

Iris Ehlert & Christian Schweitzer (Hrsg.)

Copernicus für das Umweltmonitoring





Eine Einführung



Das nationale Copernicus-Fachnetzwerk

Delegationsleitung

Vertretung

 BMVI Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur	 Christiane Hohmeister christiane.hohmeister@bmvi.bund.de +49 (0) 228 99 300 6224	 DLR	 Dr. Jörn Hoffmann joern.hoffmann@dlr.de +49 (0) 228 447 269
--	---	--	--

Fachkoordinationsteams

Behörde	Fachkoordinator*in	Vertretung
 BKG Landoberflächen	 Dr. Michael Hovenbitzer michael.hovenbitzer@bkg.bund.de +49 (0) 69 6333 440	 Sylvia Seissiger sylvia.seissiger@bkg.bund.de +49 (0) 69 6333 481
 UBA Landoberflächen	 Dr. Thomas Schultz-Krutisch thomas.schultz-krutisch@uba.de +49 (0) 340 2103 2631	 Dr. Christian Schweitzer christian.schweitzer@uba.de +49 (0) 340 2103 2624
 BSH Meeresumwelt	 Dr. Bernd Brügge bernd.bruegge@bsh.de +49 (0) 40 3190 3000	 Dr. Iris Ehlert iris.ehlert@bsh.de +49 (0) 40 3190 3184
 DWD Klima + Atmosphäre	 Tobias Fuchs tobias.fuchs@dwd.de +49 (0) 69 8062 2991	 Jennifer Lenhardt jennifer.lenhardt@dwd.de +49 (0) 69 8062 2991
 BBK Krise + Katastrophe	 Dr. Michael Judex michael.judex@bbk.bund.de +49 (0) 228 9955 025 02	 Dr. Fabian Löw fabian.loew@bbk.bund.de +49 (0) 228 9955 025 05
 BKA Sicherheit	 Dr. Alexandra Oberthür alexandra.oberthuer@bka.bund.de +49 (0) 611 551 4441	Tbd

Weitere Fachexperten

 JKI Landwirtschaft	 Dr. Holger Lilienthal holger.lilienthal@julius-kuehn.de +49 (0) 531 596 2136
 BfG Binnengewässer	 Dr. Björn Baschek baschek@bafg.de +49 (0) 261 1306 5395
 BGR Rohstoffe	 Dr. Michaela Frei michaela.frei@bgr.de +49 (0) 511 643 28 65



Die Beschreibung der verschiedenen Zuständigkeiten finden Sie in Kapitel 2 ab Seite 17.

COPERNICUS FÜR DAS UMWELTMONITORING

Iris Ehlert & Christian Schweitzer



Eine Einführung

November 2018

HERAUSGEBENDE

Iris Ehlert
Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
Hamburg, Deutschland

Christian Schweitzer
Umweltbundesamt
Dessau-Roßlau, Deutschland

LAYOUT

Iris Ehlert, Hamburg

TITELFOTOS

Vorne: ESA – ESA – ESA

Hinten: Claudia Thomsen

© November 2018

Iris Ehlert, Christian Schweitzer: *Copernicus für das Umweltmonitoring*. Eine Einführung.

VORWORT

Liebe Leserin,
Lieber Leser,

seit mehreren Jahren bieten die Copernicus-Fachkoordinationsteams regelmäßig Nutzerworkshops an. Auf diesen Workshops informieren wir Nutzerinnen und Nutzer darüber, welche Daten und neuen Entwicklungen es in den verschiedenen Bereichen der Copernicus-Dienste gibt. Die Workshops sollen zudem die Diskussion und den Austausch der Nutzerinnen und Nutzer zum Thema Copernicus befördern.

Vergangene Beiträge stellten Projekte, Projektideen und neu entwickelte Methoden zur Erleichterung des Arbeitsalltags vor, die im Rahmen der Nutzung von Copernicus und seiner Satellitendaten, Modellergebnisse und In-situ-Daten gewonnen wurden.

Im Februar 2018 haben wir einen Workshop mit dem Titel „Copernicus als Hilfsmittel für das Umweltmonitoring“ ausgerichtet. Neben Diskussionsbeiträgen aus den Bereichen der Dienste Land, Meeresumwelt, Atmosphäre und Klimawandel haben wir Schulungen angeboten, in denen wir den Teilnehmenden die Softwareprodukte SNAP und QGIS nähergebracht haben.

Entscheidend für das Entstehen dieser Broschüre waren die Diskussionen während unseres WorldCafés und am Rande der Veranstaltung, die in einem Wunsch der Teilnehmenden nach einem „Kochbuch für den Umgang mit Copernicus und Copernicus-Daten“ mündete. Denn Behörden auf nationaler, regionaler und kommunaler Ebene sollen zwar die Schlüsselnutzer von Copernicus sein; es gibt jedoch nach wie vor eine gewisse Zurückhaltung, wenn es um die operationelle Einbindung und Auswertung von satellitengestützten Informationen geht. Die Ursachen dafür sind sicher vielfältig – angefangen bei den personellen Kapazitäten und der technischen Ausstattung bis hin zu inhaltlichen und persönlichen Vorbehalten gegen die Technologie.

Mit dieser Broschüre möchten wir nun dem Wunsch der potenziellen Nutzerinnen und Nutzer nach einem „Kochbuch“ nachkommen und dabei helfen, einen Einblick in Copernicus und dessen Angebote zu bekommen. Wir geben einen Überblick über die Copernicus-Strukturen, die Ansprechpartner auf nationaler Ebene, die Möglichkeiten, die Copernicus-Daten den unterschiedlichen Bereichen unserer Gesellschaft bietet und nicht zuletzt einen ersten Einblick in die Verarbeitung von Copernicus-Daten.

Diese Broschüre zeigt also einmal mehr, dass Copernicus ein nutzergetriebenes Programm ist. In diesem Sinne werden Sie bitte nicht müde, die Fachkoordinationsteams und die Fachexpertinnen und Fachexperten bei Fragen zu kontaktieren und Ihre Verbesserungsvorschläge und Ideen einzubringen. Letztlich entscheiden Sie, wie sich das Copernicus-Programm künftig weiterentwickelt.

Herzlichst

Iris Ehlert & Christian Schweitzer

DANKSAGUNG

Wir möchten uns ganz herzlich bei allen Autorinnen und Autoren für die Zuarbeit zu dieser Broschüre bedanken.

Für den ersten Teil der Broschüre gilt dieser Dank insbesondere den Kolleginnen und Kollegen aus dem Kreis der Fachkoordinationen, den Fachexpertinnen und Fachexperten und den Kolleginnen und Kollegen aus dem BMVI und dem DLR Raumfahrtmanagement.

Zudem möchten wir ein riesiges Dankeschön an alle Autorinnen und Autoren der Gastbeiträge im zweiten Teil unserer Broschüre richten, die mit ihren Artikeln einen interessanten Einblick in die aktuellen Anwendungsmöglichkeiten von Copernicus-Daten und -Produkten aus unterschiedlichen Bereichen der Copernicus-Dienste bieten.

Während unserer SNAP-Schulungen waren die Kolleginnen und Kollegen der Firma Brockmann Consult GmbH immer eine große Unterstützung. Vielen Dank an Euch! Wir freuen uns auf die weitere Zusammenarbeit.

Unser größter Dank gilt jedoch den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der von uns veranstalteten Workshops – insbesondere denen des Workshops „Copernicus als Hilfsmittel für das Umweltmonitoring“ vom Februar 2018. Ohne Ihre konstruktiven Rückmeldungen während der Diskussionsrunden und Ihrem Wunsch nach einem Kochbuch für Copernicus, wäre diese Broschüre nicht zustande gekommen.

INHALT

I DAS COPERNICUS-PROGRAMM

1	ÜBERBLICK	3
1.1	Entwicklung	3
1.2	Ziele	3
1.3	Struktur	4
1.3.1	Weltraumkomponente	4
1.3.2	In-situ-Beobachtungen	4
1.3.3	Copernicus-Dienste	8
1.3.4	Nutzerinnen und Nutzer	13
1.4	Finanzierung	14
2	DAS NATIONALE COPERNICUS-FACHNETZWERK	17
2.1	Die Copernicus-Fachkoordinationen	17
2.2	Weitere Fachexperten	20

II ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

3	AKTUELLE ANWENDUNGEN VON KMU UND BEHÖRDEN	25
3.1	Effiziente Navigation im Eis	25
3.2	Satellitengestütztes Klimafolgenmonitoring in Thüringen	30
3.3	Trübungsmonitoring an Bundeswasserstraßen	34
3.4	Copernicus-Daten für Stadtklimasimulationen	38
3.5	Ermittlung und Monitoring von Sendai Indikatoren	43

III TIPPS FÜR DIE NUTZUNG IM EIGENEN BEREICH

4	ZUGANG ZU DEN DATEN UND PRODUKTEN	49
4.1	Zugang zu Sentineldaten	49
4.1.1	Open Access Hub der ESA	49
4.1.2	CODE-DE	52
4.1.3	DIAS-Plattformen	52
4.1.4	Weitere Portale	52
4.2	Zugang zu Sentineldaten und den Produkten der Dienste	53
4.2.1	Webseiten der geowissenschaftlichen Dienste	54
4.3	Software für die Verarbeitung von Sentineldaten	55
5	VON DEN DATEN ZUR KARTE	57
5.1	Was Sie vor der Verarbeitung wissen sollten	57
5.1.1	Aufnahmesysteme	58
5.1.2	Reflexion und Absorption in der Atmosphäre	61
5.1.3	Reflexion und Absorption an der Erdoberfläche	63
5.1.4	NDVI	65
5.2	Praktische Übung	66
5.2.1	Datendownload	66
5.2.2	Berechnung des NDVI mit SNAP	69
5.2.3	Kombination von NDVI und Urban-Atlas-Daten in QGIS	75

LITERATUR	87
-----------	----

ABBILDUNGEN

Abb. 1.1	Wünsche von (potenziellen) Nutzenden	14
Abb. 1.2	Gesamthaushalt für alle EU-Weltraumaktivitäten	15
Abb. 3.1	Eissituation im August 2018 nördlich von Grönland	27
Abb. 3.2	Packeisfelder bei Svalbard	28
Abb. 3.3	Neue Software für die Polarregionen	29
Abb. 3.4	Eintrittstermin der Blüte der Sal-Weide	31
Abb. 3.5	Differenzkarte der Eintrittstermine der Erstblüte	32
Abb. 3.6	Trübung von Rhein und Mosel im Juni 2016	35
Abb. 3.7	Schematischer Ablauf der Datenvorbereitung	40
Abb. 3.8	Simulierten Lufttemperaturen im Stadtklimamodell	41
Abb. 3.9	Ziele und Prioritäten des Sendai-Rahmenwerks	44
Abb. 3.10	Räumliche Verteilung von Vermögenswerten	45
Abb. 4.1	Einstiegsseite des Open Access Hub der ESA	49
Abb. 4.2	Oberfläche des EO Browsers	53
Abb. 4.3	Übergeordnete Datensuche	54
Abb. 5.1	Elektromagnetisches Spektrum	58
Abb. 5.2	Passives Messverfahren	59
Abb. 5.3	Spektralkanäle von Sentinel-2	60
Abb. 5.4	Aktives Messverfahren	60
Abb. 5.5	Prozessierungsstufen von Sentinel-2	62
Abb. 5.6	Spektrale Reflexionskurven	63
Abb. 5.7	Spiegelnde Reflexionen an Wasseroberflächen	64
Abb. 5.8	Reflexionseigenschaften von Blättern	65
Abb. 5.9	Ordnerstruktur Sentinel-2-Daten	67
Abb. 5.10	Urban Atlas für Wilhelmshaven	68

TABELLEN

Tab. 1.1	Die erste Sentinel-Generation	5
Tab. 1.2	Parameter der In-situ-Komponente	7
Tab. 1.3	Die sechs Copernicus-Dienste	8
Tab. 2.1	Die Copernicus Fachkoordinationsteams	18
Tab. 2.2	Weitere Fachexperten	21
Tab. 3.1	Nutzende von Eisinformationen	26
Tab. 4.1	Links zu den Webseiten der DIAS-Plattformen	52
Tab. 4.2	Drittanbieter	53
Tab. 4.3	Webseiten der geowissenschaftlichen Copernicus-Dienste	54

ABKÜRZUNGEN

BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BKA	Bundeskriminalamt
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMI	Bundesministerium des Innern
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BSH	Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie
C3S	Copernicus Climate Change Service
CAMS	Copernicus Atmosphere Monitoring Service
CEMS	Copernicus Emergency Management Service
CLMS	Copernicus Land Monitoring Service
CMEMS	Copernicus Marine Environment Monitoring Service
DLR RFM	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt Raumfahrtmanagement
DWD	Deutscher Wetterdienst
ECV	Essential Climate Variables
EEA	European Environmental Agency
EMSA	European Maritime Safety Agency
EZMW	Europäisches Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage
FRONTEX	Europäische Agentur für die operative Zusammenarbeit an den Außengrenzen
GCOS	Global Climate Observing System
GEOSS	Global Earth Observation System of Systems
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
JRC	Joint Research Centre
OSI SAF	Satellite Application Facility on Ocean and Sea-Ice monitoring
SatCEN	European Union Satellite Centre
UBA	Umweltbundesamt

Teil I

DAS COPERNICUS-PROGRAMM

In diesem Teil bekommen Sie einen Überblick über die Entwicklung, Dienste, Zuständigkeiten und Finanzierung des Copernicus-Programms und erfahren, wer Ihre Kontaktpersonen im nationalen Copernicus-Fachnetzwerk sind.

ÜBERBLICK

1.1 ENTWICKLUNG

Im Jahr 1998 beschloss die Europäische Kommission zusammen mit einigen Weltraumagenturen und Satellitendaten nutzenden Institutionen in Baveno (Italien) die Umsetzung der Initiative „Global Monitoring for Environmental Security“. Dieses sogenannte „Baveno-Manifest“ gilt gemeinhin als die Geburtsstunde des europäischen, erdbeobachtungsbasierten Informationssystems Copernicus.

Die Geburtsstunde des Copernicus-Programms war das Baveno-Manifest aus dem Jahr 1998.

Um das Thema Sicherheit deutlicher herauszustellen, wurde die Initiative 1999 in „Global Monitoring for Environment and Security“ umbenannt. Die Europäische Union griff das Konzept auf und beschloss im Jahr 2001 in partnerschaftlicher Zusammenarbeit mit den Mitgliedstaaten und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) den Aufbau einer europäischen Kapazität für die globale Umwelt- und Sicherheitsüberwachung: Global Monitoring for Environment and Security (GMES).

Für den Aufbau des Programms sind seit 2001 von den EU Mitgliedstaaten viele Schritte bewältigt worden. Wesentliche Meilensteine waren neben der Umbenennung von GMES in Copernicus im Dezember 2012 die Delegierten-Verordnung¹ des Europäischen Parlaments und des Rates aus dem Jahr 2013, in der festgelegt wurde, dass die Copernicus-Daten für jedermann offen und frei zur Verfügung stehen werden. Am 1. Januar 2014 trat schließlich die EU-Verordnung zur Einrichtung des Copernicus-Programms in Kraft², womit Copernicus langfristig als operationelles Erdüberwachungssystem für Europa implementiert wurde. Nur kurze Zeit später startete der erste Sentinel-Satellit und die operationelle Phase von Copernicus begann.

Seit 2014 ist Copernicus operationell.

1.2 ZIELE

Das Ziel des Copernicus-Programms ist es, eine europäische Komponente der globalen Erdbeobachtung zu schaffen, die grenzüberschreitend politische Entscheidungsprozesse der EU und ihrer Mitgliedstaaten unterstützt.

So soll Copernicus durch den Aufbau einer modernen und leistungsfähigen Infrastruktur für Erdbeobachtung und Dienstleistungen der Geoinformation unter anderem:

- den Umwelt- und Klimaschutz, Zivil- und Bevölkerungsschutz sowie die zivile Sicherheit unterstützen;
- Anwendungen und Dienste aus der Erdbeobachtung für unterschiedlichste Bereiche generieren;
- ein kontinuierliches, globales Umweltmonitoring und die offene und zeitnahe Bereitstellung von Daten für jeden und jede Art der Nutzung sicherstellen.

¹ Delegierten-Verordnung Nr. 1159/2013

² EU Verordnung Nr. 377/2014

1.3 STRUKTUR

Copernicus steht im Wesentlichen auf den folgenden vier Säulen:

1. Den satellitengestützten Beobachtungen der *Weltraumkomponente*,
2. Den vor Ort gewonnenen *In-situ-Beobachtungen*,
3. Den sechs *Copernicus-Diensten*,
4. Den *Nutzerinnen und Nutzern*.

1.3.1 Weltraumkomponente

Das Herzstück der Weltraumkomponente sind die eigens für Copernicus gebauten Sentinels (siehe Tabelle 1.1). Die Europäische Weltraumorganisation (ESA) ist mit der technischen Koordination der Weltraumkomponente beauftragt. Die ESA und die Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT) sind außerdem mit Betriebsaufgaben der Weltraumkomponente betraut.

Die Mehrheit der Sentinels fliegt in einer Tandemkonstellation, um die zeitliche Auflösung zu halbieren und die räumliche Abdeckung zu verbessern. Detaillierte Hintergrundinformationen zu den Sentinels und zugehörigen Sensoren liefert z. B. die ESA³.

Derzeit befinden sich bereits sieben Sentinels im All. Dies sind die Satelliten der Sentinel-1-, Sentinel-2- und Sentinel-3-Missionen sowie Sentinel-5P. Die entsprechenden Nachfolgemissionen sind bereits im Bau und sollen die erste Generation ablösen. Bis 2030 soll die Sentinel-Flotte insgesamt 20 Erdbeobachtungssatelliten für die Umweltüberwachung umfassen.

Neben den Sentinel-Missionen liefern aber auch beitragende Missionen (etwa 30 zumeist kostenpflichtige Missionen mit hochaufgelösten Daten) einen wesentlichen Beitrag für die Erstellung, Kalibrierung und Validierung der Datenprodukte. Einige dieser Daten stehen nicht nur für die interne Verarbeitung, sondern auch für Nutzende wie etwa Behörden entgeltfrei zur Verfügung.

Momentan werden die Nutzerbedarfe für eine mögliche Erweiterung der derzeitigen Satellitenflotte gesammelt, die Anforderungen für künftige Satellitenmissionen diskutiert und deren Umsetzbarkeit untersucht. Auf Basis dieser Ergebnisse werden Missionen priorisiert. Je nach Finanzierungsmöglichkeit sollen diese in Ergänzung zu den aktuell betriebenen und bereits geplanten Nachfolgemissionen ab 2025 das Programm gegebenenfalls ergänzen. In diesem Rahmen stehen aktuell sechs „High Priority Candidate Missions“ zur weiteren Diskussion. Von der EU-Kommission priorisiert werden eine CO₂-Mission, eine Mission für Forstwirtschaft, Landwirtschaft und urbane Anwendungen (hochaufgelöstes, thermales Infrarot) und eine Mission zur Beobachtung der Polarregionen mit Radarsensoren.

1.3.2 In-situ-Beobachtungen

Neben den Beobachtungen von Satelliten stützt Copernicus sich jedoch auch auf Umweltmessungen, die von bodengebundenen, seegestützten oder luftgestützten Überwachungssystemen erhoben werden sowie auf raumbezogene Referenz- und Zusatzdaten. All diese nicht aus dem Weltraum gewonnenen Daten fallen bei Copernicus unter den Begriff In-situ-Daten.

Um die zeitliche Auflösung zu halbieren und die räumliche Abdeckung zu verbessern, fliegt die Mehrheit der Sentinels in einer Tandem-Konstellation.

³ http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Overview4

ÜBERBLICK ÜBER DIE ERSTE SENTINEL-GENERATION			
	Anwendungen	Im All seit	Start geplant
 Sentinel-1	Über ein Radarinstrument werden unabhängig von Tageszeit und Wetter hoch aufgelöste Bilder der Ozean- und Landoberflächen geliefert. Betrieb durch ESA.		Tandem A 04/14 B 04/16
→ Bodenbewegung, Eiskartierung, Ölverschmutzung auf den Meeren			
 Sentinel-2	Der multispektrale, optische Sensor liefert hoch aufgelöste Bilder (10 bis 60 Meter) der Landoberfläche und Küstenbereiche. Betrieb durch ESA.		Tandem A 06/15 B 03/17
→ Vegetationsbewertung, phänologische Studien, Wasserqualität, Meereis im Küstenbereich			
 Sentinel-3	Diverse Instrumente zur Beobachtung der Land- und Ozeanoberflächen mit unterschiedlichen Auflösungen. Betrieb durch EUMETSAT (marine Anwendungen) und ESA (terrestrische Anwendungen).		Tandem A 02/16 B 04/18
→ Meeresspiegelhöhe, Algenblüten, Eisbedeckung, Temperaturen, Waldbrände, Vegetation			
 Sentinel-4	Die Instrumente sind im EUMETSAT-Programm Meteosat Third Generation (MTG) integriert und werden Aufnahmen zur Überwachung von Spurengasen in der Atmosphäre liefern.		Tandem A 2021 B 2027
→ Luftqualität (O_3 , NO_2 , SO_2)			
 Sentinel-5P	Sentinel-5 Precursor soll die Überwachung von Spurengasen in der Atmosphäre sicherstellen, bis Sentinel-5 operationell ist. Betrieb durch ESA.		10/17
→ Luftqualität (O_3 , NO_2 , SO_2 , CO , $HCHO$) für Quantifizierung von Emissionen			
 Sentinel-5	Sentinel-5 ist Bestandteil des regulären EUMETSAT-Programms "EUMETSAT Polar Systems Second Generation" (EPS-SG) und wird Aufnahmen zur Überwachung von Spurengasen und Aerosolen in der Atmosphäre liefern.		Tandem A 04/14 B 04/16
→ Luftqualität (O_3 , NO_2 , SO_2 , $HCHO$, CO , CH_4)			
 Sentinel-6	Mit den Instrumenten von Sentinel-6 wird die gezeitenunabhängige Messung des Meeresspiegels möglich sein. Betrieb durch EUMETSAT.		Tandem A 2021 B 2027
→ Meereshöhe			

Tab. 1.1: Die erste Sentinel-Generation

Die In-situ-Komponente steht vor der Herausforderung, die Bedürfnisse und Datenlücken im Zusammenhang mit dem Zugang zu den europäischen In-Situ-Beobachtungsdaten für das Copernicus-Programm zu analysieren und daraus qualitätsgeprüfte Daten in einer einheitlichen und für alle Nutzerkreise komfortablen Dateninfrastruktur zur Verfügung zu stellen. Koordiniert werden die Arbeiten von der Europäischen Umweltagentur (EEA). Ziel ist es, die Anforderungen durch die Copernicus-Dienste zu katalogisieren und Rahmenbedingungen und Pilotvereinbarungen zu entwickeln, die den Zugang zu allen relevanten Daten rechtzeitig und nachhaltig gewährleisten können.



