über die Genauigkeit der Übereinstimmung sollte angestrebt werden.
- ▶ Eine schnellere Bereitstellung der Produkte der hochauflösenden Landbedeckungskarten (HRL) und der CORINE-Daten sollte gewährleistet werden. Aktuell werden die Datensätze drei Jahre nach dem Stichjahr der Kartierung bereitgestellt.
- ▶ Für die HRL sollte die Berechnung von Veränderungen zwischen zwei Zeitscheiben in allen thematischen Layern konsistent erfolgen. Methodisch sollte dabei auf eine Konsistenz sowohl zwischen den Zeitscheiben als auch zwischen den räumlichen Auflösungen (20 m, 100 m) geachtet werden. Das bisher z. B. für den HRL Layer Imperviousness verwendete Verfahren, den 100 m Layer eines Stichjahrs durch ein Addieren der Veränderungen gegenüber dem vorigen Stichjahr zu erzeugen und nicht direkt aus dem 20 m Produkt des jeweiligen Stichjahres, bringt Inkonsistenzen zwischen den 20 m und dem 100 m Produkt mit sich, die sich mit der Zeit zu einem größeren Fehler akkumulieren würden.
- ▶ Die Verwendung einer einheitlichen Methodik für die HRL Layer über mehrere Zeitscheiben sollte für die Zukunft gesichert werden. Das ist bis jetzt nicht der Fall, da bei den entsprechenden Ausschreibungen nicht die Methodik definiert wird, sondern nur die technischen Spezifikationen vorgegeben sind. Die Methodik bleibt Eigentum des Dienstleisters und ist nicht transparent. Da die Erstellung der Datensätze jeweils alle drei bis sechs Jahre neu ausgeschrieben wird, ist keine methodische Konsistenz gewährleistet. Hier könnte zum Beispiel eine Offenlegung der Methoden Konsistenz schaffen.

Vorschläge für einzelne Dienste der pan-europäischen Komponente sind:

⁶⁹ <http://land.copernicus.eu/eagle/>

- ▶ HRL Forest: Eine Unterscheidung von Baumarten bzw. Waldtypen innerhalb des Forest Layers wäre wünschenswert und wird von vielen Nutzern aus dem forstlichen Bereich gefordert. Mit Blick auf die bundesweiten DAS-Indikatoren ist diese Forderung insofern von geringerer Relevanz, als die Daten der Bundeswaldinventur eine hervorragende Grundlage für statistische Auswertungen liefern und auf Bundesebene dies auch für die Zwischeninventuren (Kohlenstoffinventur) gilt (auf Länderebene gilt dies nicht, da die Kohlenstoffinventur auf einem ausgedünnten Stichprobennetz basiert, das i. d. R. keine statistisch abgesicherten Aussagen auf Landesebene ermöglicht).
- ▶ HRL Imperviousness: Datenlücken durch Bewölkung in den aktuellen Datensätzen sollten beseitigt werden. Auch sollten die Inkonsistenzen zwischen dem 20 m Datensatz und dem 100 m Datensatz über die Berücksichtigung des Veränderungslayers bereinigt werden (s. o.).
- ▶ HRL Layer Grassland: Hier sollte eine möglichst weitgehende Differenzierung der unterschiedlichen Grünlandtypen angestrebt werden. Zumindest sollte eine Unterscheidung zwischen intensiver genutztem Wirtschaftsgrünland und naturnahem Grünland möglich sein.
- ▶ Es fehlt zudem ein hochauflösender Dienst zum Thema Ackerflächen inklusive einer möglichen Klassifizierung der Fruchtarten bzw. Fruchtfolgen. Dies wäre mit Blick auf die DAS-Indikatoren insofern von Bedeutung, als vor allem neu eingeführte oder sich im Anbau ausweitende wärmeliebende Kulturen in der Agrarstatistik (Bodennutzungshaupterhebung) noch nicht erfasst werden.
- ▶ Die Berücksichtigung von linearen Landschaftselementen (Hecken), wie sie im „Riparian Layer“ realisiert wurde, wäre auch außerhalb der Flussräume von Interesse (interessant aus naturschutzfachlicher Sicht sowie als Beitrag zu einem DAS-Indikator zum Thema Erosion und Erosionsschutz).