So nutzt Copernicus eine breite Palette von In-situ-Überwachungsinfrastrukturen, um die Satellitenmessungen zu validieren und Modellergebnisse der verschiedenen Dienste zu evaluieren und damit die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Copernicus-Produkte zu verbessern. Diese In-situ-Systeme sind beispielsweise Sensoren, die an Ufern von Flüssen platziert wurden oder von Wetterballonen und Flugzeugen mitgeführt werden, Sonden, die von Schiffen durch das Meer gezogen und auf Schwimmern oder Bojen im Ozean betrieben werden. Die In-situ-Komponente umfasst auch Daten, die von Drohnen oder von Bürgern (Stichwort „citizen science“) erhoben werden sowie Informationsprodukte wie digitale topographische Karten, digitale Höhenmodelle und Orthofotos, die auf Basis von In-situ-Beobachtungen erstellt werden.

Nun werden Beobachtungsdaten über die physische Umwelt aber schon seit Jahrhunderten gesammelt, und folglich gibt es eine große Vielfalt und Bandbreite von Netzwerken und Interessengruppen, die an der Erhebung und Verwaltung solcher Daten beteiligt sind. So sind viele In-situ-Datenquellen im Besitz von Institutionen und Behörden auf nationaler Ebene und werden auch von diesen betrieben. Ein Beispiel sind von den Bundesländern erhobene nationale Daten zur Überwachung der Luftqualität, die im Rahmen der Umweltberichterstattung vom Umweltbundesamt der Europäischen Umweltagentur gemeldet werden. Ein weiteres Beispiel sind die Karten und Daten, die von den nationalen Kartierungs- und Katasterbehörden der Mitgliedstaaten verwaltet und den Copernicus-Diensten vertraglich geregelt zur Verfügung gestellt werden.

Die In-situ-Komponente analysiert derzeit die Datenlücken und Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Erwerb von oder den Zugang zu diesen In-situ-Beobachtungsdaten für das Copernicus-Programm. Diese Analysen werden in den folgenden vier thematischen Bereichen durchgeführt:

1. Meteorologie
2. Ozeanographie
3. Atmosphärische Zusammensetzung und Luftqualität
4. Klima

Weitere In-situ-Daten werden durch wissenschaftliche Forschungsnetzwerke für Copernicus zur Verfügung gestellt. Viele davon werden als Teil der Europäischen Forschungsinfrastruktur finanziert. Beispiele sind:

ICOS – Integrated Carbon Observation System. Bereitstellung harmonisierter und hochpräziser Daten über den Kohlenstoffkreislauf, den Treibhausgashaushalt und deren Störungen (gesamteuropäisch).

IAGOS – In-service Aircraft for a Global Observing System. Globale Beobachtung der atmosphärischen Zusammensetzung von Verkehrsflugzeugen.

ACTRIS – Beobachtung von Aerosolen, Wolken und Spurengasen.

EPOS – European Plate Observing System. Liefert Daten für die Wissenschaft der festen Erde, um eine sichere und nachhaltige Gesellschaft zu unterstützen.

EUROARGO – Europäisches Forschungsinfrastrukturkonsortium (ERIC); konzentrierte sich auf die Bereitstellung der europäischen Komponente des Global Argo Profiling Float Programms.

EMSO – Europäische multidisziplinäre Beobachtungsstelle für den Meeresboden und die Wassersäule, ebenfalls ein ERIC; konzentrierte sich auf ozeanographische und meeresbezogene Plattformen für die Meeresbeobachtung (einschließlich einiger kabelgebundener Beobachtungsstationen).







Hinzu kommt eine zunehmende Menge an In-situ-Daten von internationalen Kooperationen, wie z. B. der Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology (JCOMM), einer zwischenstaatlichen Einrichtung, die das Fachwissen und die technologischen Fähigkeiten der World Meteorological Organization (WMO) und der Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) der UNESCO zusammenführt. Beispiele für diese Vielfalt an In-situ-Daten finden Sie in Tabelle 1.2.

BEREICH	IN-SITU-PARAMETER
Meteorologie	<i>Echtzeit- und historische Daten</i> <i>Am Boden:</i> Wetterstationsdaten (Temperatur, Niederschlag, relative Luftfeuchtigkeit, Wind, Solar-UV etc.) <i>Atmosphärische Profile:</i> Temperatur, Wind, Feuchtigkeit.
Ozeanographie	<i>Physikalisch:</i> Temperatur, Salzgehalt, Meeresströmungen, Höhe der Meeresoberfläche, Meereis und Tiefe der Deckschicht. <i>Biologisch:</i> Chlorophyll, gelöster Sauerstoff, Nähr- und Mikronährstoffe z. B. Eisen, Primärproduktion und in regionalen Fällen Zooplankton, Strahlungsfluss und Methan.
Atmosphärische Zusammensetzung	Konzentrationen der wichtigsten Luftschadstoffe (NO_x , PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO , SO_2 , $HCHO$, Pb , TSP , C_6H_6) Größenaufgelöste chemische Zusammensetzung des Aerosols Treibhausgaskonzentrationen (CO_2 , CH_4 und N_2O) Vertikal aufgelöste Konzentrationsdaten von Schadstoffen und Aerosolen
Terrestrisch	Flusseinleitung, Wassernutzung, Grundwasser, Seen, Schneedecke, Gletscher und Eiskappen, Eisschilde, Permafrost, Albedo, Bodenbedeckung (einschließlich Vegetationstyp), Anteil der absorbierten photosynthetisch aktiven Strahlung (FAPAR), Blattflächenindex (LAI), oberirdische Biomasse, Kohlenstoffgehalt des Bodens, Brände, Bodenfeuchtigkeit.
Klima	Historische Daten; harmonisierte Zeitreihen.

Tab. 1.2: Beispiele für In-situ-Parameter.

1.3.3 Copernicus-Dienste

Die sechs Copernicus-Dienste sind der Kern von Copernicus. Sie nutzen die satellitengestützten Beobachtungen und die In-situ-Beobachtungen zusammen mit numerischen Modellen, um nutzerfreundliche Daten- und Informationsprodukte zu erstellen. Alle Dienstleistungen und Datenprodukte werden offen und frei für alle zur Verfügung gestellt. Diese Informationsprodukte können für vielfältige Anwendungen genutzt und zu weiteren Produkten weiterverarbeitet werden. Die EU-Kommission hat auf europäischer Ebene Organisationen mit der Umsetzung der Dienste beauftragt – die so genannten „Entrusted Entities“ (siehe Tabelle 1.3).

DIENST	ENTRUSTED ENTITY
 Landüberwachung	Global: JRC ¹ ; europäisch: EEA ²
 Überwachung der Meeresumwelt	Mercator Océan
 Überwachung der Atmosphäre	EZMW ³
 Überwachung des Klimawandels	EZMW
 Katastrophen- und Krisenmanagement	JRC
 Sicherheit	FRONTEX , EMSA und SatCEN ⁴

¹ Joint Research Centre ([JRC](#))

² European Environmental Agency ([EEA](#))

³ Europäisches Zentrum für Mittelfristige Wettervorhersage ([EZMW](#))

⁴ Europäische Agentur für die operative Zusammenarbeit an den Außengrenzen ([FRONTEX](#)), European Maritime Safety Agency ([EMSA](#)) und European Union Satellite Centre ([SatCEN](#))

Tab. 1.3: Die sechs Copernicus-Dienste und die von der EU mit dem Betrieb der Dienste beauftragten Einrichtungen

Mit der Unterzeichnung von Delegationsabkommen wurden die Entrusted Entities offiziell mit der Einrichtung, Planung und der Koordination der jeweiligen Copernicus-Dienste beauftragt. Somit nehmen sie hoheitliche Aufgaben der EU wahr. Sie haben jedoch nur geringen Einfluss auf die endgültigen Inhalte der Dienste. Dafür hat die Europäische Kommission den Entrusted Entities einen Leistungsumfang vorgegeben. In diesem Arbeitsprogramm schreibt die EU vor, welche Produkte zur Verfügung gestellt werden müssen. Den Entrusted Entities bleibt jedoch eine gewisse Gestaltungsfreiheit dahingehend, wie die Produkte aussehen und erstellt werden sollen.

Für die Bereitstellung der für die Dienste erforderlichen Komponenten müssen die Entrusted Entities Dienstleister beauftragen. Dies geschieht zu mindestens 75 Prozent über die Vergabe per Ausschreibung. Nationale Dienste (wie etwa die Wetterdienste) können sich an diesen Ausschreibungen beteiligen, wodurch sie untereinander zwar in Konkurrenz treten, zur Erfüllung ihrer Aufgaben aber weiterhin eng zusammenarbeiten müssen.

Die Entrusted Entities handeln im Rahmen des Copernicus-Programms also als ein Organ der EU-Kommission, an die sie auch berichten müssen. Die Kommission wird dabei vom so genannten Copernicus-Rat beraten, in dem sich die Vertreter der jeweiligen Regierungen treffen. Deutschland ist dort über das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) vertreten.

KURZBESCHREIBUNG DER DIENSTE

1.3.3.1 Landüberwachung

Der Copernicus-Dienst zur Überwachung der Landoberfläche CLMS (Abk. d. engl. „Copernicus Land Monitoring Service“) stellt Informationen und Daten zur terrestrischen Oberfläche inklusive der Binnengewässer bereit. Nach acht Jahren Forschung und Entwicklung ist der CLMS seit 2014 im operationellen Betrieb. Federführend für den Dienst ist die EEA.

Die Eingangsdaten für die bereitgestellten Datenprodukte stammen aus unterschiedlichen Datenquellen, angefangen bei globalen Satellitendaten bis hin zu lokalen Stationsmessungen. Systematisch zusammengeführt decken die daraus abgeleiteten Produkte ein vielfältiges Spektrum an Umwelt- und Naturschutzinformationen ab und liefern beispielsweise Informationen zu Landbedeckung und -nutzung, Vegetationseigenschaften, Gewässermonitoring und zum Strahlungshaushalt. Der Dienst besteht aus vier Komponenten, die jeweils unterschiedliche Datenprodukte bereitstellen.

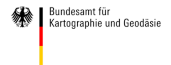
Unter der globalen Komponente finden sich biogeophysikalische Produkte und Indizes, welche über den Zustand und die Dynamik der Landoberfläche informieren. Zudem werden Datenprodukte zu Energieflüssen, Oberflächengewässern oder Informationen zur Kryosphäre angeboten. Die Daten werden in mittlerer bis niedriger räumlicher Auflösung und für längere Zeitreihen bereitgestellt. Sie liefern die Grundlage für großräumige Bewertungen von Ökosystemen und deren Dynamik oder für globale Kohlenstoffbilanzierungen. Weitere mögliche Anwendungsfelder sind Klimamodellierungen, die Abschätzung von Feldfruchterträgen oder agro-meteorologische und hydrologische Bewertungen.

Die Pan-europäische Komponente beinhaltet Daten zur Landbedeckung und Landnutzung. Unter anderem wird dort der Datensatz CORINE Land Cover (CLC) bereitgestellt. Ergänzend werden im Rahmen der „High Resolution Layer“ (HRL) hochaufgelöste Informationen zu versiegelten Flächen, Wäldern, Grünland, Feuchtgebieten, Binnengewässern und Baum- und Heckenstrukturen angeboten.

Bei der lokalen Komponente liegt der Fokus auf der detaillierten Kartierung sogenannter Hotspots. Unter anderem basierend auf hoch aufgelösten Satellitenbilddaten, beinhaltet der Urban Atlas eine hochaufgelöste Kartierung der Landbedeckung für europäische Städte und Stadtgebiete. Für ausgewählte Zentren sind auch Gebäudehöhen abrufbar. Ein weiteres Datenprodukt ist die Kartierung der Uferzonen („Riparian Zones“) entlang der großen und mittelgroßen europäischen Flüsse. Dieses Produkt enthält auch Landbedeckungsinformationen, die Abgrenzung der Uferzonen (potentiell und aktuell) sowie die Kartierung der Uferbegleitvegetation („Green Linear Elements“). Des Weiteren werden Landbedeckungsinformationen für Natura-2000-Gebiete angeboten.

Unter der Komponente „Referenzdaten“ wird für die europäische Skala ein Höhenmodell, Flussnetze, der LUCAS-Datensatz⁴ sowie ein hochaufgelöstes Satellitenbildmosaik angeboten.

→ Mehr Infos und Zugang zu Produkten unter land.copernicus.eu



In Deutschland wird der Dienst zur Überwachung der Landoberflächen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie in Frankfurt (Main) und dem Umweltbundesamt in Dessau-Roßlau fachlich begleitet.

⁴ Land Use and Coverage Area Frame Survey

1.3.3.2 Überwachung der Meeresumwelt

Der Copernicus-Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt **CMEMS** (Abk. d. engl. „Copernicus Marine Environment Monitoring Service“) ist der europäische Dienst für die Überwachung und Vorhersage des Ozeans.

CMEMS liefert umfassend bewertete Daten und Produkte zum physikalischen und biogeochemischen Zustand des Ozeans als Reanalysen, in Echtzeit und als Vorhersageprodukte. Sie beruhen auf der bestmöglichen Kombination von Satellitendaten, In-situ-Daten und Modellergebnissen. Die durch CMEMS bereitgestellten Daten und Produkte ermöglichen es den Nutzenden, eigene Produkte für eine Vielfalt mariner Anwendungsbereiche zu entwickeln.

Für die Jahre von 2014 bis 2021 wurde das französische Konsortium Mercator Océan von der EU mit der Implementierung des CMEMS beauftragt. Seit dem 1. Mai 2015 ist der Dienst operationell. Mercator Océan bedient zwar einige Serviceelemente selbst, vergibt aber für den größten Teil der Dienste Unteraufträge an europäische Partner.

Deutschland ist über das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie als Partner sowohl bei der Bereitstellung von In-situ-Beobachtungen als auch beim Betrieb und der Weiterentwicklung der Vorhersagezentren für die Ostsee und das nordwesteuropäische Schelfgebiet in CMEMS eingebunden.

Die Entwicklungen von CMEMS sind nutzergetrieben. Die durch Nutzerumfragen und Workshops erhaltenen Feedbacks werden vom CMEMS-Service-Team analysiert und sowohl kurzfristig als auch während der alljährlichen Updates des Produktkataloges als neue Entwicklungen implementiert oder in das Forschungs- und Entwicklungsprogramm aufgenommen.

Die CMEMS-Produktpalette reicht von globalen Strömungsdaten über Karten der arktischen Meereisbedeckung bis hin zu Chlorophyll-Verteilungen in Nord- und Ostsee. Die verschiedenen CMEMS-Produkte werden von mehreren thematischen Zentren (Fokus: Beobachtungsdaten) und mehreren Überwachungs- und Vorhersagezentren (Fokus: Modellanalysen und -vorhersagen) zur Verfügung gestellt und an ein zentrales Datenportal gesendet. Das CMEMS-Service-Team organisiert dann die Schnittstelle zu den Nutzenden. Sollten Probleme beim Herunterladen der Daten auftreten, ist das Service-Team für Sie da!

→ Mehr Infos und Zugang zu Produkten unter marine.copernicus.eu

1.3.3.3 Überwachung der Atmosphäre

Der Copernicus Dienst zur Überwachung der Atmosphäre **CAMS** (Abk. d. engl. „Copernicus Atmosphere Monitoring Service“) dient der Bereitstellung von Daten zur globalen Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe, insbesondere von Spurengasen und Aerosolen (Feinstaub).

CAMS unterstützt Entscheidungsträger dabei, die Zusammensetzung der Erdatmosphäre auf globaler und regionaler Ebene kontinuierlich zu überwachen. Der Service umfasst die Beschreibung der aktuellen Situation (Analyse), die Vorhersage der Situation einige Tage im Voraus (Prognose) und die Bereitstellung konsistenter, retrospektiver Datensätze für die letzten Jahre (Reanalyse). Dabei baut CAMS auf jahrelanger, europäischer Forschung und Entwicklung sowie auf vorhandenen europäischen und nationalen Kapazitäten und Erfahrungen auf. Das heutige Produktportfolio wird bereits seit 2005 in enger Abstimmung mit (potenziellen) Nutzern entwickelt und ist seit 2014 voll operationell. Derzeit umfasst es folgende Leistungen:



In Deutschland wird der Dienst zur Überwachung der Meeresumwelt vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie in Hamburg fachlich begleitet.



In Deutschland wird der Dienst zur Überwachung der Atmosphäre vom Deutschen Wetterdienst in Offenbach fachlich begleitet.

- tägliche Informationen über die globale, atmosphärische Zusammensetzung (Treibhausgase, reaktive Gase, Ozon und Aerosole);
- Nahe-Echtzeit- und 4-Tage-Prognosen sowie eine Reanalyse der Luftqualität (Spurengase und Feinstaub) in Europa;
- tägliche Analyse und Prognosen von UV- und stratosphärischem Ozon zur Unterstützung von Gesundheitspolitik (z. B. Hautkrebsprävention);
- Klimamonitoring-Service „Solare Strahlung“ für Nutzende von Solarenergie;
- Emissionsbestände für atmosphärische Chemietransportmodelle zur Abschätzung von CO₂- und CH₄-Nettoflüssen an der Erdoberfläche.

CAMS-Produkte finden sich bereits in vielen Anwendungen wieder. So gewinnt die Überwachung der Luftqualität zum gesundheitlichen Schutz der Bevölkerung immer mehr an Bedeutung. Durch die hohe, gesicherte Datenqualität und die hohen zeitlichen und räumlichen Auflösungen der CAMS-Produkte können z. B. Ozongehalte oder Schadstoffquellen kleinräumig erfasst, gezielt analysiert und eingeleitete Maßnahmen kontinuierlich überwacht werden.

Der Service soll zukünftig um ein operationelles Treibhausgas-Überwachungssystem erweitert werden, um beispielsweise anthropogene CO₂-Emissionen besser erfassen zu können.

→ Mehr Infos und Zugang zu Produkten unter atmosphere.copernicus.eu

1.3.3.4 Überwachung des Klimawandels

Die Mission des Copernicus-Klimadienstes C3S (Abk. d. engl. „Copernicus Climate Change Service“) besteht darin, die Anpassungsstrategien der Europäischen Union durch die Bereitstellung von konsistenten und verlässlichen Informationen über den Klimawandel zu unterstützen. C3S bietet einen freien und offenen Zugang zu Klimadaten und -werkzeugen, die auf den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhen.

C3S ist eine wichtige Ressource für das Global Framework for Climate Services (GFCs). Der Service stützt sich auf Ergebnisse der Klimaforschung, die im Rahmen des World Climate Research Program (WCRP) durchgeführt wird, und reagiert auf Anforderungen von Nutzenden, die vom Global Climate Observing System (GCOS) definiert werden. C3S ergänzt das etablierte Angebot an meteorologischen und ökologischen Dienstleistungen, die in jedem europäischen Land bereits vorhanden sind, indem nationale Klimadienstleister und relevante akademische Gemeinschaften in die Implementierung von C3S einbezogen werden.

Sowohl für die identifizierten Klimafaktoren als auch für die zu erwartenden klimatischen Auswirkungen stellt C3S grundlegende Klimaindikatoren⁵ und Klimaindizes⁶ bereit. Die Produktpalette umfasst zudem sektorrelevante Informationen, die auf die Bedürfnisse der Endnutzenden zugeschnitten sind, um Bereiche wie z. B. Agrar- und Forstwirtschaft, Gesundheit, Energie, Wassermanagement und Tourismus bei klimawandel-relevanten Anpassungsmaßnahmen zu unterstützen.

Über das zentrale Klimadatenportal CDS werden qualitätsgesicherte Klimadatensätze und Informationen zu Auswirkungen auf eine Vielzahl von Themen und Branchen angeboten. Das Angebot dieses Klimadatenshops umfasst:

⁵ z. B. Temperaturanstieg, Meeresspiegelanstieg, Eisschildschmelze, Ozeanerwärmung

⁶ basierend z. B. auf Temperatur-, Niederschlag-, Dürreereignis-Aufzeichnungen



In Deutschland wird der Dienst zur Überwachung des Klimawandels vom Deutschen Wetterdienst in Offenbach fachlich begleitet.

- Beobachtungen und historische Klimadatenätze;
- Konsistente Bewertung essenzieller Klimavariablen (ECVs);
- Globale und regionale Reanalysen (Erdsystem umfassend: Atmosphäre, Ozean, Land, Kohlenstoff);
- Produkte basierend auf In-situ-Beobachtungen (Rasterdaten, homogenisierte Stationsserien, reprozessierte Klimadatenreihen);
- Klimamonitoring in Nahe Echtzeit;
- Multi-Modell Jahreszeiten- und dekadische Vorhersagen (ab 2020+);
- Klimaprojektionen auf globaler und regionaler Ebene;
- Attributionsservice (ab 2020+).

CDS bietet zudem eine Reihe von Werkzeugen zur Analyse und Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels für die Online-Entwicklung eigener Anwendungen an. CDS-Daten und -Tools bilden somit das Rückgrat des C3S-Informationssystems SIS, das Werkzeuge und Anwendungen für den Umgang mit Klimaauswirkungen in verschiedenen Industriesektoren, einschließlich Energie-, Wasser- und Landwirtschaft, bereitstellt. Den Nutzenden werden Anleitungen und Fallstudien an die Hand gegeben, wie C3S-Daten und Tools genutzt werden können, um wichtige klimatische Herausforderungen in verschiedenen Sektoren anzugehen.

→ Mehr Infos und Zugang zu Produkten unter climate.copernicus.eu

1.3.3.5 Katastrophen- und Krisenmanagement

Der Copernicus-Dienst für Katastrophen- und Krisenmanagement **CEMS** (Abk. d. engl. „Copernicus Emergency Management Service“) stellt auf Anfrage von berechtigten Nutzern rund um die Uhr und weltweit Informationen für den schnellen und gezielten Einsatz von Hilfskräften in Krisen- und Katastrophenlagen zur Verfügung.

Dazu bedarf es u. a. umfassender Lageinformationen zum Schadensausmaß und zur Umgebung der betroffenen Orte, um weitere Risiken abschätzen zu können. Auch zur Risikoabschätzung und zum Wiederaufbau nach großen Schadenslagen können Kartenprodukte angefordert werden. Als Ergänzung stehen Frühwarnsysteme für Hochwasser und Waldbrände auf europäischer Ebene zur Verfügung.