Für die pan-europäische Komponente könnten außerdem neue Monitoringprodukte in hoher räumlicher Auflösung entwickelt werden. Dies wäre durch die konsequente Nutzung der hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung von Sentinel 1 und 2 (10 m, 20 m, 100 m; wöchentlich, zwei-wöchentlich, monatlich) zumindest für die pan-europäische Komponente möglich. Solche Dienste würden das Potenzial für ein echtes Monitoring (nicht nur ein drei- bis sechs-jähriges Mapping), das in den Sentinel Daten steckt, erst wirklich ausnutzen. Zu diskutieren wären dabei, ob solche Produkte nicht auch für die globale Skala interessant und realisierbar wären. Zum Beispiel wären für das Klimafolgenmonitoring von großem Interesse:

- ▶ Dienst zu Binnengewässern: Relevant wären hier ähnliche Parameter, wie sie im Dienst zur Meeresumwelt bereits enthalten sind (u. a. Oberflächentemperatur, Eisbedeckung, Wasserstand, Trübung, Schwebstoffe, Chlorophyllgehalt, Blaualgenbelastung). Hier existieren bereits Projekte, die die Machbarkeit demonstrieren (FRESHMON, CyanoLakes, Water Quality Monitoring von EOMAP) (vgl. Kap. 3.4.4),
- ▶ Dienst zur Schneebedeckung in hoher Auflösung: Auch hierzu existieren bereits Pilotstudien (CryoLand, EURAC-Produkt) (s. Kap. 3.4.6),
- ▶ Dienst zum Vegetationsmonitoring in hoher räumlicher Auflösung: Ein solcher Dienst könnte – ähnlich den mittelauflösenden Produkten in der globalen Komponente des Dienstes zur Landüberwachung – z. B. Zeiterien für NDVI, LAI und abgeleitete Produkte wie „Beginn der Wachstumsperiode“ bzw. Phänologie bereitstellen.
- ▶ Dienst zu Bodenfeuchte: Erstrebenswert wären hier Aussagen zur oberen Bodenschicht für Grünland und Ackerflächen aus Sentinel 1-Daten (s. Kap. 3.4.2). Aus der Kombination von Vegetationsparametern (s. vorangehender Punkt) und der Bodenfeuchte könnten die landwirtschaftliche Flächen mit Bewässerung identifiziert werden,

- ▶ Waldveränderungsprodukte mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung: Solche Produkte könnten Veränderungen durch Schadereignisse (Windwurf), aber auch durch Nutzungen detektieren und abgrenzen helfen.
- ▶ Produkt zu Wattflächen und deren Dynamik: Die Ableitung eines solchen Produkts wäre aus multi-temporalen hochauflösenden Sentinel-Daten möglich und wünschenswert.

4.2.1.3 Ansätze zur Weiterentwicklung der lokalen Komponente

Die lokale Komponente hat sich im Rahmen dieser Studie aufgrund ihrer hohen räumlichen und thematischen Auflösung als ergänzende Information zu den verfügbaren Datengrundlagen auf nationaler Ebene und damit als besonders geeignet für die Ergänzung von DAS-Indikatoren erwiesen. Mit Blick auf diese Potenziale einer Ergänzung ergeben sich auch in diesem Falle Verbesserungsmöglichkeiten, insbesondere in der Abstimmung mit nationalen Datensätzen:

- ▶ Der Datensatz „Riparian Zones“ sollte auf nationaler Ebene mit amtlichen Datensätzen zum Beispiel zu Hochwasserrisikogebieten gemäß der HWRM-RL oder mit der Auenabgrenzung des Auenzustandsbericht abgestimmt werden (s. Abbildung 15).
- ▶ Die thematischen Klassen im „Urban Atlas“ sollte mit den ATKIS Klassen abgestimmt werden.
- ▶ Die Möglichkeiten der Fernerkundung zur Unterstützung des Natura2000-Monitorings sind weiterzuentwickeln. Generell können die Copernicus-Daten und -Dienste sowohl für die Kartierung von Natura2000-Flächen eingesetzt werden als auch für das Monitoring des Erhaltungszustands. Hierzu liefen bereits zwei EU-FP7 Projekte (MS-MONINA⁷⁰ und BIO-SOS⁷¹) wichtige Hinweise.

4.2.2 Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre

Generell ist durch die Mitwirkung des DWD an der Entwicklung des Copernicus-Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre eine hervorragende Vertretung der Interessen von nationalen Monitoringaufgaben gewährleistet. Dieser Dienst ist für das allgemeine Umweltmonitoring sehr relevant. Für das Klimafolgenmonitoring im Sinne der DAS (nur Berücksichtigung der Impact und Response-Ebene) kommen allerdings nur wenige Parameter in Betracht (s. auch Kap. 3.2, insbesondere Tabelle 5). Dennoch sollen auch hier einige Empfehlungen ausgesprochen werden.

- ▶ Die Präsentation der Produkte über das Datenportal des Dienstes zur Überwachung der Atmosphäre ist verbesserungsfähig. Das betrifft u. a. bessere Metainformationen zu den Daten, Informationen zu zeitlichen Abdeckung und der räumlichen Auflösung sowie eine bessere Übersicht über die derzeit 162 Produkte. Außerdem sollten klare Angaben zu Datenverfügbarkeit gemacht werden. Zum Teil sind die Daten nur eingeschränkt frei verfügbar, und es wird auf kostenpflichtige Dienste verwiesen (z. B. für den Parameter Globalstrahlung).
- ▶ Es sollte ein klarer Bezug zu den außerhalb von Copernicus existierenden Atmosphären-Diensten hergestellt werden, insbesondere zu den Diensten der EUMETSAT Satellite Application Facility on Climate Monitoring, in die auch der DWD aktiv involviert ist. Hier sind teilweise für ähnliche oder gleiche Parameter bereits Datensätze vorhanden.
- ▶ Für die Globalstrahlung sollte der Globalstrahlungsdatensatz SARA von EUMETSAT CM SAF (Satellite Application Facility on Climate Monitoring) in den Copernicus-Dienst integriert werden (s. Kap. 3.4.5).

⁷⁰ www.ms-monina.eu/

⁷¹ www.biosos.eu/

- ▶ Die Möglichkeiten zur Weiterentwicklung von Diensten Produkten zum Monitoring von bodennahen Schadstoffkonzentrationen (PM₁₀, und PM_{2,5}, OzonO₃, SO₂, NO_x, NH₃, N₂O, CO, CO₂ etc.) sind zu prüfen.

4.2.3 Ansätze zur Weiterentwicklung des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt

Die bisherigen Produkte des Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt sind zum großen Teil modellgestützt. Satelliteninformationen fließen nur mittelbar ein und betreffen hauptsächlich die Oberflächentemperatur des Meeres, die Meereshöhe, die Meereisbedeckung und die Meeresfarbe.

Generell ist durch die Mitwirkung des BSH an der Entwicklung des Copernicus Dienstes zur Überwachung der Meeresumwelt eine hervorragende Vertretung der Interessen von nationalen Monitoringaufgaben gewährleistet. Viele der national verfügbaren Produkte werden bereits mit Hilfe von Satellitendaten abgeleitet (z. B. die Bestimmung der Meeresoberflächentemperatur). Da die für das Monitoring im Rahmen der DAS relevanten Indikatoren zur Meeresumwelt direkt über das BSH bereitgestellt werden, ist hier aus nationaler Sicht wenig Verbesserungsbedarf abzuleiten. Vorschläge betreffen deshalb eher die allgemeine Präsentation der Daten auf dem Datenportal. Auch hier gilt, dass

- ▶ eine bessere Übersicht, Auswahl und Beschreibung der derzeit 140 Produkte anzustreben ist,
- ▶ für alle Produkte Metadaten und eine Dokumentation der Produkte öffentlich verfügbar sein sollte.