Alle Informationsprodukte basieren auf Satellitenbilddaufnahmen und sind kostenfrei. Die Produkte können in Deutschland über das Gemeinsame Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GMLZ) im Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) angefordert werden. Die Notfallkartierungskomponente erstellt Karten und Analysen je nach Verfügbarkeit der Satelliten bereits innerhalb von Stunden nach der Anforderung durch berechtigte Nutzende. Das Portfolio umfasst Referenzkarten (Ausland) und Abschätzungen des Schadensgebietes und des Schadensausmaßes. Die Ergebnisse werden als ausdrückbare Karten und als Geodaten zur Verfügung gestellt. Diese Karten bieten Einsatzkräften aktuelle Lageinformationen und unterstützen einen effizienten Einsatz ihrer Ressourcen.

Auch bei der Vorbereitung auf oder Vermeidung von möglichen Krisenlagen können Produkte und Analysen angefordert werden. Diese stehen je nach Komplexität innerhalb von 2-3 Monaten zur Verfügung. Ein Beispiel hierfür sind detaillierte Referenzkarten, welche mit sozio-ökonomischen Daten wie etwa Infrastrukturen und der potentiell gefährdeten Bevölkerung verknüpft sind. Auf



In Deutschland wird der Katastrophen- und Krisenmanagementdienst vom Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe in Bonn fachlich begleitet.

deren Grundlage können Vulnerabilitätsanalysen durchgeführt werden. Nach großen Schadensereignissen können detaillierte Analysen zur Planung und zum Fortschritt des Wiederaufbaus durchgeführt werden. Daneben stehen auch Produkte für lang anhaltende humanitäre Krisen, wie z. B. die Kartierung und das Monitoring von Flüchtlingscamps, zur Verfügung.

Die Frühwarnkomponente beinhaltet das Europäische Hochwasserfrühwarnsystem (EFAS), dessen Vorhersagen bis zu zehn Tage im Voraus auf europäischer Ebene verfügbar sind, sowie das Waldbrandinformationssystem EFFIS.

→ Mehr Infos und Zugang zu Produkten unter emergency.copernicus.eu

1.3.3.6 Sicherheit

Der Copernicusdienst für Sicherheitsanwendungen (im Folgenden: Copernicus-Sicherheitsdienst) unterscheidet sich – insbesondere in Hinblick auf die Datenpolitik – grundlegend von den übrigen Copernicusdiensten.

So können die im Kontext des Copernicus-Sicherheitsdienstes erstellten Produkte nur von Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben angefordert und genutzt werden. Eine Veröffentlichung von Daten und Produkten erfolgt grundsätzlich nicht. Der Copernicus-Sicherheitsdienst soll explizit dazu beitragen, Herausforderungen auf dem Gebiet der zivilen Sicherheit zu bewältigen, einschließlich Krisenprävention und –bewältigung, Grenz- und Seeüberwachung sowie die Unterstützung des auswärtigen Handelns der Europäischen Union.

Der Copernicus-Sicherheitsdienst wird bislang in der Hauptsache von der Europäischen Agentur für die Grenz- und Küstenwache (Frontex, Warschau), der Europäischen Agentur für die Sicherheit des Seeverkehrs (EMSA, Lissabon) und dem Satellitenzentrum der Europäischen Union (EUSC, Madrid) wahrgenommen. Diese drei tragenden Säulen des Sicherheitsdienstes, die untereinander eng vernetzt sind, bieten beispielsweise den Polizeien des Bundes ein situationsabhängiges Portfolio an Fernerkundungsprodukten an. Unter 'Produkt' ist hier nicht allein die Bereitstellung von Satellitenbildern oder Datenreihen zu verstehen, sondern darüber hinaus die qualitätsgesicherte Aufbereitung und Interpretation dieser Daten für den Bedarfsträger.

Wichtige Themen des Sicherheitsdienstes sind die Einhaltung von Abkommen z. B. in Bezug auf Fischereirechte, die Überwachung von Binnen- und Außengrenzen der EU sowie die Überwachung der Schifffahrtsrouten. Eine Verbesserung der Nutzbarkeit für weitere polizeiliche Aufgaben auf dem Gebiet der Einsatz- und Ermittlungsunterstützung wird für die kommenden Jahre angestrebt.

1.3.4 Nutzerinnen und Nutzer

Copernicus ist ein nutzergetriebenes Programm. Dies bedeutet, dass die Rückmeldungen der Nutzerinnen und Nutzer von Copernicusdaten und Produkten von entscheidender Bedeutung für die Gestaltung künftiger Arbeitsprogramme und die zukünftige Entwicklung und Ausgestaltung des Copernicus-Programms sind.

Von Anfang an richtete sich das Copernicus-Programm an die Bedürfnisse politischer Entscheidungsgremien. Diese sollten Dienste und Daten zur Entscheidungsfindung bei Umweltbelangen, Sicherheitsfragen und Naturkatastro-



In Deutschland wird der Sicherheitsdienst vom Bundeskriminalamt in Wiesbaden fachlich begleitet.

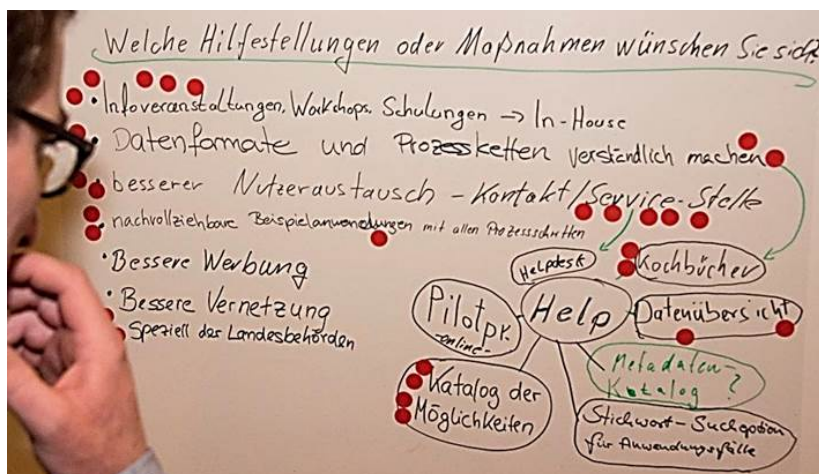


Abb. 1.1: Rückmeldungen von Nutzerinnen und Nutzern während unseres Workshops „Copernicus als Hilfsmittel für das Umweltmonitoring“ im Februar 2018.

phen sowie für den Gesetzesvollzug sowohl auf nationaler als auch auf europäischer Ebene nutzen.

Seitdem Copernicus operationell ist, werden die Copernicusdaten und Produkte jedoch in zunehmendem Maße auch von Forscherinnen und Forschern, Bürgerinnen und Bürgern, Unternehmen, Start-Ups und Versicherungen genutzt, um Forschung zu betreiben, sich z. B. über Wassertemperaturen oder Windverhältnisse zu informieren oder um anwendungsorientierte Produkte zu entwickeln.

Um die Nutzenden über aktuelle Entwicklungen informieren und ihre Rückmeldungen zu den Diensten sammeln zu können, finden nicht nur auf nationaler, sondern auch auf europäischer Ebene regelmäßig kostenfreie Veranstaltungen statt. Einen ersten Überblick über nationale Veranstaltungen können Sie sich auf der nationalen Copernicus-Webseite d-copernicus.de verschaffen. Europäische Veranstaltungen werden auf der europäischen Copernicus-Webseite unter <http://copernicus.eu/events> angekündigt.

Wenn Sie jedoch regelmäßig über aktuelle Entwicklungen und Veranstaltungen eines bestimmten Dienstes informiert werden möchten, empfehlen wir Ihnen, die jeweilige Fachkoordination zu kontaktieren (siehe Kapitel 2, Tabelle 2.1 auf Seite 18) und Ihre E-Mail-Adresse für die Infobriefe/Newsletter eintragen zu lassen.

1.4 FINANZIERUNG

Seit den 1990er Jahren hat die Europäische Kommission ihre Investitionen in den Raumfahrtsektor erhöht und die europäischen Satellitennavigationsprogramme EGNOS und Galileo entwickelt, die mit Galileo als Flaggschiff inzwischen beide in Betrieb sind. Im Jahr 2014 trat zusätzlich die Copernicus-Verordnung⁷ in Kraft, die diesen beiden Programmen das Erdbeobachtungsprogramm Copernicus hinzufügte und die Finanzierung des Copernicus-Programms bis zum Jahr 2020 mit rund 4,3 Milliarden Euro im Haushalt der EU gesichert hat.

Die Kommission räumt den Raumfahrtaktivitäten eine zunehmend bedeutende Rolle ein. In ihrer Mitteilung vom 26. Oktober 2016 mit dem Titel „Welt-

⁷ EU Verordnung Nr. 377/2014

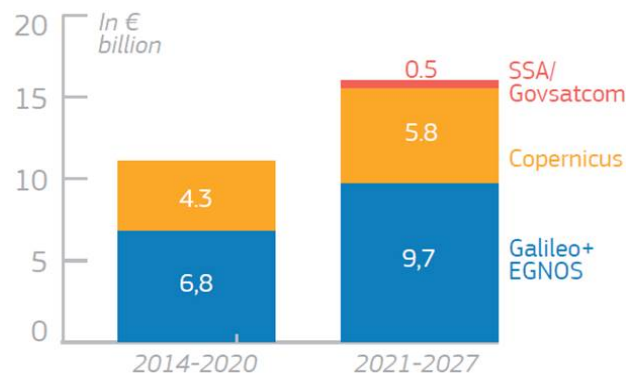


Abb. 1.2: Gesamthaushalt für alle Weltraumaktivitäten der Europäischen Union für die Zeiträume 2014-2020 und 2021-2027. Quelle: Europäische Kommission.

raumstrategie für Europa“ hat sie eine neue Weltraumstrategie für Europa vorgestellt, die sich auf vier strategische Ziele konzentriert:

1. Maximierung der Vorteile des Weltraums für die Gesellschaft und die Wirtschaft der EU;
2. Förderung eines wettbewerbsfähigen und innovativen europäischen Raumfahrtsektors;
3. Sicherstellen der strategischen Autonomie Europas beim Zugang und der Nutzung des Weltraums in einer sicheren und geschützten Umgebung;
4. Stärkung der Rolle Europas als globaler Akteur und Förderung der internationalen Zusammenarbeit.

Mit dieser neuen Strategie reagiert die Kommission auf die sich verändernden globalen Anforderungen an eine wettbewerbsfähige Raumfahrt und die sichere Nutzung der durch die Raumfahrt bereitgestellten Daten durch die EU.

Derzeit wird der nächste mehrjährige Finanzrahmen für den Zeitraum 2021-2027 verhandelt. Für das Großprojekt Copernicus sind im Verordnungsentwurf momentan 5,8 Mrd. Euro vorgesehen.

Die Fortführung des Copernicus-Programms – mit der Weiterentwicklung der Weltraum- und Dienstekomponente und einer freien und offenen Datenpolitik – liegen im Interesse Deutschlands und zahlreicher weiterer EU-Mitgliedstaaten. Mit dem Copernicus-Programm der ESA wird das EU-Programm komplementiert. Als ESA-Mitgliedstaat beteiligt sich Deutschland finanziell wesentlich und führt somit das Programm an.

Für den Zeitraum 2014-2020 sind im EU Haushalt 4,3 Mrd. Euro für Copernicus vorgesehen. Davon entfallen 3,4 Mrd. Euro auf die Weltraumkomponente, und 900 Mio. Euro sind für die Umsetzung der Dienste vorgesehen.

Bereits vor dem operationellen Start im Jahr 2014 hat die Bundesregierung Copernicus entscheidend mitgestaltet. Hier ist das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) für das europäische Programm zuständig, koordiniert die nationalen Begleitmaßnahmen und unterstützt die Implementierung in Deutschland mit einem Förderprogramm. Das Ressort entwickelt die deutsche Position zu Copernicus, stimmt sie innerhalb der Bundesregierung ab und verantwortet und koordiniert die Vertretung in den entsprechenden Gremien. Aufbauend auf den Arbeiten der vergangenen Jahre hat das Kabinett im September 2017 die „Copernicus Strategie der Bundesregierung“ (Die Bundesregierung 2017) beschlossen, in der die folgenden Ziele für eine erfolgreiche Umsetzung des Copernicus-Programms in Deutschland und Europa formuliert werden:

- Orientierung an Nutzen und Bedarf
- Wachstumsimpulse für die deutsche Wirtschaft
- Stärkung internationaler Zusammenarbeit
- Beteiligung der deutschen Industrie, Wissenschaft und Institutionen
- Sicherung der Nachhaltigkeit und Weiterentwicklung von Copernicus

Die Strategie dient nun als Grundlage für die Erarbeitung eines nationalen Arbeitsprogramms, in welchem konkrete Maßnahmen aller relevanten Ressorts formuliert, das Potential satellitengestützter Erdbeobachtung für die verschiedenen Politikfelder entwickelt und somit schließlich die nationale Copernicus-Strategie durch die Bundesregierung umgesetzt werden. Die Maßnahmen des Arbeitsprogramms werden fortlaufend evaluiert und sollen die mit Copernicus entstehenden Möglichkeiten in Deutschland systematisch verwirklichen. Folgende vier Handlungsfelder wurden durch die Bundesregierung identifiziert:












1. Mit Nutzergruppen im Dialog sein
2. Zugang zu Daten und Diensten gewährleisten
3. Neue Dienste und Technologien entwickeln
4. Copernicus in Europa gestalten

Die Strategie bekräftigt auch die Aufgaben der nationalen Akteure, u. a. der Fachkoordinatoren.

2.1 DIE COPERNICUS-FACHKOORDINATIONEN

Insbesondere im Kontext der Handlungsfelder „Mit Nutzergruppen im Dialog sein“ und „Copernicus in Europa gestalten“ nehmen die sogenannten Fachkoordinatoren eine entscheidende Rolle ein: sie bilden den Kern des nationalen Copernicus-Fachnetzwerkes. Bereits im Februar 2011 hat der IMAGI¹ verschiedene Bundesbehörden mit der Benennung von Copernicus-Fachkoordinatoren zur fachlichen Begleitung des Prozesses der nationalen Implementierung der Copernicus-Kerndienste beauftragt (siehe Tabelle 2.1).

¹ Interministerieller Ausschuss für Geoinformationswesen

FACHKOORDINATOR*IN	VERTRETUNG
ÜBERWACHUNG DER LANDOBERFLÄCHEN	
 <p>Dr. Michael Hovenbitzer BKG ☎ 069 6333 440 michael.hovenbitzer@bkg.bund.de</p>	 <p>Sylvia Seissiger BKG ☎ 069 6333 481 sylvia.seissiger@bkg.bund.de</p>
 <p>Dr. Thomas Schultz-Krutisch UBA ☎ 0340 2103 2631 thomas.schultz-krutisch@uba.de</p>	 <p>Dr. Christian Schweitzer UBA ☎ 0340 2103 2624 christian.schweitzer@uba.de</p>
ÜBERWACHUNG DER MEERESUMWELT	
 <p>Dr. Bernd Brügge BSH ☎ 040 3190 3000 bernd.bruegge@bsh.de</p>	 <p>Dr. Iris Ehlert BSH ☎ 040 3190 3184 iris.ehlert@bsh.de</p>
ÜBERWACHUNG DER ATMOSPHÄRE	
UND DES KLIMAWANDELS	
 <p>Tobias Fuchs DWD ☎ 069 8062 2872 tobias.fuchs@dwd.de</p>	 <p>Jennifer Lenhardt DWD ☎ 069 8062 2991 jennifer.lenhardt@dwd.de</p>
KATASTROPHEN- UND KRISENMANAGEMENT	
 <p>Dr. Michael Judex BBK ☎ 0228 9955 025 02 michael.judex@bbk.bund.de</p>	 <p>Dr. Fabian Löw BBK ☎ 0228 9955 025 05 fabian.loew@bbk.bund.de</p>
SICHERHEIT	
 <p>Dr. Alexandra Oberthür BKA ☎ 0611 551 4441 alexandra.oberthuer@bka.bund.de</p>	<p>Wird zeitnah besetzt. BKA</p>

Tab. 2.1: Die Copernicus Fachkoordinationsteams – Ihre Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner im nationalen Copernicus-Fachnetzwerk.

Die Fachkoordinationen sind somit themenspezifisch und orientiert an den europäischen Diensten aufgestellt, so dass es für jeden Dienst eine Fachkoordinatorin oder einen Fachkoordinator gibt, die oder der ihre oder seine Expertise auf dem jeweiligen Gebiet einbringen kann. Die Arbeiten der Fachkoordinationen umfassen folgende Aufgaben:

1. Bereitstellung von Fachinformationen für die nationalen Nutzerkreise des jeweiligen Copernicus-Dienstes (z. B. Behörden auf Landesebene und ggf. kommunalen Verwaltungsebenen, kommerzielle Nutzer);
2. Pflege und Ausbau von fachlichen Netzwerken;
3. Fachliche Begleitung und Mitgestaltung der Copernicus-Dienste;
4. Beratung der Bundesregierung bzgl. der nationalen Bedarfe und Nutzeranforderungen an die jeweiligen Copernicus-Dienste und Unterstützung der Bundesregierung bei der Vorbereitung diesbezüglicher Positionierungen gegenüber der Europäischen Kommission;
5. Vertreten und Einbringen deutscher Bedarfe bei der fachlichen Diskussion auf europäischer Ebene (Copernicus User Forum, Nutzerworkshops, „General Assembly“ der Dienste etc.).

Im Wesentlichen nehmen die Fachkoordinationen also zwei Kernaufgaben wahr: Die fachliche Beratung des BMVI und die Vertretung der nationalen Nutzerinteressen gegenüber der Europäischen Kommission im Copernicus-Nutzerforum. Hierbei spielt die diensteübergreifende Zusammenarbeit auf nationaler Ebene eine entscheidende Rolle. Deshalb lädt das BMVI quartalsweise zu Sitzungen der Fachkoordinationen ein, auf welchen sich die Fachkoordinatorinnen und Fachkoordinatoren über ihre Aktivitäten austauschen. Unterstützt werden das BMVI und die Fachkoordinationen dabei vom DLR-Raumfahrtmanagement, welches das Copernicus-Programm für die Bundesregierung auf Basis des Raumfahrtaufgabenübertragungsgesetzes (RAÜG) und im Auftrag des BMVI begleitet. Dies beinhaltet die Unterstützung und Beratung bei der nationalen Copernicus-Koordination und die Begleitung des Copernicus-Programms der EU, einschließlich Delegiertenfunktionen in den damit verbundenen Gremien sowie die Interessensvertretung in den Copernicus-Programmen der ESA. Darüber hinaus unterstützt das DLR-Raumfahrtmanagement die Informations- und Öffentlichkeitsarbeit in Deutschland. Als beliebiger Projektträger setzt es für die Bundesregierung Fördermaßnahmen mit Bezug zu Copernicus um.

DELEGATIONSLEITUNG



Christiane Hohmeister
BMVI

☎ 0228 99 300 6224

VERTRETUNG



Dr. Jörn Hoffmann
DLR RFM

☎ 0228 447 269

christiane.hohmeister@bmvi.bund.de joern.hoffmann@dlr.de

Um die Anforderungen und Erwartungen der Nutzerinnen und Nutzer verstehen und über den Copernicus-Rat adressieren zu können, sind die Fachkoordinationen um einen aktiven Dialog mit den Nutzenden der Copernicusdaten und Produkte bemüht. Hierfür bieten die Fachkoordinationen jährlich mindestens einen nationalen, Dienste-spezifischen Nutzerworkshop an, auf welchem sie (potenzielle) Nutzende des jeweiligen Dienstes über die Entwicklungen informieren und den Nutzenden zeigen, wie sie Daten und Produkte herunterladen und weiterverarbeiten können. Insbesondere, wenn zentrale Schnittstellenthemen (wie z. B. Klima und Umwelt) adressiert werden, sind typischerweise mehrere Akteure des Nationalen Copernicus-Fachnetzwerkes eingebunden. Zudem richten die Fachkoordinationen alle 1.5 Jahre eine Fachsession auf dem Nationalen Forum für Fernerkundung und Copernicus aus.

Bei der Formulierung der Nutzerinteressen aus Deutschland beziehen die Copernicus-Fachkoordinationen jedoch auch weitere Experten, Behörden und Verwaltungsebenen, wissenschaftliche Institutionen, Unternehmen und nationale Nutzende mit ein. Gemeinsam mit weiteren Fachexperten treiben die Copernicus-Fachkoordinationen so den Ausbau der fachlichen Netzwerke um weitere Adressaten- und Nutzerkreise voran und stellen einen neutralen und transparenten Prozess der Nutzergewinnung sicher.

2.2 WEITERE FACHEXPERTEN

Neben den Fachkoordinatorinnen und Fachkoordinatoren als zentrale Copernicus-Ansprechpartner innerhalb der Bundesregierung, gibt es aufgrund der zunehmenden Themenvielfalt die Möglichkeit, das Netzwerk um weitere Fachexperten aus deutschen, öffentlichen Einrichtungen wie z. B. Bundesbehörden oder Forschungseinrichtungen des Bundes und Akteure aus relevanten Bundesländer-Arbeitsgruppen (z. B. AdV und GDI-DE) oder Forschungsgemeinschaften, in denen bereits Copernicus-Daten für die Erfüllung der fachlichen Aufgaben genutzt werden, zu ergänzen.

Die Fachexperten sind thematisch nicht einzelnen Copernicus-Diensten zugeordnet, konzentrieren sich aber auf bestimmte Anwendungsfelder und/oder Teilbereiche verschiedener Dienste. Die Fachexperten sind direkte Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner für die Fachkoordinationen und bringen ihre Fachexpertise mit ein (z. B. für die Bereiche Binnengewässer, Land- und Forstwirtschaft, Stadtentwicklung, Georisiken und Entwicklungszusammenarbeit). Die Fachexperten stellen thematische Informationen für die nationalen Nutzerkreise bereit und unterstützen die Pflege und den Ausbau der entsprechenden Netzwerke in ihrem Fachinteresse. Hierbei werden sie von der nationalen Copernicus-Fachkoordination fachlich unterstützt. Sie werden über relevante Entwicklungen informiert und bei Bedarf in die Abstimmungen der Fachkoordinationen mit eingebunden. Sie können bei fachlichem Bedarf zu nationalen Vorbereitungen des EU Copernicus User Forums und zu Sitzungen der Fachkoordinationen eingeladen werden.

Fachexperten werden nach einer schriftlichen Interessensbekundung gegenüber dem BMVI und in Abstimmung mit den Fachkoordinatorinnen und Fachkoordinatoren bestätigt. Derzeit sind drei Einrichtungen des Bundes als Fachexperte benannt: Das Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung des Julius Kühn-Instituts für den Bereich Landwirtschaft, die Bundesanstalt für Gewässerkunde für den Bereich Binnengewässer und Bundeswasserstraßen und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe für den Bereich Rohstoffe, Georisiken und Bodenbewegungsdienst (Die Kontaktpersonen finden Sie in Tabelle 2.2).

In den folgenden Abschnitten stellen wir dar, warum die Erweiterung des Fachnetzwerkes um diese Bereiche wichtig ist und war.

Fachexpertise für den Bereich Landwirtschaft

Auf nationaler Ebene ist die Landwirtschaft der größte Flächennutzer. Die Bewirtschaftung der Ackerflächen führt zu permanenten Veränderungen des Erscheinungsbildes der Landoberfläche (z. B. Zwischenfrüchte, offener Boden, unterschiedliche Anbaufrüchte, Phänologie).

Fachexperten werden nach einer schriftlichen Interessensbekundung gegenüber dem BMVI und in Abstimmung mit den Fachkoordinatorinnen und Fachkoordinatoren bestätigt.

LANDWIRTSCHAFT	ROHSTOFFE
 <p data-bbox="432 237 707 315">Dr. Holger Lilienthal JKI</p> <p data-bbox="432 324 667 356">☎ 0531 596 2136</p> <p data-bbox="280 385 778 416">holger.lilienthal@julius-kuehn.de</p>	 <p data-bbox="959 237 1185 315">Dr. Michaela Frei BGR</p> <p data-bbox="959 324 1203 356">☎ 0511 643 28 65</p> <p data-bbox="807 385 1107 416">michaela.frei@bgr.de</p>
BINNENGEWÄSSER	
 <p data-bbox="432 524 667 602">Dr. Björn Baschek BfG</p> <p data-bbox="432 607 683 638">☎ 0261 1306 5395</p> <p data-bbox="280 667 507 698">baschek@bafg.de</p>	

Tab. 2.2: Weitere Fachexperten als Ansprechpartnerin und Ansprechpartner im nationalen Copernicus-Fachnetzwerk.

Als Ergänzung zu den Europäischen Diensten werden deshalb auf nationaler Ebene Daten mit einer höheren zeitlichen und inhaltlichen Informationsdichte entwickelt. Mit Hilfe der Sentinel-1-Radarsatelliten lassen sich phänologische Termine wie Aussaat und Ernte, aber auch die Anbaukulturen genau bestimmen. Durch die Kombination mit den optischen Daten der Sentinel-2-Satelliten lassen sich so die angebauten Fruchtarten kartieren und im zeitlichen Verlauf die Fruchtfolgen ableiten, also die Reihenfolge der Anbaukulturen über die verschiedenen Jahre. Die räumliche Auflösung der Sentinel-1- und -2-Satelliten erlaubt die schlaggenaue Erfassung. Eine Aggregation auf Gemeinde, Landkreis oder Bundeslandebene ist somit einfach umzusetzen.

Das Forschungszentrum für landwirtschaftliche Fernerkundung (FLF) des Julius Kühn-Instituts wertet die Sentinel-1- und Sentinel-2-Daten systematisch für Deutschland aus und stellt die Daten kostenfrei für nationale Behörden und Forschungseinrichtungen zur Verfügung. Die Dienste sind derzeit noch im Aufbau, aber ab 2019 werden erste Daten verfügbar sein.

Fachexpertise für den Bereich Binnengewässer und Bundeswasserstraßen

Für das flächige Monitoring von Binnengewässern bieten die Sentinel-Satelliten einen Datenschatz und neue Möglichkeiten. Es entstehen bei mehreren der Copernicus-Dienste immer mehr Produkte, die für Binnengewässernwendungen wertvolle Informationen liefern.

Als Beispiele gibt es über den Länddienst globale Produkte für Seen und hochaufgelöste Informationen über Uferbereiche der Flüsse. Im Bereich der großen Seen und Flüsse können Sentinel-2-Daten weiter auf Trübung oder Chlorophyll ausgewertet werden. Zum Meeresdienst gibt es über die Ästuare und Küstenzonen einen „fließenden“ Übergang. Über Satelliten hinaus spielen andere Plattformen wie Flugzeuge und Drohnen eine wichtige Rolle.

Als Fachexperte für den Bereich Binnengewässer sammelt die BfG Informationen zu Diensten, Projekten und aktuellen Beispielen und stellt diese den Nutzenden regelmäßig zur Verfügung.

Fachexpertise für den Bereich Rohstoffe, Georisiken und Bodenbewegungsdienst

Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ist ein wichtiger Akteur und aktiver Ansprechpartner für fachliche Informationen zu fernerkundlichen Aspekten in den Themenbereichen Georisiken, Rohstoffe, Wasser und Boden, sowie in der Entwicklungszusammenarbeit.

Zur Erfüllung ihrer fachlichen Aufgaben nutzt die BGR u. a. in erheblichem Maße Copernicus-Daten. So entwickelt sie beispielsweise aktuell basierend auf Copernicus-Daten den Bodenbewegungsdienst Deutschland (BBD) und ist in maßgeblicher Funktion am Aufbau eines Europäischen Bodenbewegungsdienstes² beteiligt.

Zudem erarbeitet die BGR im Rahmen der internationalen technischen Zusammenarbeit im Wassersektor, im Rahmen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel oder an geogene Gefahren sowie im Bereich der nachhaltigen Rohstofferkundung anwendungsorientierte Nutzungskonzepte für Copernicus-Fernerkundungsdaten. Auf diesem Wege fließen die Copernicus-Daten in die Beantwortung von Fragestellungen zur Erkundung, Kartierung und Bewertung von Geologie, Georisiken, Umwelt, Boden, Wasser und Rohstoffen und somit auch in die nationalen und internationalen Netzwerke der BGR wie die Geologischen Dienste, Forschungsinstitute und die Industrie mit ein.

Nicht zuletzt führt die BGR fachspezifische Workshops mit relevanten Nutzergruppen durch.

² EU-GMS

Teil II

ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

In diesem Teil stellen Ihnen Kolleginnen und Kollegen aus verschiedenen Einrichtungen Anwendungsfälle vor, bei denen sie bereits Copernicus-Daten und Produkte verwendet haben. Zudem stellen sie dar, in welchen Bereichen ihres jeweiligen Fachgebietes sie Potenzial für neue Entwicklungen sehen.

3.1 EFFIZIENTE NAVIGATION IM EIS

Lasse Rabenstein¹

¹Drift+Noise GmbH, Bremen, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

In Arktis und Antarktis sind Fernerkundungsdaten oft die einzige Quelle der für die Seeschifffahrt essenziellen Informationen über den aktuellen Zustand des Eises und der Eisdrift. Auf Basis von u. a. Copernicus Erdbeobachtungsdaten entwickelt das Start-up Drift+Noise GmbH Dienstleistungen für die Verbesserung der Eisinformationen an Bord von Schiffen.

EINLEITUNG

Durch den klimawandelbedingten Rückgang des arktischen Meereises wird das für die maritime Wirtschaft interessante jahreszeitliche Fenster mit geringerer Eisbedeckung zusehends größer. Nordost- und Nordwestpassage sind länger befahrbar und können somit als kürzere Seewege genutzt werden, und der Abbau von Rohstoffen in der Arktis wird leichter. Um die Risiken der zunehmenden, wirtschaftlichen Aktivitäten für das arktische Ökosystem zu minimieren, hat die International Maritime Organization zum 1. Januar 2017 den POLAR-CODE in Kraft gesetzt. Dieser setzt das Vorhandensein von aktuellen Eisinformationen an Bord eines Schiffes voraus. Als Quelle dieser für die Schifffahrt essenziellen Informationen über den Zustand des Eises kommen in den Polargebieten häufig nur Fernerkundungsdaten in Frage. Hier beschreiben wir, welche Erfahrungen wir als KMU mit der Nutzung der durch das Copernicus Programm kostenfrei zur Verfügung gestellten Erdbeobachtungsdaten gemacht, und wie wir sie in nutzerfreundliche Anwendungen implementiert haben.

Bis in die Nullerjahre hinein wurden nur einzelne Aktivitäten in den Polargebieten mit tagesaktuellen Satellitenbildern unterstützt. Dies lag daran, dass die Bilder mit Preisen von mehr als 5.000 USD pro Satellitenszene zu kostspielig waren und grundsätzlich nur bestimmte Nutzergruppen Zugang zu solchen Daten hatten (Militär, Wissenschaft). Diese Situation hat sich durch das Copernicus Programm grundlegend geändert, da der Allgemeinheit nun nicht nur Satellitenbilder, sondern auch Modellergebnisse und In-situ-Daten kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. So bietet der Copernicus Marine Environmental Monitoring Service (CMEMS) bereits auch eine Fülle von operationellen Eisinformationen wie z. B. grob aufgelöste Eisvorhersagen über die Konzentration, Drift und Eisdicke.

Die Schwierigkeit liegt aber darin, dass all diese Daten in den Arbeitsprozess an Bord eines Schiffes integriert werden müssen. Diese Lücke zwischen Datenverfügbarkeit und Datenintegration führte zur Gründung des Bremer Start-ups Drift+Noise Polar Services (www.driftnoise.com) und steht damit exemplarisch für die Gründung eines neuen, serviceorientierten Unternehmens,

Die Drift+Noise GmbH wurde 2014 aus einer Helmholtz Enterprise Initiative als Ausgründung des Alfred Wegener Instituts gegründet und hat ihren Sitz in Bremen. Zu ihren Kunden gehören Unternehmen aus der Expeditionskreuzfahrt wie Hapag-Lloyd Cruises oder Behörden wie der Australian Antarctic Service.

welches vor allem durch die offene Datenpolitik des europäischen Erdbeobachtungsprogramms getrieben ist.

HERAUSFORDERUNGEN DER NAVIGATION IM EIS

Packeis stellt für ein Schiff eine ernstzunehmende Gefahr dar und reduziert die Planungssicherheit. Um die finanziellen Folgen einer schlechten Planung zu verstehen, muss man die Betriebskosten eines Eisbrechers kennen, die zwischen 15.000 und mehr als 70.000 € pro Tag liegen können. Steckenbleiben im Eis ist also keine Option. Darüber hinaus schreibt der POLAR-CODE das Vorhandensein von aktuellen Eisinformationen an Bord vor. Die Nutzer (siehe Tabelle 3.1) haben also Bedarf an einer besseren Eisinformationslage an Bord, um vorausschauender planen zu können, die Sicherheit an Bord zu erhöhen, Vorschriften besser einhalten und ihre Kosten durch eine optimale Routenfindung reduzieren zu können.

Tab. 3.1: Nutzende von Eisinformationen auf dem arktischen und antarktischen Markt und Ihre Motivationen.

NUTZENDE	MOTIVATION
Dienstleister von Expeditionskreuzfahrten	- Umsatzsteigerung durch Bedienung wachsender Nachfrage an Abenteuer- und Luxusreisen in entlegene Gebiete
Handelsschifffahrt	- Umsatzsteigerung durch Transport von Rohstoffen und Materialien in und aus der Arktis - Kosteneinsparung durch Nutzung der um etwa 20% kürzeren Handelsrouten zwischen atlantischen und pazifischen Handelsräumen
Staaten und ihre Polarinstitutionen	- Forschung - Präsenz zeigen, um bei politischen Themen in Arktis und Antarktis Mitsprache zu erlangen
Explorations- und Rohstoffunternehmen	- Lokalisierung und Ausbeutung von Rohstoffvorkommen

Für die in Tabelle 3.1 genannten Akteure ergeben sich drei unterschiedliche Szenarien:

1. Schiffe ohne Eisklasse müssen das Eis komplett meiden.
2. Andere können nur in leichten Eisbedingungen manövrieren.
3. Eisbrechende Schiffe müssen den optimalen Weg durch dichtes Eis finden.

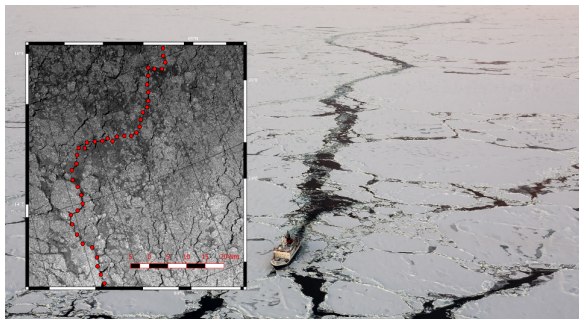
Jedes dieser Szenarien benötigt unterschiedlich genaue Informationen. Der ersten Gruppe, die das Eis komplett meiden muss, reicht im Prinzip eine aktuelle Information über die Position der Eiskante und deren prognostizierte Entwicklung über die nächsten Tage. Die zweite Gruppe benötigt zusätzlich Informationen über die Eiskonzentration und den Eistyp (z. B. ein- oder mehrjähriges Eis). Die dritte Gruppe schließlich benötigt detaillierte Informationen über den Zustand und die Struktur der Eisdecke und deren Dynamik. Zonen, in denen sich das Eis auseinander bewegt, sind leichter zu befahren als Zonen, in denen das Eis durch konvergierende Eisdrift einer Kompaktion unterliegt.

Allen gleich hingegen ist, dass sie diese Informationen operationell und in nahe-Echtzeit benötigen – mindestens täglich. Besser noch häufiger, denn Meereis kann viele Kilometer pro Tag driften; Passagen verschwinden und öffnen sich in relativ kurzer Zeit. Darüber hinaus ist auch eine Prognose über die zukünftige Entwicklung des Eises notwendig.

INTEGRATION VON COPERNICUSDATEN IN DEN ARBEITSALLTAG AN BORD

Die Herausforderung in der Betreuung eines Eisinformativdienstes liegt darin, die Fülle an Daten und deren Komplexität in ein Format zu bringen, das an Bord eines Schiffes für eine schnelle Entscheidungsfindung genutzt werden kann. Man muss sich dabei vor Augen führen, dass das Kerngeschäft von Nutzern von operationellen Eisinformativdaten nicht darin liegt, Geoinformativdaten zu prozessieren und zu verwalten, sondern ein Schiff zu navigieren. Selbst wenn die Expertise vorhanden ist, dauert dies viel zu lange, denn die Informationen über das Eis müssen ja in nahe-Echtzeit vorliegen.

An Bord muss also ein Frontend vorhanden sein, ein weiterer Bildschirm, der eine Vorauswahl von verschiedenen Eisinformativdaten darstellt (siehe Abbildung 3.1b). Und zwar nicht im Stile einer GIS Software, sondern mit den Funktionalitäten einer Navigationssoftware. Idealerweise können die Informationen sogar in eine bestehende Navigationssoftware integriert werden. Dahinter geschaltet ist eine Backend-Struktur, die den automatisierten Transfer an Bord administriert. Ziel ist es, dass der Betreiber eines Schiffes sicher sein kann, aktuelle Eisinformativdaten an Bord zu haben – und zwar automatisiert und integriert, ohne vor jeder Fahrt erneut verschiedene Datenprovider zu aktivieren.



(a) Das Forschungsschiff Polarstern nutzt Sentinel-1 Radarbilder um den effizientesten Weg durch das Eis zu finden. (Hintergrundbild: stefan.hendricks@awi.de)



(b) Integrierter Bildschirm mit Eisinformativdaten an Bord FS Polarstern (Foto: Thomas.Kruppen@awi.de)

Abb. 3.1: Für Schlagzeilen sorgte die Fahrt des Forschungsschiffes Polarstern in die nur sehr selten eisfreie Region nördlich von Grönland im August 2018. Normalerweise liegt dort das dickste Packeis der Arktis. Aufgrund einer guten Informationslage über die aktuelle und prognostizierte Lage des Packeises konnte die eisfreie Situation für geologische Messungen in dieser Region genutzt werden.

In den hohen Breitengraden stellt die limitierte Bandbreite an Bord für den Datentransfer eine besondere Schwierigkeit dar. Webbasierte Dienste, wie wir sie im Alltag gewöhnt sind, funktionieren dort nicht. Das Datenvolumen zu reduzieren ist also ein sehr wichtiger Bestandteil des Dienstes. Mögliche Strategien sind (1) die Reduzierung des Inhaltes auf das Wesentliche, also z. B. nicht ein komplettes Satellitenbild zu transferieren, sondern nur die daraus extrahierte

Eiskante, (2) die Reduzierung auf einen kleinen, vom Benutzer definierten Kartenausschnitt oder (3) die Reduzierung der Auflösung eines Satellitenbildes.

ENTWICKLUNGEN NEUER PRODUKTE ANHAND VON COPERNICUS DATEN

Von sehr großem Wert für die Entwicklung des Eisservices von Drift+Noise sind die Aufnahmen des Radarsatelliten Sentinel-1. Die zwischen 10 und 30 m aufgelösten Bilder sind unabhängig von Sonnenlicht, Bewölkung und Nebel. Ein geübter Eisanalyst kann auf diesen Bildern sogar etwas über den Eistyp in Erfahrung bringen. Die grösste Schwierigkeit liegt jedoch in der korrekten Interpretation der Radarbilder. Darüber hinaus greifen wir aber auch auf optische Fernerkundungsprodukte der NASA, auf Daten über die Eiskonzentration von der japanischen Weltraumbehörde und auf operationelle Wettermodelle wie das ICON-Modell des Deutschen Wetterdienstes zurück. Aus all diesen Daten entwickeln wir neue Produkte und Konzepte, um den Informationsgehalt für eine sichere Navigation im Eis zu erhöhen. Zwei Beispiele seien hier erwähnt.

PROJEKT PRIIMA Viele Akteure benötigen die Informationen und Vorhersagen zum Zustand des Eises in Echtzeit und am besten in der Auflösung eines Satellitenbildes. Die Vorhersagemodelle, die CMEMS¹ operationell anbietet, haben jedoch nur eine Auflösung von 12.5 km, was sehr viel geringer ist. Hinzu kommt, dass Meereis einer ständigen Drift unterliegt, und somit jede Eisinformation, die aus einem Satellitenbild abgeleitet wurde, schon veraltet ist, sobald sie die Nutzenden erreicht. An dieser Stelle setzt das ESA-Kickstart Projekt PRIIMA (Predictive Ice Images) an und verbindet Sentinel-1 Radarbilder mit dem TOPAZ-Eisvorhersagemodell, um eine Animation des Radarbildes in die Zukunft zu erzeugen (siehe Abbildung 3.2). Dies ist vergleichbar mit einer Kurzprognose für den Niederschlag, die viele WetterApps heutzutage anbieten.

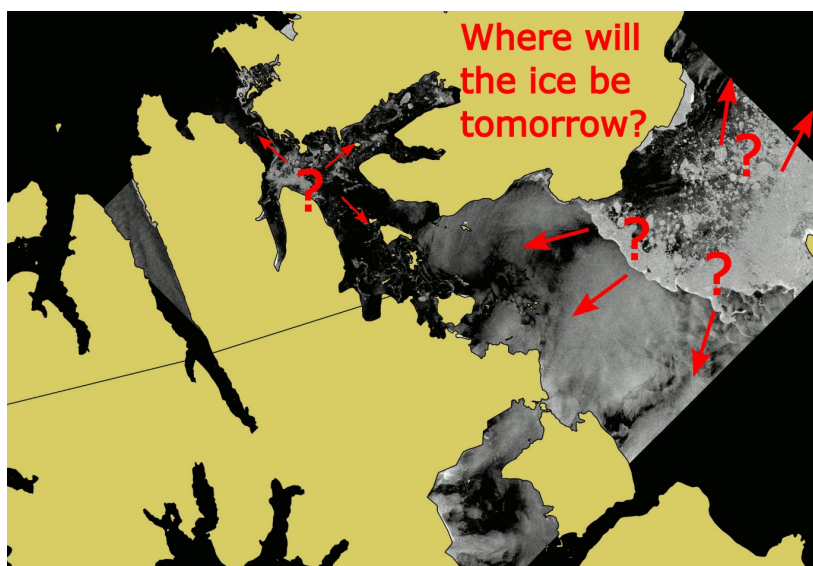


Abb. 3.2: Das Gebiet um die Hinlopen Strait im östlichen Svalbard Archipel ist ein Flaschenhals für die Expeditionskreuzfahrt. Die Abbildung zeigt ein Sentinel-1 Radarbild, auf dem deutliche Packeisfelder zu erkennen sind. PRIIMA stellt in einer Animation dar, in welche Richtung das Eis höchstwahrscheinlich treiben wird.

¹ Copernicus Marine Environment Monitoring Service

PROJEKT MARSAT Innerhalb des BMWi-geförderten Projektes MARSAT wurde das Konzept des Ice-Pad entwickelt. Der Fokus lag auf der Übermittlung hochaufgelöster Sentinel-1-Bilder an die Schiffsbrücke selbst bei niedrigen Bandbreiten (z. B. über IRIDIUM). Der Nutzer kann für vordefinierte, kleine Gebiete zunächst Metainformationen wie etwa das Alter eines neuen Satellitenbildes erhalten. Auf Verlangen kann sich der Nutzer dieses Bild dann wahlweise in hoher oder niedriger Auflösung nur für diesen kleinen Kartenausschnitt herunterladen. Die Ice-Pad-Software wurde testweise auf dem Expeditionskreuzfahrtschiff MS Hanseatic von Hapag-Lloyd Cruises eingesetzt (siehe Abbildung 3.3).



Abb. 3.3: Testnutzung der Ice-Pad-Software auf dem Hapag-Lloyd Cruises Expeditionskreuzfahrtschiff MS Hanseatic in der Nordwestpassage. (Fotos: Hapag-Lloyd Cruises)

ERFAHRUNGEN BEI DER BENUTZUNG VON COPERNICUS DATEN ALS KMU

Rückblickend auf die Gründungsjahre der Drift+Noise GmbH müssen wir sagen, dass die Benutzung offener Daten wie die des Copernicus-Programms ein extrem hohes Innovationsniveau braucht, denn der Vorsprung zur Konkurrenz ist nie groß, können doch alle auf die gleiche Datenquelle zurück greifen. Es müssen ständig neue, intelligente Lösungen und sogenannte value-added Produkte aus den offenen Daten erstellt werden.