Mit der Verfügbarkeit der Sentinel-Daten könnte auch im Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt die Integration von Satellitendaten konsequent verbessert werden. Das betrifft unter anderem:

- ▶ die Weiterentwicklung der Altimetrie-Produkte mit Hilfe von Sentinel 3 und Sentinel 6 (s. Kap. 3.5.1),
- ▶ die Weiterentwicklung von Produkten zu Chlorophyllgehalt, Meeresalgen, und Cyanobakterien, Sedimentfrachten (suspended matter) und Trübung die vor allem aus optischen Daten gewonnen werden. Hier könnten auch hochauflösende Produkte aus Sentinel 2-Daten von Interesse sein.

4.2.4 Ansätze zur Weiterentwicklung des Katastrophen- und Krisenmanagementdienstes

Produkte aus dem Katastrophen- und Krisenmanagementdienst sind derzeit für die Generierung von DAS-Indikatoren (noch) nicht geeignet, obwohl es thematisch große Schnittstellen mit Anpassungsthemen gibt. Die Mapping Komponente könnte für die DAS von Interesse sein, da dieser Teil des Dienstes Daten zu Katastrophenereignissen (Naturkatastrophen und menschengemachten Katastrophen, insbesondere Hochwasserereignissen) bereitstellt. Der Rapid Mapping Service (s. Kap. 2.2.4.5), der für die Generierung von DAS-Indikatoren am relevantesten erscheint, wird allerdings derzeit nur auf Anfrage von sogenannten autorisierten Nutzern (z. B. nationalen Behörden wie dem Zivilschutz) in Gang gesetzt. Für ein kontinuierliches Monitoring aller Katastrophen- und speziell von Hochwasserereignissen ist er unter diesen Bedingungen nicht nutzbar. Weniger relevant mit Blick auf die DAS-Indikatoren ist die Frühwarnkomponente des Dienstes.

Grundsätzlich sind mit Blick auf die DAS-Indikatoren zwei Einsatzmöglichkeiten denkbar:

- ▶ Aus der Einsatzhäufigkeit des Dienstes ließen sich Rückschlüsse auf die Häufigkeit des Eintretens von Katastrophenereignissen ziehen. Ein entsprechender Indikator wäre für das DAS-Handlungsfeld Bevölkerungsschutz denkbar. Voraussetzung wäre aber auch für einen sol-

chen Indikator, dass der Dienst im Sinne eines kontinuierlichen Monitorings aller Katastrophen- und speziell aller Hochwasserereignisse aktiviert wird. Möglicherweise müssten für eine solche kontinuierliche Erfassung dann aber Schwellenwerte festgelegt werden (z. B. ab welcher Ausdehnung eines Hochwassers wird ein Hochwasserereignis festgestellt?).

- ▶ Mit Blick auf die beiden Indikatoren WW-I-3 (Hochwasser) und WW-I-10 (Intensität von Sturmfluten) wäre es interessant, neben der bisher in den Indikatoren abgebildeten Häufigkeit des Auftretens auch Aussagen zur Ausdehnung von Hochwasser (Überschwemmungsflächen) treffen zu können. Entsprechend könnten Kartenprodukte zu nicht-permanenten Überschwemmungsflächen unter Nutzung von Satellitendaten, insbesondere Radardaten, aus dem Copernicus-Programm entwickelt werden. Ähnliche Produkte auf globaler Ebene existieren bereits oder sind in Entwicklung (z. B. Global Flood Detection System⁷², Real-time Integrated Global Flood Map⁷³, Global Flood Monitoring System⁷⁴, Global Flood Alert System⁷⁵). Sie basieren aber größtenteils auf Modellannahmen (über Niederschlagswerte) und bilden nicht die tatsächlichen Überschwemmungsflächen ab.