Als sogenannter Zwischennutzer, der die Daten mit anderen Daten verschneidet und in einen automatisierten Service mit einbaut, ist die Möglichkeit einer programmatischen Datenabfrage z. B. per API für uns zwingend notwendig. Die Datenablage auf einem FTP-Server mit der Möglichkeit, Metadaten abzufragen, nutzen wir ebenfalls. Ein graphisches Frontend für den Datenzugang wie der Copernicus Open Access Hub der ESA ist hingegen eher auf Endnutzer zugeschnitten, kommt bei uns im Entwicklungsstadium eines neuen Services aber auch zur Anwendung.

Abschließend bleibt zu sagen, dass jeder Dienstleister, der Daten wie die des Copernicus-Programms nutzt, im Grunde ein big-data-Problem für seine Kunden lösen muss. Aus der Fülle an Daten will man am Ende nur wenige Informationen ableiten, die man aber nur bekommt, wenn man alle Daten zusammen betrachtet. Im Fall der Eisnavigation ist es die beste Route. Aber eines ist klar: da die Haftung am Ende beim Betreiber des Schiffes und damit beim Kapitän liegt, wird sich dieser in absehbarer Zeit nicht auf eine einzelne Kursempfehlung verlassen können – er benötigt einen eigenen Gesamtüberblick durch aktuelle Satellitenbilder.

Drift+Noise ist Partner im vom BMWi geförderten Projekt MARSAT, gehört zu den Copernicus Masters Finalists in 2016 und hat 2018 das ESA kick-start Projekt PRIIMA begonnen.

3.2 SATELLITENGESTÜTZTES KLIMAFOLGENMONITORING IN THÜRINGEN

Oliver Bauer¹, Rene Höfer², Jonas Eberle³, Frank Reinhardt¹

¹Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena, Deutschland

²Jena-Optronik GmbH, Jena, Deutschland

³Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Durch den Klimawandel ändern sich die Zeitpunkte der Pflanzenentwicklungsphasen (Pflanzenphänologie) mit Auswirkungen auf Mensch und Umwelt. Der Freistaat Thüringen initiierte 2017 ein Klimafolgenmonitoring, um diesen und andere Klimafolgenindikatoren regelmäßig zu beobachten. Für das Monitoring werden erdgebundene Beobachtungen mit Satellitenbeobachtungen kombiniert. Im Verbundvorhaben PhaenOPT haben wir ein Verfahren entwickelt, das die regelmäßige Beobachtung der zeitlichen Änderungen in der Pflanzenphänologie und die Visualisierung dieser Änderungen über einen Webdienst ermöglicht. Der PhaenOPT-Webservice ist unter www.phaenopt.info frei zugänglich.

EINLEITUNG

Eine Hitze- und Dürreperiode wie im Sommer 2018 wird in naher Zukunft möglicherweise Normalität sein. Auf die durch den Klimawandel gestiegenen Durchschnittstemperaturen reagiert auch die Vegetation: Die Termine pflanzlicher Entwicklungsstadien (sogenannte phänologische Phasen) verschieben sich hin zu früheren Zeitpunkten im Jahr. So blüht die Sal-Weide in Thüringen mittlerweile bis zu 15 Tage früher als 1951 (Ein Beispiel zeigt Abb. 3.4.) — und der Trend hält an! Diese zeitliche Verschiebung der phänologischen Phasen ist ein sogenannter Klimafolgenindikator, der in direktem Zusammenhang mit dem Klimawandel steht und in Zukunft häufiger zu beobachten sein wird (Schönthaler u. a. 2015).

Durch eine längere Vegetationsperiode und eine frühere Pflanzenentwicklung nach dem Winter steigt das Risiko z. B. für eine frühere, längere und stärkere Pollenbelastung für Allergiker (Behrendt 2008; Eis u. a. 2011). Auch können in der Landwirtschaft Spätfröste zukünftig zu höheren Ernteaussfällen führen, da Nutzpflanzen schon weiter entwickelt sind (Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz 2017). Eine zeitliche Verschiebung der Pflanzenphänologie hat demnach direkte Auswirkungen auf Menschen und Umwelt.

PFLANZENPHÄNOLOGIE IN DEUTSCHLAND

Das Erfassen der Pflanzenphänologie hat beim Deutschen Wetterdienst (DWD) eine lange Tradition: Ehrenamtliche Mitarbeiter erfassen an über 1.200 Punkten in Deutschland standardisiert seit Jahrzehnten phänologische Phasen diverser Pflanzen (Deutscher Wetterdienst 2015). Diese zeitlichen Änderungen können mit klimatischen Änderungen (z. B. von Temperatur und Niederschlag) in Beziehung gebracht werden und so auf den Klimawandel rückschließen lassen.

Satellitendaten des Copernicus-Programms geben nun die Möglichkeit, phänologische Kenngrößen großflächig zu bestimmen und die bestehende, punktuelle Datengrundlage des DWD damit zu unterstützen. Das Fachreferat „Kli-

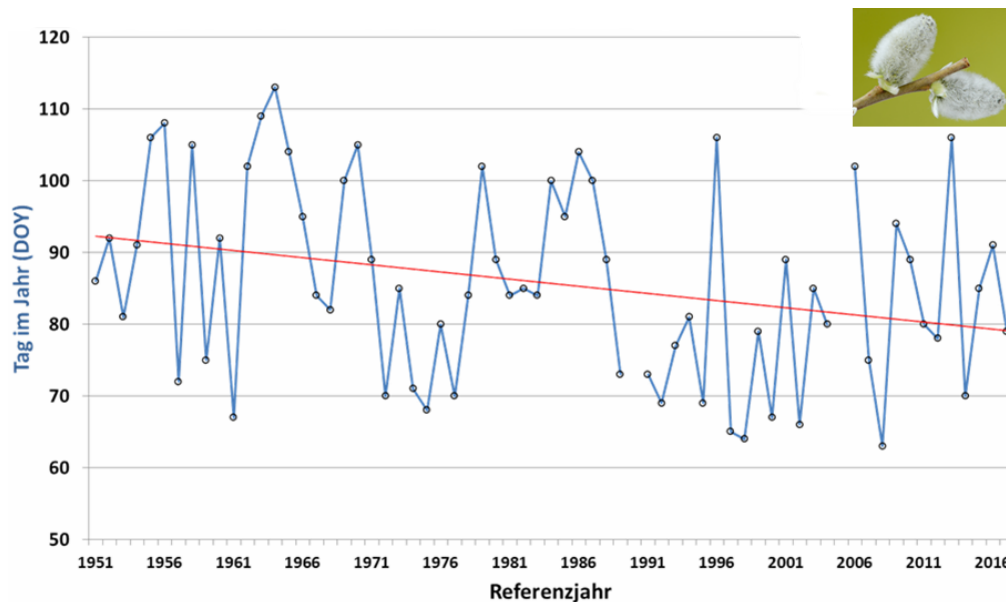


Abb. 3.4: Eintrittstermine der phänologischen Phase „Erstblüte“ der Sal-Weide an der DWD-Station Rastenberg in Thüringen von 1951 bis 2017. Die rote Linie zeigt den Trend für diese phänologische Phase.

maagentur“ an der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) hat im Verbundvorhaben PhaenOPT gemeinsam mit dem Lehrstuhl für Fernerkundung der Friedrich-Schiller-Universität Jena und der Firma Jena-Optronik GmbH die Eignung von Satellitendaten für ein phänologisches Klimafolgenmonitoring untersucht und einen ersten Webservice hierzu entwickelt.

VORAUSSETZUNGEN

Bereits 2017 veröffentlichte das Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz einen Bericht zum Klimafolgenmonitoring im Freistaat Thüringen (Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz 2017). Der Bericht beschreibt die Notwendigkeit der regelmäßigen Beobachtung von Klimafolgenindikatoren wie der Pflanzenphänologie, um rechtzeitig notwendige Klimaanpassungsmaßnahmen ergreifen zu können. Dabei sollen vorhandene, bodengebundene Beobachtungen (In-situ-Daten) mit Satellitendaten unterstützt werden, die für mehrere Jahre gleiche und objektive Standards gewährleisten. Mit dem Projekt PhaenOPT² startete der Freistaat Thüringen ein erstes Pilotprojekt für ein satellitenunterstütztes Klimafolgenmonitoring.

Um den Klimawandel greifbar zu machen, werden Informationen, die aus dem Klimafolgenmonitoring hervorgehen, für die Bürgerinnen und Bürger als Webservice unter www.phaenopt.info bereitgestellt.

BEARBEITUNG

In der im Verbundvorhaben erarbeiteten Methode setzen wir die phänologischen Beobachtungen des DWD mit Satellitendaten (z. B. von Sentinel-3) in Beziehung. In zwei Schritten bestimmen wir den Tag im Jahr, an dem eine phänologische Phase auf der Erdoberfläche beobachtet wird:

² Gefördert von 2016-2018 mit Mitteln des BMVI durch den Projektträger DLR-RFM; Förderkennzeichen: 50EW1611

SCHRITT 1: Interpolation der phänologischen Messungen.

Die punktuellen phänologischen In-situ-Daten werden über ein statistisches Verfahren (Regression Kriging) auf die Fläche Thüringens interpoliert (Hengl 2009). Als Parameter verwenden wir die Tagestemperaturen an den Klimastationen des DWD und deren Geländehöhe aus einem Digitalen Geländemodell. Als Ergebnis erhalten wir für jeden Punkt in Thüringen eine statistische Angabe darüber, wann eine phänologische Phase einsetzt.

SCHRITT 2: Phänologische Informationen aus Satellitendaten.

Aus den Satellitendaten wird für den Tag, an dem eine phänologische Phase beobachtet wird, der Wert des Vegetationsindex (VI) an dem Punkt einer In-situ-Messung extrahiert. Ein VI kann über die Beziehung zweier Wellenlängenbereiche Auskunft zur Entwicklung und den Zustand der Vegetation geben. Im Projektverlauf nutzen wir den Enhanced Vegetation Index (Jiang u. a. 2008, EVI). Haben wir den Wert des EVI am Beobachtungspunkt extrahiert, können wir nun über diesen Schwellenwert an anderen Punkten des Satellitenbilds auf eine phänologische Phase rückschließen. Diese Modellierung erfolgt mit der Software TIMESAT (Jönsson und Eklundh 2004; Eklundh und Jönsson 2015). Wir berücksichtigen bei der Modellierung nur Landbedeckungsklassen, in denen die jeweilige Pflanze potentiell existiert. Basis hierfür ist der Copernicus-Datensatz der „CORINE Landcover (CLC) Klassifikation“ von 2012.

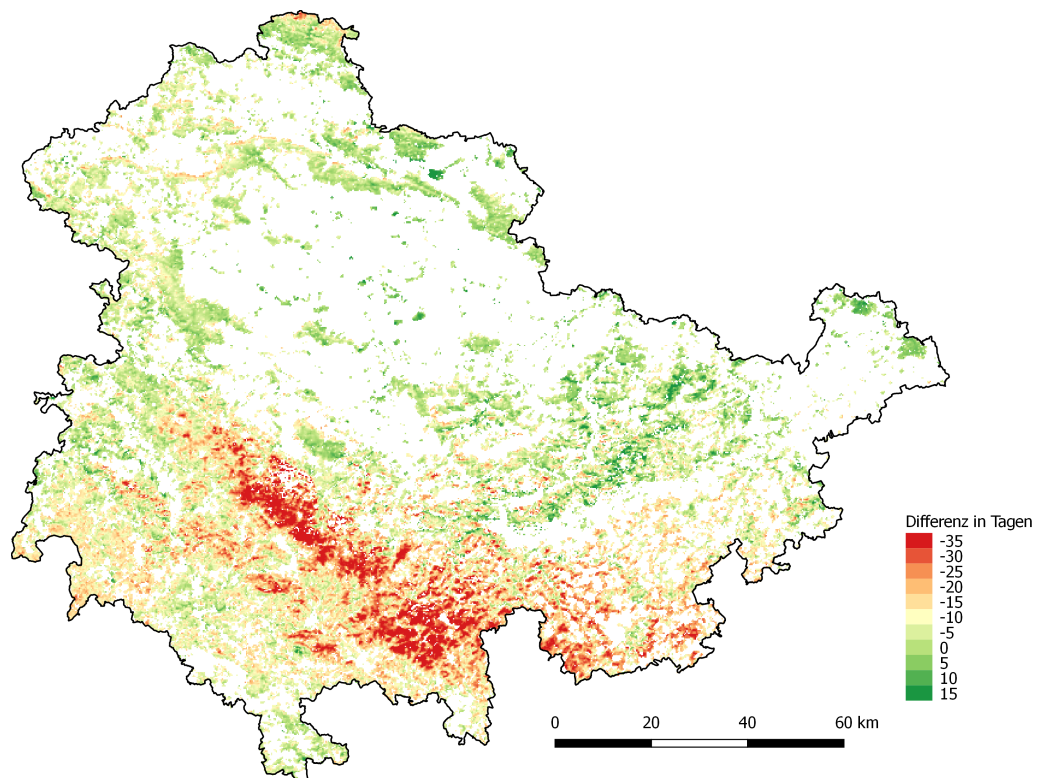


Abb. 3.5: Differenzkarte der über den Zeitraum 2001-2015 gemittelten Eintrittstermine der phänologischen Phase 'Erstblüte' des Busch-Windröschens in Thüringen auf Basis von In-situ- und Satellitenbilddaten.

Werden die Ergebnisse beider Schritte über den Zeitraum 2001 bis 2015 gemittelt und miteinander verglichen, so sehen wir vor allem in den nördlich gelegenen Laubwäldern von Thüringen übereinstimmende, durchschnittliche Ein-

trittstermine für die phänologische Phase 'Erstblüte' des Busch-Windröschens (grün). Hohe Abweichungen (orange-rot) sind auf spektrale Einflüsse von Nadelwäldern im südlichen Thüringen zurückzuführen, in denen das Busch-Windröschen selten bis gar nicht vorkommt (siehe Abbildung 3.5).

AUSBLICK

Derzeit ist die Prozesskette für die Bearbeitung der Satellitendaten an den US-amerikanischen Sensor MODIS (Moderate resolution Imaging Spectroradiometer) angepasst, da hier eine Zeitreihe seit dem Jahr 2000 vorhanden ist. In Zukunft wird die Datenanalyse auf Basis von Sentinel-3-Daten erfolgen, die allerdings erst seit 2017 als jährliche Zeitreihe vorliegen. Die Vorteile der Nutzung der Daten der Sentinel-Flotte liegen aus unserer Sicht auf der Hand:

- Die räumliche (300 m), spektrale (21 Kanäle) und zeitliche Auflösung (ca. zwei Tage) der zwei baugleichen Sentinel-3-Satelliten (A/B) erlauben es, aktuelle Informationen für ganz Thüringen in kurzen Zeitabständen zu extrahieren.
- Die langfristige Perspektive für ein satellitengestütztes Monitoring (Betrieb der Sentinel-Flotte aktuell bis mind. 2031 geplant). An der zweiten Generation der Sentinels wird bereits gearbeitet, was gleichbleibende, objektive Standards über einen längeren Zeitraum garantiert.
- Der einfache Datenabruf erfolgt über verschiedene Plattformen (ESA Science Hub, CODE-DE und andere „Data and Information Access Services“ (DIAS)).
- Jetzt und in Zukunft werden die Satellitendaten kostenfrei zur Verfügung gestellt.

Um die Qualität der Modellierung von Phänophasen zukünftig zu verbessern, sollen zusätzlich zu den phänologischen Beobachtungen des DWD Erhebungen aus den Bürgerwissenschaften (Citizen Science) mit einfließen. Im Verlauf des Vorhabens erfolgten erste positive Tests mit der kostenfreien App „MySeasons“ (Eberle u. a. 2016).

PROJEKTERFAHRUNGEN

Um Überraschungen zu vermeiden, ist es ratsam, sich rechtzeitig vor dem Projektstart über die benötigten Speicher-/Hardwarekapazitäten für die doch sehr umfangreichen Satellitendaten zu informieren und die Ressourcen für den langfristigen Betrieb und die Pflege eines Dienstes rechtzeitig in der Planung zu berücksichtigen. Auch kann man sich Verzögerungen im Projektablauf ersparen, wenn der Abschluss von Datennutzungsvereinbarungen zwischen den Verbundpartnern und/oder externen Institutionen bereits vor Projektbeginn erfolgt.

Zudem lieferte uns die intensive Kommunikation mit potentiellen Nutzerinnen und Nutzern sehr wertvolle Hinweise und Anregungen für die Projektbearbeitung.

3.3 SATELLITENUNTERSTÜTZUNG FÜR DAS TRÜBUNGSMONITORING AN BUNDESWASSERSTRASSEN

Björn Baschek¹, Tobias Brehm¹, Axel Winterscheid¹

¹Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Die Trübung von Gewässern ist ein wichtiger Indikator für Schwebstofffracht und Gewässergüte. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) hat im Projekt „Satellitendaten für das behördliche Gewässermonitoring von Chlorophyll und Trübung“ (WasMon-CT) anhand von Satellitenbildern von Landsat 7, Landsat 8 und Sentinel-2 die flächenhafte Verwendung von Trübungsdaten an Bundeswasserstraßen praxisreif gemacht. Ergebnis war die Erzeugung, Validierung und Kalibrierung satellitengestützter, flächenhafter Trübungsdaten und ihre Aufbereitung zu Beispielprodukten. Mit den Verfahren können nun an der BfG flächige Daten zur Beantwortung von besonderen Fragestellungen und zur gemeinsamen Nutzung mit dem bundesweiten In-situ-Trübungsmessnetz an Bundeswasserstraßen verwendet werden.

EINLEITUNG

Als Bestandteil der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie ist die Trübung ein wichtiger Wasserqualitätsparameter zur Bestimmung des ökologischen Zustandes von Gewässern. Zudem wird die Trübung oft stellvertretend für Schwebstoffkonzentrationen beobachtet. Schwebstoffe (als z. B. Träger von Schadstoffen) sind jedoch nicht nur ein ökologischer Faktor – sie haben auch eine große Bedeutung für das Management von Sedimenten und Baggergut an Wasserstraßen. So sind Fragen nach der Verteilung von Schwebstoffen, ihren Quellen und Senken, die Entwicklung von Schwebstofffrachten im Längsschnitt eines Gewässers oder auch die Eingangsfrachten in Ästuar für das Sedimentmanagement von großem Interesse.

Allein durch punktuelle In-situ-Messungen – der bisherigen Methode zur Erhebung der Schwebstoffkonzentration entlang der Bundeswasserstraßen – können diese Fragen jedoch nicht beantwortet werden. So werden die In-situ-Daten zwar kontinuierlich erhoben; auf größere Gebiete sind sie aber nur schwer übertragbar. Hier können optische Satellitendaten aushelfen, die zwar nicht kontinuierlich verfügbar sind, dafür aber bei Tageslicht und wolkenfreiem Himmel wertvolle Daten über die Verteilung von Schwebstoffen in der Fläche liefern und entsprechend großräumig ausgewertet werden können.

Hier beschreiben wir, wie wir diese Herausforderung im Verbundprojekt „Satellitendaten für das behördliche Gewässermonitoring von Trübung und Chlorophyll“ (WasMon-CT³) durch die Implementierung von Satellitendaten in das Trübungsmonitoring von Fließgewässern überwunden haben⁴.

³ Gefördert im Rahmen der deutschen Copernicus-Aktivitäten des BMVI über den Projektträger DLR-RFM; Förderkennzeichen: 50EW1510

⁴ Parallel wurde in dem Projekt ein Chlorophyll-a-Monitoring am Institut für Seenforschung (ISF) der Landesanstalt für Umwelt und Naturschutz Baden Württemberg (LUBW) vorbereitet

METHODE

Seit 1965 wird die Schwebstoffkonzentration entlang der Bundeswasserstraßen mit Hilfe der Entnahme von Schöpfproben mit anschließender Filtrierung bestimmt. Inzwischen wird diese manuelle und personalaufwändige Probennahmetechnik sukzessive durch Umstellung auf automatisierte Trübungs sonden ersetzt. So werden heutzutage an rund 100 In-situ-Messstationen (mit einer wachsenden Anzahl an automatisierten Trübungsstationen) kontinuierliche Datenreihen zu Schwebstoffkonzentrationen und –frachten ermittelt.

Da es in einem Fluss innerhalb kurzer Zeit zu starken Schwankungen der Trübung kommen kann, spiegeln sich diese großen Variationen in den Zeitserien von Trübungs sonden wieder. Bei Satellitenbildern werden diese flächigen Variationen direkt als flächige Muster sichtbar.

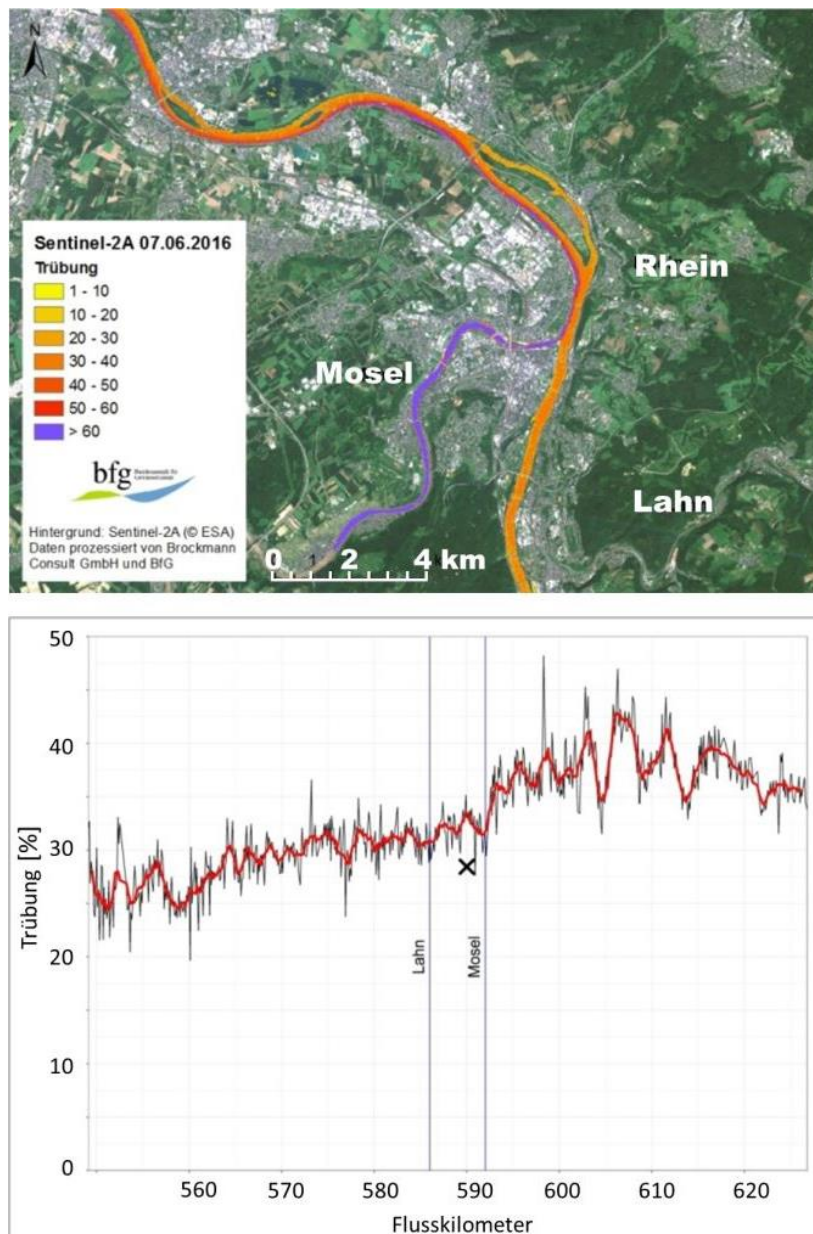


Abb. 3.6: Hier wird am Beispiel einer Sentinel-2-Szene der Moselmündung vom 07.06.2016 ein kalibriertes Rasterbild (Geotiff, oben) und ein Längsprofil (unten) gezeigt. Die flächenhaften Daten zeigen anschaulich, dass die Mosel zu diesem Zeitpunkt eine deutlich höhere Trübung aufwies als der Rhein, und dass die Wasserkörper der beiden Flüsse auch nach Zusammenfluss noch über Kilometer unterscheidbar bleiben.

Das kombinierte Wissen über zeitliche und räumliche Prozesse im Gewässer ist von großer Bedeutung für die Systemkenntnis der Schwebstoffführung, das

Sedimentmanagement und gleichermaßen für die wasserwirtschaftliche Unterhaltung von Wasserstraßen, mit den Zielen einer guten Wasserqualität sowie eines guten ökologischen Zustands der Gewässer. Das fernerkundliche Messprinzip optischer Satellitensensoren ist mit dem der optischen Trübungssensoren verwandt.

Für die Trübung wurden an der BfG zuerst Testgebiete an den großen Bundeswasserstraßen Rhein und Elbe ausgesucht, die von besonderem Interesse für die BfG sind, und wo für die Validierung In-situ-Daten vorliegen. Für diese Testgebiete haben wir über ein Internetportal eines Dienstleisters optische Satellitendaten, insbesondere von Sentinel-2, Landsat 7 und Landsat 8, ausgewählt. Das Internetportal ermöglicht es zudem, sowohl Aufnahmen aus einem Archiv als auch die aktuellen Satellitendaten zeitnah durch den Dienstleister auf Trübung auswerten zu lassen. Nach einer speziellen Atmosphärenkorrektur für Gewässer werden mittels eines Algorithmus' von Nechad u. a. (2009) und Nechad u. a. (2016) die Trübungswerte errechnet. Zudem geben weitere Hilfsprodukte über sogenannte Flags Auskunft über z. B. Wolkeneinflüsse und somit über die Zuverlässigkeit der Ergebnisse. Diese Zwischenergebnisse stehen dann zum Download bereit.

Die weitere, im Projekt erarbeitete Vorgehensweise sieht wie folgt aus: Im Sinne eines möglichst hohen Automatisierungsgrades übernimmt ein Python-Skript den ftp-Download, das Entpacken der Daten und die weitere Verteilung in einer Verzeichnisstruktur. Anschließend findet mit einem R-Skript die Validierung der Daten an der BfG statt. Hierzu sind als Referenz In-situ-Daten in einer Datenbank abgelegt. Dieser Schritt ist in Kombination mit einer sensor- und flussgebietsabhängigen Kalibration wesentlich, um in den validierten Bereichen nicht nur qualitative Aussagen über Trübungsmuster zu treffen, sondern auch quantitativ Trübungswerte in guter Qualität ableiten zu können.

Sowohl die Validierungsdaten als auch spätere Produkte werden gleichermaßen automatisch unter Einsatz der Hilfsprodukte gefiltert, um z. B. Bewölkungseinflüsse oder Auswirkungen von Randbereichen zu reduzieren. Schließlich werden für die Anwender weitere, höherwertige Produkte (siehe Abb. 3.6) wie mit In-situ-Daten kalibrierte Rasterdaten/Geotiffs oder Längsprofile erstellt, die der Nutzer dann beispielsweise direkt in einem GIS-Projekt zur Beantwortung weiterer Fragestellungen verwenden kann.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Im Verbundprojekt WasMon-CT haben wir die Implementierung eines auf Copernicus basierenden, satellitengestützten Trübungs-Monitorings für Fließgewässer vorbereitet.

Wir haben nachgewiesen, dass es möglich ist, Satellitendaten so lokal zu kalibrieren, dass sie mit den Daten und Ergebnissen von Trübungssonden an In-situ-Messstationen vergleichbar sind. Flächenhafte Satellitenbilder sind eine zusätzliche Datenquelle, die konzeptionell in das bestehende Schwebstoffmessnetz integriert werden kann, um damit Punktmessungen an In-situ-Daten um flächenhafte Daten sinnvoll zu ergänzen und somit eine neue Perspektive auf die Schwebstoffverteilung und die Trübung in Gewässern zu erhalten und die Entwicklung von Konzentrationen und Frachten im Längsschnitt zu bestimmen.

Mit Hilfe der flächenhaften Daten können nun Fragen bearbeitet werden, die bisher unbeantwortet geblieben sind, wie z. B. :

1. Wie erfolgt die oberflächennahe Vermischung im Gewässer flussabwärts von Zuflüssen in Abhängigkeit von den hydrologischen und sedimentologischen Bedingungen?
2. Sind die In-situ-Punktmessungen repräsentativ für den umgebenden Gewässerabschnitt?
3. Wo werden eventuell Schwebstoffe im Streckenabschnitt zwischen zwei Messstationen abgelagert?

Als praktische Erfahrungen bei der Projektbearbeitung hat es sich aus unserer Sicht als wesentlich erwiesen,

- die Satellitenbilder in der Cloud vorbearbeiten zu lassen und nur reduzierte Datenmengen zu übertragen,
- einen möglichst hohen Automatisierungsgrad bei der Bearbeitung zu erzielen, um größere Datenmengen berücksichtigen zu können,
- die Satellitendaten mit Hilfe von den Flags aus den Hilfsprodukten/Qualitätsinformationen vorzufiltern und In-situ-Daten zur Erhöhung der Genauigkeit als lokale Kalibration mit einzubeziehen.

Mit Hilfe der erzeugten Produkte haben wir erste angewandte Fragestellungen erfolgreich bearbeitet. Eine Weiterentwicklung der Algorithmen (z. B. für flache Gewässer) und eine fortgesetzte Validierung auf weitere breite Gewässer (momentan > 60–75 m Breite, drei Pixel nebeneinander) und Wertebereiche könnte den Gültigkeitsbereich der Produkte zukünftig noch ausdehnen.

Mit dem WasMon-CT-Projekt haben wir die Verfahren und die technischen Voraussetzungen für eine operationelle Nutzung der ergänzenden Trübungsdaten von Satelliten in Kombination mit In-situ-Daten für das behördliche Gewässermonitoring geschaffen.

Die hier vorgestellte Methode ist für die Zukunft auch deswegen besonders vielversprechend, weil mit den Landsat- und Sentinel-Satelliten Datengrundlagen zur Verfügung stehen, deren Kontinuität langfristig gesichert ist.

3.4 COPERNICUS-DATEN FÜR STADTKLIMASIMULATIONEN

Vera Heene¹, Meinolf Kofsmann¹, Petra Fuchs¹

¹Deutscher Wetterdienst, Offenbach, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Modellsimulationen basierende Stadtklimauntersuchungen bieten die Möglichkeit, sich langfristig auf extreme Wetterereignisse vorzubereiten und geeignete Anpassungsstrategien und Maßnahmenpläne für den Schutz der Bevölkerung zu entwickeln. Im Copernicus-Vorhaben „GMES Urban Atlas für die Stadtklimamodellierung“ (GUAMO) haben wir eine Methode entwickelt, die durch die Nutzung von Produkten des Copernicus Land Monitoring Services die teilweise Automatisierung des Modellsetups unseres Stadtklimamodells und die Durchführung deutschlandweit vergleichbarer Stadtklimasimulationen ermöglicht. Der Vergleich von Simulationsergebnissen zeigt, dass mit der neu entwickelten Methode realistischere Stadtklimasimulationen erreicht werden.

EINLEITUNG

Urbane Räume sind aufgrund Ihrer hohen Bebauungs- und Bevölkerungsdichte sowie hochkomplexer Infrastrukturen und Versorgungssysteme besonders anfällig gegenüber wetterbedingten Extremereignissen. Durch die Folgen des Klimawandels und den künftig weiter zunehmenden Anteil der in Deutschland in Städten wohnenden Menschen wird die Beratung der Städte durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) hinsichtlich der Entwicklung des Stadtklimas zunehmend wichtiger. Hier beschreiben wir die Methode und die Auswirkungen der Implementierung von Landnutzungsdaten des Copernicus Land Monitoring Services in das mikroskalige Stadtklimamodell MUKLIMO_3 des DWD.

Computerbasierte Stadtklimasimulationen bilden eine unverzichtbare Grundlage für die vielseitigen Beratungsleistungen des DWD zu allen relevanten Aspekten des Stadtklimas. Hierfür wird bereits seit vielen Jahren das numerische, mikroskalige Stadtklimamodell MUKLIMO_3 (Sievers 2016) im Zentralen Klimabüro des DWD entwickelt und für Untersuchungen zu Wärmebelastungen in Städten sowie als Grundlage für Klimaprojektionen genutzt.

Für die hochwertigen Simulationen, Projektionen und Analysen sind detaillierte Geodaten notwendig, die die Struktur der Städte und ihre Umgebungen präzise beschreiben, so dass die physikalischen Prozesse in Städten und ihre Wechselwirkung mit der Atmosphäre auch für verschiedene meteorologische Bedingungen quantitativ bestimmt und die Wirksamkeit von Anpassungsmaßnahmen bereits vor deren Umsetzung ermittelt werden können.

Bislang erfolgte die Bereitstellung dieser Landnutzungsdaten auf der Basis von Kartierungen. Im Projekt GUAMO haben wir nun eine Methode entwickelt, bei der Landnutzungsdaten des Copernicus Land Monitoring Services in Verbindung mit HRL-Datensätzen genutzt werden, wodurch wir den zeitlichen Aufwand der Vorbereitung der Landnutzungsdaten und der Ableitung der physikalischen Parameter für das Modell deutlich reduzieren konnten.

Im Jahr 2017 lebten bereits 75.72% der deutschen Gesamtbevölkerung in Städten (The World Bank 2017)

DARSTELLUNG VON STÄDTEN IM MODELL UND BISHERIGE DATENVORBEREITUNG

Im Modell MUKLIMO_3 werden eine Stadt und ihr Umland durch einen Landnutzungsdatensatz beschrieben, der durch verschiedene Klassen realisiert wird. Je mehr verschiedene Klassen hierfür benutzt werden, desto genauer ist die Darstellung der Stadt. Jede einzelne Klasse wiederum besitzt verschiedene physikalische Parameter zur Beschreibung der städtischen Eigenschaften, wie z. B. den Versiegelungsgrad zwischen den Gebäuden, den Grundflächenanteil der Gebäude, die mittlere Gebäudehöhe, die Albedo der Dachflächen oder die städtische Vegetation. Für letztere sind z. B. Baumhöhen und Baumbedeckungsgrad relevant. Insgesamt benötigt das Modell mehr als 20 verschiedene physikalische Parameter, um eine Stadt darstellen zu können.

Die Bereitstellung dieser Landnutzungsdaten erfolgte bislang auf der Basis von Kartierungen (z. B. Liegenschafts- oder Biotopkartierungen), aus welchen mit großem zeitlichen Aufwand für jede Stadt individuell verschiedene Klassen definiert wurden, die danach in ein einheitliches Format gebracht werden mussten. Zusätzlich mussten die physikalischen Parameter für die Klassen von Landnutzungsdaten aus der Literatur abgeleitet werden.

AUTOMATISIERUNG DER DATENVORBEREITUNG MIT CLMS-PRODUKTEN

Die frei verfügbaren Produkte des Copernicus Land Monitoring Services (CLMS) bieten nun jedoch die Möglichkeit, die Vorbereitung der Eingangsdaten für das Modell zu automatisieren, da die CLMS-Produkte bereits fertige Landnutzungsdatensätze inklusive einiger wichtiger physikalischer Parameter enthalten.

Dies haben wir uns im Projekt GUAMO zunutze gemacht und eine Methode für die Automatisierung der Datenvorbereitung entwickelt, sodass die Notwendigkeit entfällt, die über CLMS bereits verfügbaren Parameter aufwendig aus der Literatur zu bestimmen. Folgend genannte Produkte des CLMS haben wir genutzt:

- Urban Atlas und CORINE Land Cover haben wir zu einem flächendeckenden Landnutzungsdatensatz zusammengeführt. Dieser Vektordatensatz ist für jede weitere Datenvorbereitung für verschiedene Auflösungen des Modellgebietes genutzt worden und wird auf dem Portal GDI-DE zur Verfügung gestellt.
- Aus den High Resolution Layer (HRL) Datensätzen „Imperviousness“ und „Tree Cover Density“ haben wir die beiden physikalischen Parameter „Versiegelungsgrad“ und „Baumbedeckungsgrad“ gewonnen.
- Aus dem Digital Elevation Model (EU-DEM) haben wir die Geländehöhen ermittelt.

Weiterhin sind Informationen über den Gebäudegrundflächenanteil, die Gebäudehöhe und den Wandflächenindex erforderlich. Da Copernicus die Gebäudehöhe bisher jedoch nur für europäische Hauptstädte anbietet, haben wir diese Parameter aus dem 3D-Gebäudemodell LoD₁ abgeleitet.

Zudem haben wir eine neue Methode entwickelt, mit welcher wir die physikalischen Parameter direkt als Rasterdaten in MUKLIMO_3 einlesen können. Damit haben wir die Mittelungen über Klassen vermieden, was letztlich zu

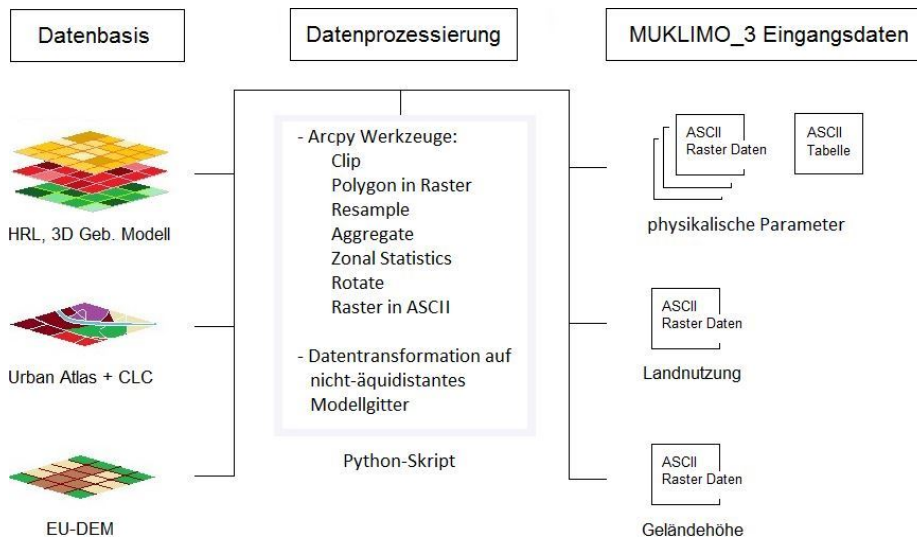


Abb. 3.7: Schematischer Ablauf der Datenvorbereitung. Durch einen Konfigurationsmechanismus können die Daten aus dem gewünschten Modellgebiet für verschiedene Rechengitter (äquidistant / nicht-äquidistant) in ein für das Modell nutzbares Format transformiert werden.

einer besseren Beschreibung der Städte geführt hat. Waren Parameter nicht verfügbar, haben wir für diese wie bisher den Landnutzungsdatensatz mit den Literaturwerten als Grundlage genutzt.

Schließlich haben wir alle genannten Produkte als Eingangsdaten in ein Python-Skript implementiert und somit die Datenvorbereitung automatisiert (siehe Abbildung 3.7), wodurch sich der zeitliche Aufwand für die Vorbereitung der Daten insgesamt deutlich reduziert hat.

VERGLEICH DER NEUEN MIT BISHERIGER METHODE

Um die Gleichwertigkeit oder eine Verbesserung der in GUAMO entwickelten Methode gegenüber der bisherigen Methode (Kossmann 2012) zu demonstrieren, haben wir beide Methoden auf vier Teststädte angewandt und miteinander verglichen. Abbildung 3.8 zeigt den Vergleich beider Methoden anhand von Modellergebnissen für die Stadt Köln für idealisierte Schönwetterbedingungen mit Sonnenstand eines 7. Juli.

Für beide Methoden zeigen die Simulationen auf den ersten Blick ein plausibles Ergebnis: in beiden Simulationen werden die höheren Temperaturen jeweils über versiegelten Flächen mit Bebauung simuliert, was auf die Energieumsetzungen an den Gebäuden (z. B. niedrige Albedo und geringe Verdunstung) zurückzuführen ist. Beiden Methoden gleich ist auch, dass im Wald deutlich niedrigere Temperaturen simuliert werden, was sich aus der reduzierten Sonneneinstrahlung und der höheren Verdunstungsrate im Wald ergibt. Auch ist die Orographie im Nordosten des Modellgebiets für die Temperaturverteilung ein wichtiger Faktor.

Bei genauerem Hinsehen werden jedoch Unterschiede deutlich, denn die Verteilung der Lufttemperatur hängt stark von der präzisen städtischen Struktur im Modell ab. So variiert die simulierte Temperatur bei der bisherigen Methode (Abb. 3.8a) zwischen 26.3 °C im Umland und 32.6 °C in der Innenstadt, während die Temperatur in der Simulation mit der neuen Methode (Abb. 3.8b) im Zentrum von Köln ein Maximum von 34 °C erreicht.

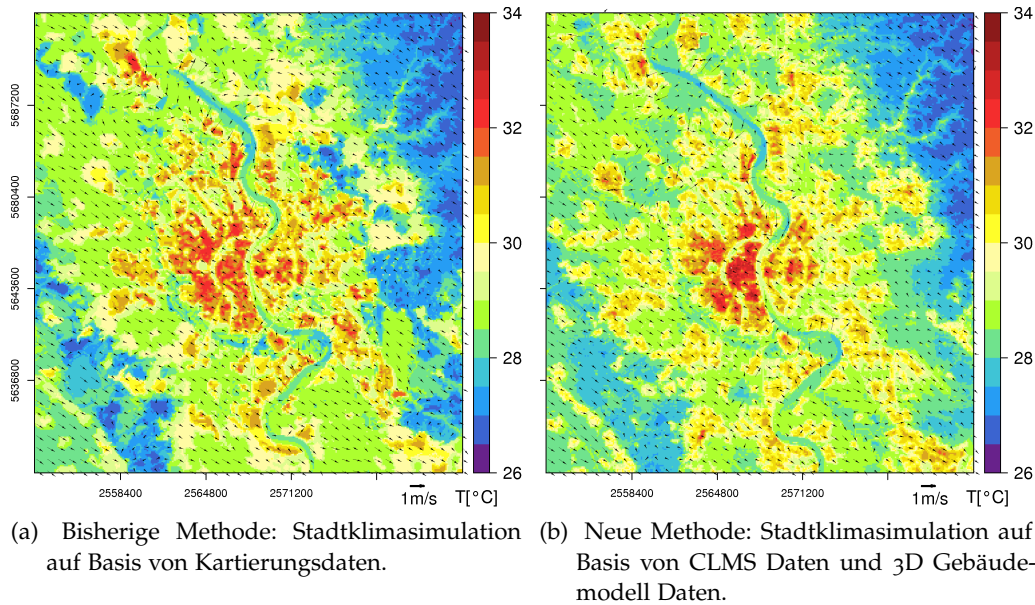


Abb. 3.8: Vergleich der mit unterschiedlichen Eingangsdaten mit MUKLIMO_3 simulierten Lufttemperatur und Wind um 16:00 Uhr MESZ in 5 m über Grund in der Stadt Köln (Achsenbeschriftungen mit Gauß-Krüger Koordinaten).

Diese höheren Temperaturen im Stadtkern entstehen durch eine realistischere Darstellung von Gebäudeparametern bei der neuen Methode (Abb. 3.8b), die in der Innenstadt höhere Werte des Gebäudegrundflächenanteils, der Gebäudehöhe und des Wandflächen Indexes aufweisen. In der Simulation mit der bisherigen Methode (Abb. 3.8a) ist die Gebäudebeschreibung durch die beschriebenen Klassen (siehe Seite 39) realisiert worden, denen lediglich konstante mittlere Werte der Gebäudeparameter zugeordnet sind, wodurch hier etwas niedrigere Maximaltemperaturen erreicht werden. Ähnlich verhält es sich bei den Temperaturen im Wald. Während in der Simulation mit der neuen Methode (Abb. 3.8b) der Baumbedeckungsgrad von etwa 40% bis 80% variiert, ist der Wald bei der bisherigen Methode nur durch eine Klasse mit konstantem Baumbedeckungsgrad von 100% beschrieben worden. Der realistischere, niedrigere Baumbedeckungsgrad bei der neuen Methode führt so zu einer höheren Sonneneinstrahlung und deshalb auch im Wald zu etwas höheren Temperaturen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Produkte des Copernicus Land Monitoring Services bieten erstmals die Möglichkeit, die Vorbereitung der Landnutzungsdaten für das Modell MUKLIMO_3 des DWD zu automatisieren und damit den zeitlichen Aufwand deutlich zu reduzieren. Folgende Produkte des CLMS sind für uns von besonderem Interesse:

- Räumlich hoch aufgelöste Produkte, die Stadtklimasimulationen mit Auflösungen von 50 m bis 200 m ermöglichen.
- Flächendeckende und deutschlandweit einheitliche Datensätze, die die deutschlandweite Vergleichbarkeit und Interpretierbarkeit der Modellergebnisse ermöglichen.
- Lieferung weiterer, wertvoller Eingangsdaten für die geplante Fortschreibung des Copernicus Urban Atlas, der HRL und der CORINE Land Cover

Daten, die eine nachhaltige Nutzung für die Stadtklimamodellierung ermöglichen.