4.3 Vorschläge für den Dienst zur Überwachung des Klimawandels

Der Dienst zur Überwachung des Klimawandels (Climate Change Service - auch C3S) ist als Querschnittsdienst angelegt und befindet sich noch in der Aufbauphase. Bis jetzt ist das Konzept sehr breit und offen angelegt. Dies bietet einerseits Raum für Vorschläge, andererseits erschwert es die Formulierung von konkreten Ansprüchen oder Verbesserungsvorschlägen. Auf diese Schwierigkeit wurde u. a. auch von dem Teilnehmer des Nationalen Forums für Fernerkundung und Copernicus 2015 hingewiesen.

Speziell für die Indikatoren der DAS ist der Klimateil des Dienstes weniger relevant, da die DAS-Indikatoren sich auf die Impact- und Response-Ebene beschränken. Allerdings können die durch diesen Dienst bereitgestellten Klimadaten einen wichtigen Input für die Modellierung von Klimafolgen darstellen.

Generell ist durch die Mitwirkung des DWD an der Entwicklung des Copernicus-Dienstes zur Überwachung des Klimawandels eine hervorragende Vertretung der Interessen von nationalen Monitoringaufgaben gewährleistet. Anhand des sich bisher abzeichnenden Konzepts lassen sich aus Sicht der Autoren folgende Bemerkungen und Empfehlungen ableiten:

- ▶ Positiv und essentiell für Monitoringaufgaben ist der Anspruch des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels, sich einer „klimatologischen Herangehensweise“ im Sinne der Generierung von langfristigen, qualitätsgesicherten Zeitserien einzelner Parameter zu bedienen. Eine solche Herangehensweise könnte z. B. den Standards der „Thematic Climate Data Records“ (TCDR)⁷⁶ folgen. Diese Herangehensweise ist in den anderen Diensten bisher nicht realisiert.
- ▶ Auch der Bezug zu den international abgestimmten „Essential Climate Variables“ (ECVs)⁷⁷ und der Anspruch, dass bis 2020 bis zu 30 dieser ECVs innerhalb des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels abgedeckt werden sollen, ist zu begrüßen.

⁷² www.gdacs.org/flooddetection/

⁷³ <http://dma.jrc.it/map/?application=FLOODS>

⁷⁴ <http://flood.umd.edu/>

⁷⁵ <http://gfas.internationalfloodnetwork.org/n-gfas-web/PC/frmMain.aspx>

⁷⁶ Siehe z.B. Erläuterung auf <http://ecv-inventory.com/ecv2/terminology/>

⁷⁷ <http://ecv-inventory.com/ecv2/>

- ▶ Da die ECVs aber auch Variablen zu Themenbereichen abdecken, die in den Bereich anderer Dienste fallen (z. B. Dienst zur Landüberwachung: Bodenfeuchte, Gletscher, Vegetationsparameter; Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt: Salzgehalte der Ozeane; Dienst zur Überwachung der Atmosphäre: Aerosole) sollte geklärt werden, welcher Bezug zu den anderen Diensten besteht.
- ▶ Generell wäre denkbar, dass der Dienst zur Überwachung des Klimawandels eine Rolle als „Metaservice“ einnimmt, der für das Klima(folgen-)monitoring relevante Daten und Produkte der anderen Services zusammenführt und in konsistente Zeitserien überführt. Umgekehrt könnte der C3S Service auch eine die anderen Dienste unterstützende Rolle einnehmen.

Bezogen auf die im Folgenden genannten drei Hauptsäulen (der insgesamt vier Säulen⁷⁸) des Dienstes zur Überwachung des Klimawandels lassen sich folgende Empfehlungen formulieren:

Mit Blick auf die Klimadaten (Säule 1 „Climate Data Store“):

- ▶ Eine klare Bezugnahme zu existierenden Initiativen zur Bereitstellung von konsistenten Klimadaten (z. B. Climate SAF) und Klimaszenarien (z. B. EURO-CORDEX) sollte vorgenommen werden.
- ▶ Ebenso sollte ein klarere Bezug zu existierenden nationalen Datenportalen (wie z. B. dem DWD Klimaatlas⁷⁹) hergestellt werden.
- ▶ Dem Nutzer sollte es ermöglicht werden, für seine Zwecke räumliche und zeitliche Ausschnitte der Klimaparameter zu bilden.
- ▶ Bezüglich der Klimaszenarien sollte die Auswertung von Klimaensembles unterstützt werden (z. B. durch statistische Auswertungen wie Perzentile und Mittelwerte).
- ▶ Für die nationale Ebene wären Bias-korrigierte regionale Klimaszenarien wünschenswert.

Mit Blick auf die Rolle als sektoraler Informationsdienst (Säule 2 „Sectoral Information System“):

- ▶ Hier ist insgesamt die Ausrichtung noch zu unklar, um konkrete Vorschläge unterbreiten zu können. Offen ist vor allem, wie weit die Informationen für die einzelnen Sektoren gehen sollen: Geht es nur Klimainformationen, die für einen bestimmten Sektor relevant sind (z. B. Trockenperioden für Landwirtschaft), oder auch um Auswirkungen (z. B. Wirkung von Trockenperioden auf den Ertrag in der Landwirtschaft) oder sogar um eine Empfehlung von Anpassungsmaßnahmen (z. B. bevorzugte Nutzung trockenheitstoleranter Sorten). Vor allem wenn die Informationen über Klimaparameter hinausgehen sollten, wären klare Bezüge zu anderen Europäischen Initiativen erforderlich, die sich mit dem Thema Klimawirkung und Klimaanpassung beschäftigen, so z. B. den Indikatoren der Europäischen Umweltbehörde (EEA) zum Thema Klimawandel⁸⁰ oder der Europäischen Plattform Climate Adapt⁸¹. Insofern lautet die wichtigste Empfehlung zum jetzigen Zeitpunkt, eine Abstimmung auf europäischer und nationaler Ebene dahingehend herbeizuführen, welche Institutionen welche Art von Diensten anbieten sollen.
- ▶ Sinnvoll aus Sicht der Autoren wäre für eine erste Phase die Konzentration auf Klimaparameter bzw. Klimaindizes aus der ersten Säule 1 sowie auf Parameter, die sich direkt aus den anderen Copernicus-Diensten ableiten lassen (z. B. Vegetationsparameter wie der LAI). Wenn für

⁷⁸ Zur 4. Säule „Outreach and Dissemination“ werden hier keine Aussagen getroffen.

⁷⁹ www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html

⁸⁰ www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012

⁸¹ <http://climate-adapt.eea.europa.eu/>

solche Parameter dann qualitätsgesicherte und konsistente Zeitreihen angeboten werden, wäre das auch für das nationale Umweltmonitoring eine große Hilfe.

- ▶ Zurzeit sind laut Webseite sieben Testanwendungen für die sektoralen Dienste geplant (zwei für den Wassersektor, zwei für Energie, einer für Versicherungen, einer für Landwirtschaft und einer für Infrastruktur und Gesundheit)⁸². Diese sind gerade in der Entwicklung und haben Pilotcharakter. Daher kann zurzeit noch nicht eingeschätzt werden, inwieweit solche Dienste für das Umweltmonitoring tatsächlich hilfreich und sinnvoll sind.

Mit Blick auf die Evaluation und Qualitätskontrolle (Säule 3 „Evaluation and Quality Control“):

- ▶ Es sind konsistente Zeitreihen von für das Klimafolgenmonitoring relevanten Parameter der Dienste Land, Meer und Atmosphäre zu schaffen.