Zudem bietet die Nutzung von einheitlichen Copernicus Eingangsdaten für Stadtklimasimulationen für ganz Deutschland den großen Vorteil, dass die Simulationsergebnisse aufgrund des einheitlichen Vorgehens für verschiedene Städte vergleichbar sind.

Das im Rahmen des Projektes GUAMO entwickelte Tool wird in Zukunft als Preprocessing Komponente für das Modell MUKLIMO_3 im DWD genutzt und der Modellnutzer-Community zur Verfügung gestellt werden. Wir planen, neue verfügbare Datensätze zu integrieren und die Ergebnisse des Vorhabens zu veröffentlichen.

Für die zukünftige Stadtklimamodellierung sind aus Satellitendaten flächenhaft bestimmte Werte der Gebäudegrundfläche, der Gebäudehöhen und der Baumhöhe und weiterer Parameter zur Beschreibung der städtischen Struktur aus unserer Sicht besonders wünschenswert.

3.5 ERMITTLUNG UND MONITORING VON SENDAI INDIKATOREN

Fabian Löw¹ & Michael Judex¹

¹Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, Bonn, Deutschland

ZUSAMMENFASSUNG

Das Sendai-Rahmenwerk der Vereinten Nationen formuliert sieben Ziele, um bis 2030 die Katastrophenrisiken und Verluste jeglicher Art weltweit zu minimieren. Zur Messung des globalen Fortschritts bei der Umsetzung des Sendai-Rahmenwerks wurden 38 Indikatoren identifiziert. Mit dem Projekt „Ermittlung und Monitoring von Sendai-Indikatoren mit Copernicus und Satellitenfernerkundung in Deutschland“ (Cop4Sen) möchten wir Verfahren entwickeln, mit denen künftig flächige Daten für die Erfassung von Sendai-Indikatoren aus Fernerkundungsdaten verwendet werden können.

EINLEITUNG

Zur Reduzierung globaler Katastrophenrisiken verabschiedeten die Vereinten Nationen auf der dritten Weltkonferenz der Vereinten Nationen zur Reduzierung von Katastrophenrisiken (2015-2030) am 15. März 2015 im japanischen Sendai das „Sendai Framework for Disaster Risk Reduction“. Dieses Sendai-Rahmenwerk ist der internationale Bezugspunkt für die Katastrophenvorsorge und konzentriert sich auf ein umfassendes Risikomanagement, mit dem zielgerichtete Initiativen und Maßnahmen ergriffen werden sollen, um Risiken und negative Auswirkungen von z. B. Hochwasser-Ereignissen implementieren und Verluste durch Katastrophen reduzieren zu können. Dafür ist eine transparente und international vergleichbare Überprüfung der Zielerreichung erforderlich, weshalb ein neues System von quantifizierbaren Indikatoren entwickelt wurde, um weltweit einheitlich den Status und die Fortschritte darstellen, vergleichen und bewerten zu können⁵. In Deutschland wird zum jetzigen Zeitpunkt jedoch keiner dieser Indikatoren direkt gemessen. Hier beschreiben wir, wie wir mit dem Vorhaben Cop4Sen⁶ die Potentiale von Copernicus für die Erfassung der Sendai-Indikatoren untersuchen wollen.

ZIELE DES SENDAI-RAHMENWERKS

Im Sendai-Rahmenwerk wurden sieben globale Zielvorgaben vereinbart (UNISDR 2015), um die weltweiten Fortschritte bei der Umsetzung des Rahmenwerks durch zielspezifische Indikatoren messbar (Assembly 2016) und in einem regelmäßigen Bericht, dem „Sendai Monitor“, sichtbar zu machen. Zu den Zielen zählen unter anderem die Reduktion der Anzahl von Todesopfern durch Katastrophen, die Reduktion wirtschaftlicher und infrastruktureller Schäden sowie der Ausbau der internationalen Kooperation im Bereich Katastrophenvorsorge. Zudem setzt das Sendai-Rahmenwerk vier Handlungsprioritäten fest, darunter die Schaffung eines besseren Verständnisses von Katastrophenrisiken und die Verbesserung der Katastrophenvorsorge (siehe Abbildung 3.9).

⁵ <https://www.preventionweb.net/drr-framework/sendai-framework-monitor/indicators>

⁶ Cop4Sen wird für 30 Monate im Rahmen der nationalen Copernicus-Aktivitäten des BMVI über den Projektträger DLR-RFM gefördert (Förderkennzeichen: 50EW1705).

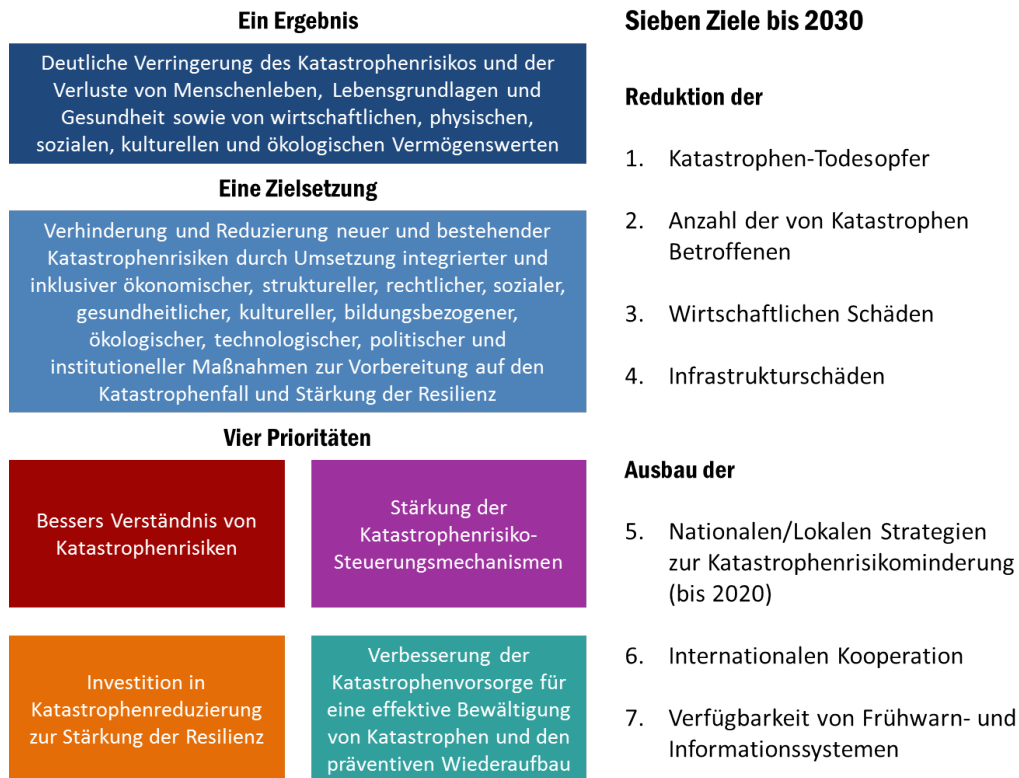


Abb. 3.9: Ziele und Prioritäten des Sendai-Rahmenwerks (Eigene Abbildung, verändert nach UNISDR (2015)).

SENDAI MONITORING IN DEUTSCHLAND

Im April 2017 wurde das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) als „Sendai National Focal Point“ zur Umsetzung des Sendai-Rahmenwerks in Deutschland benannt. Die Sendai-Geschäftsstelle im BBK ist verantwortlich für die Koordinierung der im Rahmenwerk vorgesehenen regelmäßigen Berichtspflichten im Kontext des „Sendai Monitors“ und der damit verbundenen Erfüllung von Aktivitäten beim Thema Indikatoren und Datenbereitstellung.

Derzeit wird in Deutschland jedoch keiner der insgesamt 38 Sendai-Indikatoren direkt gemessen, weshalb stattdessen verschiedene, potentielle Datenquellen wie nationale Berichte und Statistiken zum Reporting in Erwägung gezogen werden müssen. Diese Datenquellen haben jedoch den Nachteil, dass sie z. B. nicht immer rückwirkend bis 2005 erfasst wurden⁷, dass Schadensdaten nur für einen einzelnen Gefahrentyp gelten (z. B. nur Hochwasser), kein einheitlicher Ansatz für die Erfassung der Schadensdaten verwendet wurde, oder sie nur für einen Sektor gelten (z. B. Landwirtschaft).

Um nun die nationale Erhebung von Sendai-Indikatoren zu unterstützen oder teilweise überhaupt erst zu ermöglichen, möchten wir mit dem Vorhaben Cop4Sen die Potentiale der Satellitenbildfernerkundung und von Copernicus für die Erfassung der Sendai-Indikatoren in Deutschland untersuchen.

⁷ Der Sendai Monitor sieht vor, durch Auswertung von Daten aus zurückliegenden Jahren (2005 – 2015) für die jeweiligen Indikatoren einen Ausgangswert/Vergleichswert („baseline“) abzuleiten.

ANWENDUNGSPOTENTIAL

Aus unserer Sicht lässt sich eine Vielzahl möglicher Anknüpfungspunkte für die Erfassung der Indikatoren identifizieren. So kann man mithilfe der Fernerkundung bereits zwei der grundsätzlichen Eingangsgrößen für Sendai-Indikatoren ableiten: die Kriseninformation, das heißt die Ausdehnung eines Ereignisses (wie z. B. Hochwasser) und die exponierten Elemente (z. B. Infrastrukturen).

Zudem kann die Erfassung von Schadensdaten im Sendai Monitoring durch die Ableitung von Gefahrenlagen aus Satellitenbildern unterstützt werden. Die vom Copernicus-Notfallkartierungsdienst CEMS (siehe Erläuterungen auf Seite 12) erstellten Hochwasserkarten sind ein gutes Beispiel hierfür. Die Verknüpfung von aus Satellitenbildern abgeleiteten Hochwasserinformationen mit sozio-ökonomischen Kennziffern – wie etwa den Vermögenswerten der vom Hochwasser betroffenen Regionen – ermöglicht beispielsweise eine Aussage über den Zusammenhang zwischen der Intensität des Ereignisses und den Objekteigenschaften (z. B. Gebäudehöhe) und somit zum zu erwartenden, relativen Schaden (siehe Abbildung 3.10). Durch Verknüpfung der Informationen zum relativen Schaden und den ermittelten Gesamtwerten, könnte eine Aussage über die ökonomischen Verluste getroffen werden.

Zusätzlich können durch die Nutzung von Satellitenbildarchivdaten Ereignisse aus zurückliegenden Jahren ausgewertet und somit wertvolle Basisdaten für die jeweiligen Indikatoren abgeleitet werden. Mit den Sentinel-Satelliten des Copernicus-Programms kann ein flächendeckendes Monitoring von Hochwasserschadenskarten aufgebaut werden.

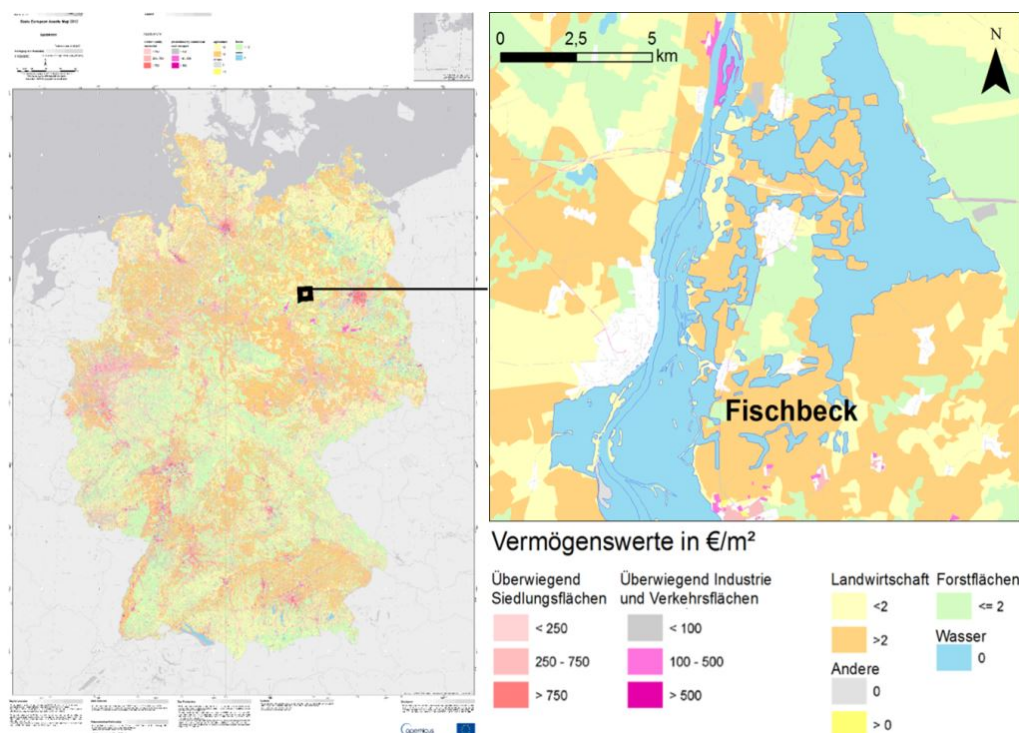


Abb. 3.10: Räumliche Verteilung von Vermögenswerten in Deutschland (links) und Hochwasserkartierung (rechts, blaue Flächen) auf Basis von Satellitendaten bei Fischbeck aus dem Jahr 2013

Quelle Hochwasserkartierung: Copernicus Emergency Management Service: (©2013 European Union), [EMSR047] Fischbeck: Delineation Map; Quelle Vermögenswertekartierung: Copernicus Emergency Management Service (©2016 European Union), EMSNo24.

Satellitendaten geben uns also die Möglichkeit, wichtige Bestandteile der Sendai-Indikatoren großflächig abzuleiten und das Reporting damit zu unterstützen. Mit dem Cop4Sen-Projekt möchten wir diese Potentiale bewerten und umsetzen, indem wir Verfahren entwickeln, die die oben beschriebenen Satellitenbildauswertungen künftig automatisiert durchführen.

AUSBLICK

Cop4Sen wird eine systematische Analyse zum Stand der Wissenschaft und Technik in Bezug auf ein auf Satellitenbildfernerkundung basierendes Monitoring von Sendai-Indikatoren dokumentieren und darauf aufbauend eine umfassende Aufarbeitung für ausgewählte Indikatoren erarbeiten.

Es werden dann Methoden und Verfahren entwickelt bzw. bestehende Verfahren verbessert und validiert, um ausgewählte Indikatoren teil- oder vollautomatisiert in Form von Zeitreihen zu monitoren. Hierfür werden ein oder mehrere Demonstratoren am BBK implementiert werden, um letztlich Möglichkeiten für deren Integration in die Geschäftsprozesse des BBK hinsichtlich des Sendai-Monitoring auszuarbeiten.

Durch den angestrebten Wissenstransfer in Entwicklungsländer – sowohl durch die Geschäftsstelle im BBK als auch durch internationale Multiplikatoren wie beispielsweise der GIZ⁸ und UNSPIDER⁹ – sollen auch Entwicklungsländer von den Ergebnissen des Projektvorhabens profitieren können.

Korrespondenz: fabian.loew@bbk.bund.de

⁸ German Agency for International Cooperation

⁹ Plattform der Vereinten Nationen für raumfahrtgestützte Informationen für Katastrophenmanagement und Notfallmaßnahmen

Teil III

TIPPS FÜR DIE NUTZUNG IM EIGENEN BEREICH

In diesem Teil geben wir Ihnen einen Überblick über die Möglichkeiten des Zugangs zu den Sentineldaten und den Produkten der Dienste. Anschließend stellen wir kurz Open Source Software für die Verarbeitung der Daten vor. Abschließend können Sie im Rahmen einer praktischen Übung eigenständig eine einfache Auswertung von Sentinel-2-Daten durchführen.

ZUGANG ZU DEN DATEN UND PRODUKTEN

Es gibt inzwischen mehrere Möglichkeiten, um an die kostenfreien Sentinel-daten zu gelangen. Auch die zunehmende Anzahl an Produkten aus den Diensten macht eine Recherche nach geeigneten Datensätzen nicht einfach. In diesem Abschnitt möchten wir Ihnen deshalb einen kurzen Überblick über die verschiedenen Datenzugangsmöglichkeiten geben.

4.1 ZUGANG ZU SENTINELDATEN

Egal für welches Portal Sie sich letztlich entscheiden, um die für Sie passenden Sentinel-daten herunterzuladen, empfehlen wir Ihnen, sich einen Account auf dem Open Access Hub der ESA zuzulegen. Diesen Zugang benötigen Sie bei einigen Portalen externer Anbieter (wie beispielsweise dem EO Browser) und bei Downloadtools, die auf die Daten aus dem ESA Hub zugreifen.

4.1.1 Erste Schritte im Open Access Hub der ESA

Die Daten der sich bereits im All befindlichen Satelliten Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 und Sentinel-5P werden u. a. über den Copernicus Open Access Hub der ESA bereitgestellt. Die Startseite des Open Access Hub bietet im Wesentlichen zwei Möglichkeiten des Datenzugangs. Sie haben die Möglichkeit, die Daten über die graphische Oberfläche herunterzuladen oder die Daten automatisch über die Programmierschnittstelle Application Programming Interface (API) zu beziehen. Aufgrund des derzeit noch prä-operationellen Status' der Sentinel-3-, Sentinel-5P-Produkte und den Daten des globalen Navigationssatellitensystems GNSS, gibt es jedoch noch drei weitere Hubs.

Übrigens: Mit der Sentinel App können Sie u. a. die Sentinels in Echtzeit verfolgen, ihre Spezifikationen erfahren und sehen, wann ein Sentinel das letzte und nächste Mal über Ihrem Standort war und sein wird. Sie können sich auch benachrichtigen lassen, wenn die Satelliten vorbeifliegen. Die App ist kostenfrei in den bekannten App Stores verfügbar.

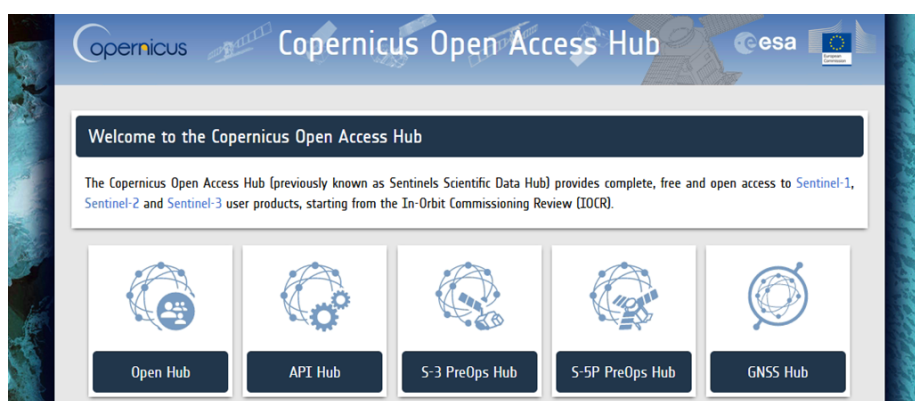


Abb. 4.1: Screenshot der Einstiegsseite des Open Access Hub der ESA mit Stand vom 16.10.2018. Zugang über <https://scihub.copernicus.eu/>.

OPEN HUB Unter dem Open Hub verbirgt sich der Zugangspunkt für alle Sentinel-Missionen mit Zugriff auf die interaktive, grafische Benutzeroberfläche.

API HUB Zugangspunkt für API-Benutzer. Allen Nutzenden, die regelmäßig die neuesten Daten zeitnah beziehen möchten, wird empfohlen, diesen Access Point zu nutzen.

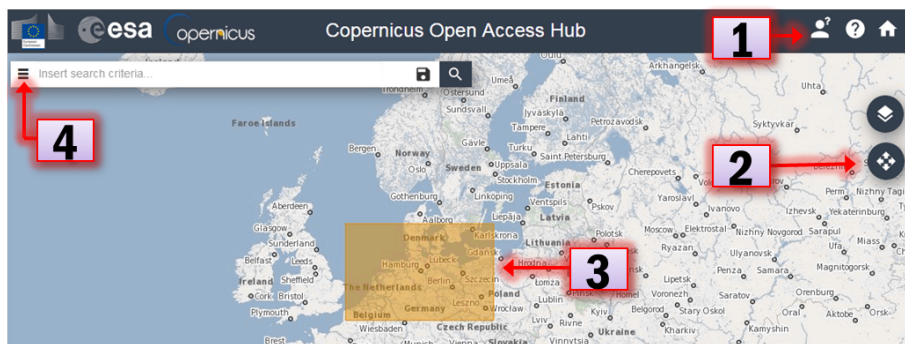
SENTINEL-3A PRE-OPERATIONAL HUB Präoperativer Zugangspunkt für alle Nutzenden von Sentinel-3 L1 und L2 Landdaten.

SENTINEL-5P PRE-OPERATIONAL HUB Präoperativer Zugangspunkt für alle Nutzenden von Sentinel-5P L1B- und L2-Daten.

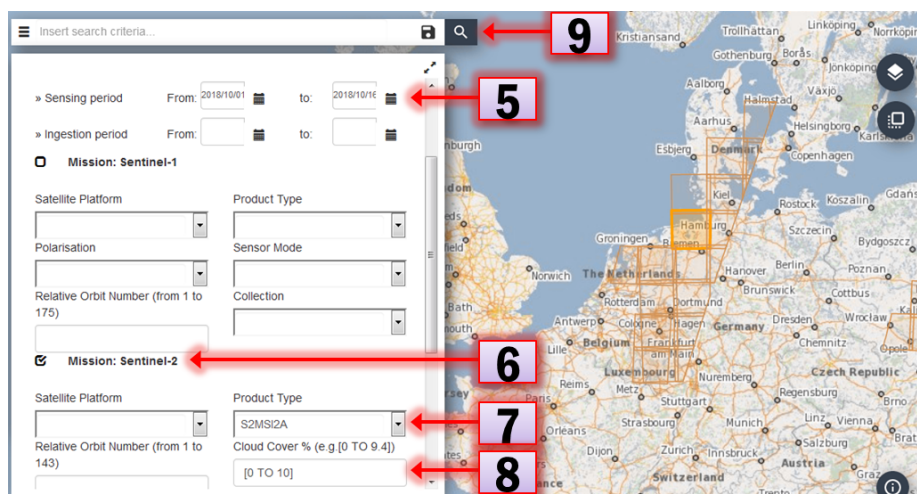
GNSS HUB Präoperativer Zugangspunkt für alle Nutzenden von GNSS L1b-Produkten im Rinex-Format (alle Sentinel-Plattformen im Betrieb).