Für alle Säulen gilt, dass die angebotenen Dienste in Zusammenarbeit mit Nutzern entwickelt werden sollten. Dazu gibt es zahlreiche Aufrufe⁸³. Auf nationaler Ebene kommt hier wiederum den Fachkoordinatoren eine wichtige Rolle zu.

4.4 Weiterentwicklung der Sentinel Satelliten

Für die Sentinel-Satelliten innerhalb des Copernicus-Programms ist in erster Linie Kontinuität erwünscht, um ein wirkliches Langzeitmonitoring zu ermöglichen. Das heißt, zukünftige Satelliten sollten die genau gleichen Charakteristika aufweisen wie die aktuelle Generation.

Zusätzliche optische Sensoren, die für das Umweltmonitoring von Interesse wären, sind:

- ▶ Hyperspektralsensoren, wie sie beispielsweise in der EnMAP⁸⁴-Mission geplant sind, könnten vor allem das Vegetations- und Gewässermonitoring verbessern. Indikatoren wie z. B. die Konzentration von Cyanobakterien ließen sich auf der Grundlage dieser Sensoren generieren;
- ▶ hochauflösende Thermalsensoren, die bisher in noch keiner europäischen Mission geplant sind, wären für das Umweltmonitoring von großem Interesse. Damit könnten die Oberflächentemperaturen von Land- und Wasserflächen genauer bestimmt, Hitzeeffekte in Städten besser analysiert sowie die Ableitung der Bodenfeuchte (in Kombination mit Radardaten) verbessert werden;
- ▶ LIDAR-Daten von Satellitenmissionen wären u. a. für ein Monitoring von Gewässerständen interessant.

Mit Blick auf die Radar-Satelliten und deren Aufnahmetechnik könnten folgende Entwicklungen die Möglichkeiten des Umweltmonitoring erweitern:

- ▶ eine Entwicklung in Richtung multi-band Radar Konstellationen (X, C, L und P Band). Dies könnte zum Beispiel über „companion“-Satelliten realisiert werden (s. u.). Unter anderem würde die Messung der Bodenfeuchte von der höheren Eindringtiefe des L und P Band profitieren;
- ▶ die Erweiterung der Aufnahmetechnik von Sentinel-1 von teil-polarimetrisch (dual mode VV, VH) zu voll-polarimetrisch unter Beibehaltung der Aufnahmebreite.

Wichtig wäre in Zukunft zudem eine bessere Abstimmung zwischen den ESA-Satelliten und den Satelliten anderer Satellitenbetreiber. Das betrifft einheitliche Referenzsysteme sowie die Entwicklung von Tools für die Erstellung von konsistenten multi-sensor Produkten. Ein gutes Beispiel ist hier die

⁸² <http://climate.copernicus.eu/news-and-media/news/new-sectoral-information-system-projects-contributing-c3s>

⁸³ z. B. <https://ec.europa.eu/eusurvey/runner/CopernicusServiceInformation5>

⁸⁴ www.enmap.org/

Synergie des amerikanischen Landsat Satelliten mit den Sentinel Satelliten. Aber auch die Abstimmung der geplanten nächsten Generation der deutschen RapidEye Satelliten kann als Beispiel genannt werden. Diese sollen die gleichen spektralen Charakteristiken wie Sentinel-2 aufweisen, aber mit 4 m statt mit 10 m Auflösung aufnehmen.

Generell gibt es bei der Weiterentwicklung von Satellitenmissionen einen Trend in Richtung sogenannter „companion“-Satelliten, die bestehende Missionen um weitere, oft eher kleine und kostengünstige Satelliten mit zusätzlichen Sensoren erweitern. Die so entstehenden Konstellationen erschließen neue Möglichkeiten zur Erdbeobachtung. Auch diese Entwicklung sollte für die nächste Generation der Sentinel-Satelliten berücksichtigt werden.

5 Literaturverzeichnis

- BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit & BfN – Bundesamt für Naturschutz 2009: Auenzustandsbericht – Flussauen in Deutschland. Berlin und Bonn, 25 S.
- BMVI – Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2015: KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland. Abschlussbericht des BMVI - Fachliche Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen des Forschungsprogramms KLIWAS. Rostock, 111 S.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft (Hrsg.) 2015: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland - unter Verwendung von Daten der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) (Stand: Dezember 2015). Online unter: www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Zeitreihen/zeitreihen.html (Abruf: 25.02.2016)
- Dijkstra L., Poelman H. 2012: Cities in Europe – The new OECD-EC Definition. In: EC – European Commission, Regional Focus (RF) 01/2012, 16 S.
- EEA – European Environment Agency (Hrsg.) 2015: RZ Product Specifications – short version. EEA, Kopenhagen, 22 Seiten.
- European Parliament (Directorate General for Internal Policies, Policy Department A - Economic and Scientific Policy) 2015: Space Market Uptake in Europe - Analytical Study, Brussels, 102 S.
- Felder M., Peter Bickel P., Nieder T. 2015: Hochrechnung der jährlichen physikalischen Solarstrom-Produktion. 30. Symposium Photovoltaische Solarenergie, Bad Staffelstein 04.-06. März 2015.
- Gunreben M., Dahlmann I., Frie B., Hensel R., Penn-Bressel G., Dosch F. 2007: Die Erhebung eines bundesweiten Indikators Bodenversiegelung. In: Bodenschutz 2: 34-38. www.BODENSCHUTZdigital.de/ZBOS.02.2007.034
- Heege T., Schenk K., Klinger P., Broszeit A., Wenzel J., Kiselev V. 2015: Monitoring status and trends of water quality in inland waters using earth observation technologies. 2015 UNESCO-IHP European Regional Consultation Meeting, 4 p.
- Langanke T. 2015: GIO land (GMES/Copernicus initial operations land) High Resolution Layers (HRLs) – summary of product specifications. Veröffentlicht durch das GIO land team an der EUA, 14 Seiten. Online unter: https://cws-download.eea.europa.eu/pan-european/hrl/HRL_Summary_for_publication_v11.pdf (Abruf: 26.02.2016)
- Matthews M.W. & Bernard S. 2015: Eutrophication and cyanobacteria in South Africa's standing water bodies: A view from space. South African Journal of Science, Volume 111, Number 5/6. www.sajs.co.za/sites/default/files/publications/pdf/SAJS%20111_5-6_Matthews_Research%20Article.pdf
- Müller R., Pfeifroth U., Träger-Chatterjee C., Trentmann J., Cremer R. 2015: Digging the METEOSAT Treasure – 3 Decades of Solar Surface Radiation. Remote Sens., 7, 8067-8101.
- Schönthaler K., Andrian-Werburg von S., van Rühl P., Hempen S. (Ed.) 2015: Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel - Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung. Herausgegeben vom Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 258 S.
- Schönthaler K. & Andrian-Werburg von S. 2015: Evaluierung der DAS – Berichterstattung und Schließung von Indikatorenlücken. Umweltbundesamt Climate Change 13/2015, Dessau-Roßlau, 98 S.

Siedentop S., Heiland S., Lehmann I., Hernig A., Schauerte-Lüke N. 2007: Nachhaltigkeitsbarometer Fläche – Regionale Schlüsselindikatoren nachhaltiger Flächennutzung für die Fortschrittsberichte der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie – Flächenziele. In: BMVBS – Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung & BBR – Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.): Forschungen Heft 130; Bonn, 178 S.

UBA – Umweltbundesamt 2003: Empfehlung zum Schutz von Badenden vor Cyanobakterien-Toxinen. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2003 46: 530-538. www.umweltbundesamt.de/gesundheit/publikationen/cyanotoxine.pdf