Im Folgenden beschreiben wir erste Schritte im Open Access Hub, wobei wir uns auf das Herunterladen von Sentinel-2-Daten konzentrieren, da diese auch für die Übung (siehe Kapitel 5) relevant sind.

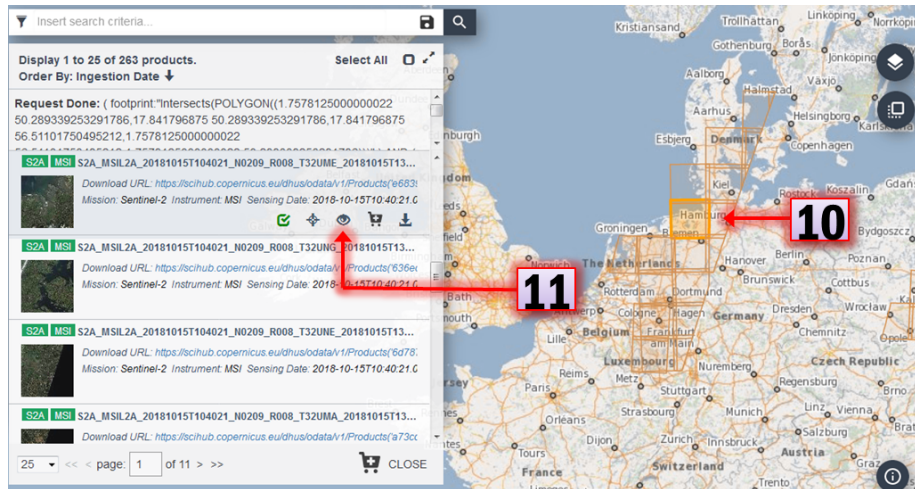
Gehen Sie bitte als erstes auf die Seite <https://scihub.copernicus.eu/> und klicken auf „Open Hub“ (siehe Abbildung 4.1).



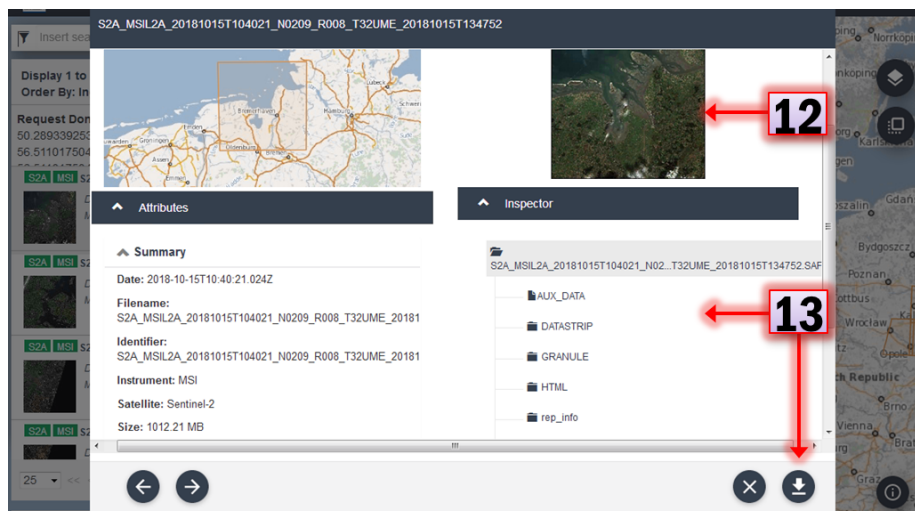
1. Es öffnet sich ein neues Fenster. Falls Sie noch nicht registriert sind, können Sie sich hier einen Account erstellen. Anderenfalls loggen Sie sich bitte ein.
2. An dieser Stelle können Sie zwischen „area mode“ und „navigation mode“ umschalten. Standardmäßig ist der „navigation mode“ eingestellt. Bitte wechseln Sie zum „area mode“.
3. Nun können Sie mit der Maus Ihr Gebiet spezifizieren. Sie können einfach ein Rechteck aufziehen oder durch Klicken mit der linken Maustaste ein Polygon definieren. Beendet wird das Polygon mit einem Doppelklick.
4. Gehen Sie nun auf die drei Balken auf der linken Seite des Suchfensters, um den Auswahldialog zu öffnen.



5. Wählen Sie den Beobachtungszeitraum aus.
6. Wählen Sie die Sentinel-2-Mission durch Setzen des Häkchens aus.
7. Hier können Sie den Produkttypen auswählen. Aktuell sind Level-1C und Level-2A möglich.
8. Bei Sentinel-2 können Sie an dieser Stelle die Wolkenbedeckung in Prozent festlegen, die Sie maximal zulassen wollen. Bitte achten Sie auf die korrekte Schreibweise (eckige Klammern, das „TO“ muss groß geschrieben werden).
9. Wenn Sie auf die Lupe klicken, werden Ihnen Ergebnisse für die von Ihnen definierten Parameter angezeigt.



10. Wenn Sie hier die Sie interessierende Kachel auswählen (die etwas dunklere Kachel), ...
11. ...wird der Dateiname des zu der Kachel gehörigen Bildes als oberster Eintrag in der Ergebnisliste angezeigt. Durch Klick auf das Auge können Sie sich einen ersten Überblick über das Bild verschaffen.



12. Durch Klick auf das Bild öffnet sich ein Quicklook-Bild in einem neuen Browserfenster.
13. Durch Klick auf den Pfeil unten rechts können Sie die Datei inklusive der im Verzeichnisbaum angezeigten Ordner herunterladen.

4.1.2 Nationaler Datenzugang CODE-DE

Um eine schnellere Bereitstellung von Daten, Produkten und Anwendungen für nationale Nutzer zu gewährleisten, wurde das DLR vom BMVI mit der Einrichtung des nationalen Datenzugangs CODE-DE (<https://code-de.org/>) beauftragt. CODE-DE ist zentraler Dateneinstiegspunkt zu Sentineldaten für nationale Nutzer. Neben der Datenbereitstellung bietet CODE-DE die Möglichkeit der Verarbeitung der Daten auf der Plattform.

4.1.3 DIAS-Plattformen

Seit Ende 2017 fördert die Europäische Kommission die Einrichtung und Umsetzung von fünf „Copernicus Data and Information Access Services“ – den DIAS. Die DIAS sollen einen schnellen, effizienten und zuverlässigen Zugriff auf alle Copernicus-Daten und Produkte ermöglichen. Zudem soll den Nutzenden die Möglichkeit zur Cloudprozessierung und Funktionalitäten für die Entwicklung und das Hosten von Diensten bereitgestellt werden. Bei erfolgreicher Implementierung wird die Integration der Daten und Produkte für die Nutzenden deutlich einfacher sein – und zwar ohne dass Daten heruntergeladen oder große Investitionen in IT-Infrastrukturen getätigt werden müssen.

Die Kommission hat vier Konsortien ausgewählt, die mit der Einrichtung solcher DIAS-Umgebungen beauftragt wurden. Darüber hinaus führt EUMETSAT in Zusammenarbeit mit EZMW und Mercator Océan ein eigenes DIAS ein (siehe Tabelle 4.1). Die jeweiligen DIAS werden zunächst für vier Jahre mit einem Volumen von 5 Millionen Euro pro Jahr und DIAS gefördert.

Probieren Sie die DIAS-Plattformen aus und geben bitte auch den Fachkoordinationen Rückmeldung darüber, wie zufrieden Sie mit der Performance und der Leichtigkeit der Bedienbarkeit der jeweiligen DIAS-Plattform sind.

DIAS	LINK ZUR WEBSEITE
CREODIAS	https://creodias.eu/
sobloo	https://sobloo.eu/
mundi	https://mundiwebservices.com/
ONDA	https://www.onda-dias.eu/cms/
WEKEO	https://www.wekeo.eu/

Tab. 4.1: Links zu den Webseiten der DIAS-Plattformen

i Welches der DIAS sich am Ende durchsetzen wird, entscheiden Sie als Nutzerin und Nutzer! Probieren Sie sie aus und geben uns gern Rückmeldung!

4.1.4 Weitere Portale

Neben den nationalen Initiativen gibt es eine wachsende Zahl an Drittanbietern, die ebenfalls Copernicus-Daten bereitstellen – teilweise mit einem einfacheren Zugang zu den Sentineldaten.

Die Plattformen bieten unterschiedliche Optionen von der reinen Visualisierung über den Datendownload bis hin zu umfassenden Funktionalitäten zur Prozessierung und Weiterverarbeitung. Neben den Sentinel-Daten bieten einige Plattformen auch Daten anderer, frei verfügbarer Missionen wie Landsat

oder MODIS und/oder Webdienste wie den Web Map Service (WMS) an. Die Weblinks zu einigen Drittanbietern finden Sie in Tabelle 4.2.

Der EO Browser beispielsweise bietet ein vollständiges Archiv von Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, ESA's Archiv von Landsat 5, 7 und 8, die globale Abdeckung von Landsat 8, Envisat Meris, Proba-V- und MODIS- und GIBS-Produkte und viele Möglichkeiten der Darstellung an einem Ort an!

Probieren Sie die Portale einfach mal aus und lassen Sie die Fachkoordinationen gern wissen, welches Portal Sie besonders begeistert.

Ein Web Map Service (WMS) ist eine Schnittstelle zur Darstellung von Auszügen aus Daten im GIS.

DRITTANBIETER	LINK ZUR WEBSEITE
EO Browser	https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/
EOS Land Viewer	https://lv.eosda.com/
S-3 interactive view portal	https://s3view.oceandatalab.com
Amazon	http://sentinel-pds.s3-website.eu-central-1.amazonaws.com/
Google	https://cloud.google.com/storage/docs/public-datasets/sentinel-2

Tab. 4.2: Links zu den Webseiten von Drittanbietern.

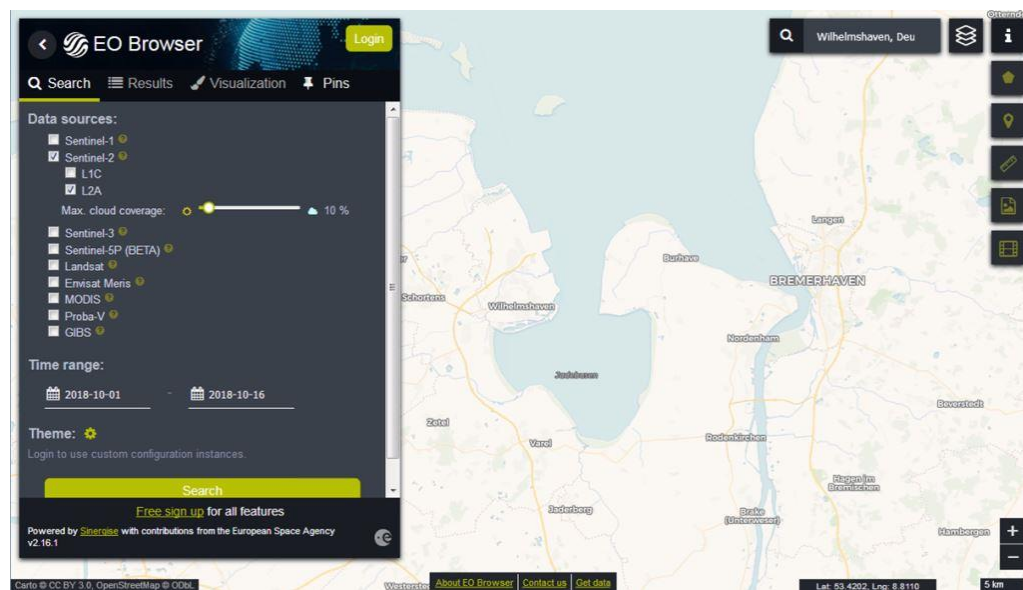







Abb. 4.2: Oberfläche des EO Browsers mit diversen Auswahlmöglichkeiten auf der linken Seite. Bei der Suche lassen sich u. a. Satellit, Prozessierungslevel und Wolkenbedeckungsgrad einstellen.

4.2 ZUGANG ZU SENTINELDATEN UND DEN PRODUKTEN DER DIENSTE

Wie wir bereits in Kapitel 1 im Abschnitt zu den Diensten (siehe Seite 13) dargestellt haben, ist der Zugang zu den Produkten des Sicherheitsdienstes nur für autorisierte Nutzende möglich. Sollten Sie Interesse an Produkten aus diesem Dienst haben, kontaktieren Sie deshalb bitte die Fachkoordination für den Copernicus-Sicherheitsdienst (siehe Tabelle 2.1 auf Seite 18 unten).

4.2.1 Webseiten der geowissenschaftlichen Dienste

Der Zugang zu den verschiedenen Daten und Produkten der geowissenschaftlichen Dienste ist leider noch nicht so ganz einfach. So haben beispielsweise alle Dienste mindestens ein Portal, manchmal aber auch mehrere Portale, für welche man jeweils einen eigenen Zugangscode benötigt. Zudem sind die Portale in ihrer Struktur momentan noch sehr unterschiedlich aufgebaut, was den einfachen Zugang auch zu diensteübergreifenden Produkten erschwert.

DIENST	LINK ZUR WEBSEITE
 Landüberwachung	land.copernicus.eu
 Überwachung der Meeresumwelt	marine.copernicus.eu
 Überwachung der Atmosphäre	atmosphere.copernicus.eu
 Überwachung des Klimawandels	climate.copernicus.eu
 Katastrophen- und Krisenmanagement	emergency.copernicus.eu

Tab. 4.3: Links zu den Webseiten der geowissenschaftlichen Copernicus-Dienste.

Seit längerem ist dieser Zustand von den Nutzenden immer wieder beklagt und ein einheitliches Portal gefordert worden, welches den Zugang zu den Daten und Produkten aller Dienste ermöglicht. Auf diesen Wunsch der Nutzenden hat die Europäische Kommission mit zwei Maßnahmen reagiert – Zunächst hat sie unter <https://services-portfolios.copernicus.eu/> ein Suchportal eingerichtet, welches eine übergreifende Suche zu allen Datenprodukten ermöglicht. Neben der freien Suche lässt sich die Gesamtheit der Datensätze alphabetisch anzeigen, und Sie können sich eine individualisierte Zusammenstellung als Dokument abspeichern. Zudem fördert sie seit Ende 2017 die Einrichtung und Umsetzung der fünf DIAS-Plattformen (siehe Seite 52).

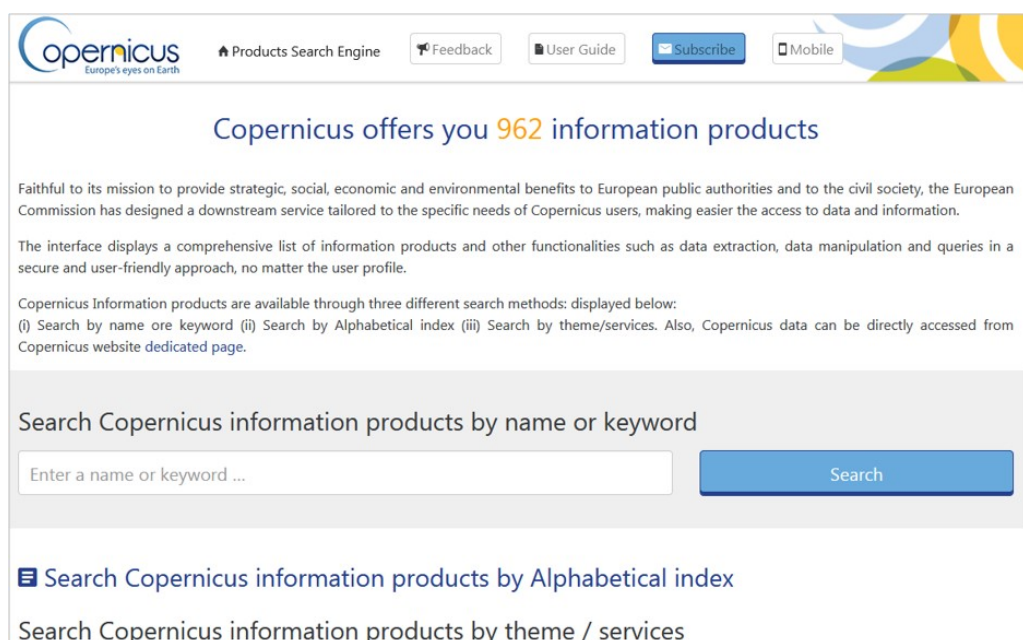


Abb. 4.3: Screenshot zur übergeordneten Datensuche für Produkte aus den Diensten.

Quelle: <https://services-portfolios.copernicus.eu/>

4.3 SOFTWARE FÜR DIE VERARBEITUNG VON SENTINELDATEN

Es gibt viele Möglichkeiten, die Sentineldaten auszuwerten. Letztendlich hängt die Herangehensweise von der Fragestellung und den notwendigen Verarbeitungsschritten ab und führt zur Auswahl geeigneter Software. Ist eine Vorprozessierung der Daten erforderlich, beispielsweise eine Geo- oder Atmosphärenkorrektur, ist die Nutzung spezieller Fernerkundungssoftware von Vorteil. Bei der automatisierten Prozessierung großer Datenmengen, ist die Programmierung von Skripten und die Einbindung spezieller Softwarebibliotheken sicher die beste Wahl. Sind nur einfache Bildmanipulationen gewünscht, z. B. das Erstellen von Falschfarbenkompositen, lässt sich dies auch einfach im GIS oder sogar mit einfacher Bildbearbeitungssoftware realisieren.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass die Verarbeitung von Satellitenbilddaten mit spezieller Software viele Vorteile haben kann. Für den Laien mag die Software, deren Aufbau und Funktionsumfang auf den ersten Blick sehr komplex und schwer zugänglich erscheinen. Die Vorteile liegen jedoch auf der Hand: die Verarbeitungsschritte sind meistens effizient implementiert und spezifische Datenformate und sensorbezogene Eigenschaften, vor allem bei der Analyse der Wellenlängenbereiche, werden berücksichtigt.

In der Regel ist Fernerkundungssoftware auf die Analyse von großen Rasterdatensätzen zugeschnitten. Für die Auswertung von Satellitenbilddaten lassen sich aber auch Geographische Informationssysteme einsetzen und teils für eine Vielzahl der typischen (Vor-) Verarbeitungsschritte nutzen. Bei einigen Produkten besteht sogar die Möglichkeit einer vollständigen Integration der Fernerkundungssoftware ins GIS. Die Stärke von GIS liegt aber vor allem in der Möglichkeit, Rasterdaten mit Vektordaten kombinieren und Ergebniskarten erstellen zu können.

SNAP

Die Open Source Software SNAP der ESA ist abgestimmt auf die Verarbeitung von Sentineldaten. Die SNAP-Software-Plattform setzt sich zusammen aus der Sentinel-1-, Sentinel-2-, Sentinel-3- und SMOS¹-Toolbox. Folgende Hauptfeatures werden auf der SNAP-Homepage aufgeführt:

- Sehr schnelle Bildanzeige und Navigation auch bei Giga-Pixel-Bildern
- Graph Processing Framework (GPF): zur Erstellung benutzerdefinierter Verarbeitungsketten
- Ebenenverwaltung ermöglicht das Hinzufügen und Bearbeiten neuer Overlays, wie z.B. Bilder anderer Bänder, Bilder von WMS-Servern oder ESRI-Shapefiles
- Umfangreiche Region-of-Interest (ROI) Definitionen für Statistiken und verschiedene Diagramme
- Einfache Bitmaskendefinition und -überlagerung
- Flexible Bandarithmetik unter Verwendung beliebiger mathematischer Ausdrücke
- Exakte Reprojektion und Orthorektifikation zu gängigen Kartenprojektionen
- Geokodierung und Entzerrung mit Hilfe von Bodenkontrollpunkten

¹ Soil Moisture and Ocean Salinity

- Automatischer SRTM DEM-Download und Kachelauswahl
- Produktbibliothek zum effizienten Scannen und Katalogisieren großer Archive
- Multithreading- und Multi-Core-Prozessor-Unterstützung
- Integrierte WorldWind-Visualisierung

SNAP kann unter dem Link <http://step.esa.int/main/download/> heruntergeladen werden. Über das Hauptmenü unter *Help / Help contents* ist eine umfangreiche Dokumentation abrufbar. Die Programmhilfe bietet Hintergrundinformationen, Einblicke in Datenformate, Informationen zur Bedienung und eine ausführliche Beschreibung zu den Algorithmen und Methoden. Neben der detaillierten Hilfe, gibt es unter <https://forum.step.esa.int/> ein Diskussionsforum, in dem Fragen zur Software und Verarbeitung der Daten gestellt und Verfahrensschritte diskutiert werden können.

! Die Installation von SNAP ist auch ohne Administratorrechte möglich. Allerdings sollten Sie Schreibrechte in einem Verzeichnis haben (z. B. unter C:/).

QGIS

Die Open Source Software QGIS ist ein freies Geographisches Informationssystem. Hauptanwendungsbereiche sind das Erstellen, Bearbeiten und Analysieren von räumlichen Informationen und Daten sowie dem Erstellen von Karten. Mit QGIS lassen sich eine Vielzahl an räumlichen Datenformaten verarbeiten und erzeugen.

QGIS kann unter <https://www.qgis.org/de/site/forusers/download.html> für alle gängigen Betriebssysteme heruntergeladen werden. Für QGIS gibt es umfangreiche Dokumentationen, User Guides und eine Vielzahl an Tutorials (siehe <https://www.qgis.org/de/docs/index.html>).

! Für die Installation von QGIS sind Administratorrechte erforderlich. Es gibt jedoch auch portable Installationslösungen von externen Anbietern (z. B. unter <https://portablegis.xyz/post/get/>).

Wir wissen selbst, wie wenig Zeit im Arbeitsalltag bleibt, um sich mit neuen Daten vertraut zu machen oder sich intensiv mit ihrer Verarbeitung zu befassen. Eventuell müssen zudem noch Fernerkundungsgrundlagen und Verfahren angeeignet oder die Kenntnis im Umgang mit spezieller Software auf- und ausgebaut werden. Deshalb möchten wir all jenen, die künftig gern Copernicus-Daten und Produkte für ihre eigenen Aufgaben nutzen möchten, unter Umständen aber noch nie – oder in der Vergangenheit nur am Rande – mit Fernerkundungsdaten gearbeitet haben, mit diesem Kapitel den Einstieg in die Nutzung von Fernerkundungsdaten erleichtern.

Für diesen Einstieg haben wir eine einfache praktische Übung gewählt, bei der Sie auf Grundlage von Sentinel-2-Daten in Kombination mit Urban-Atlas-Landbedeckungsdaten photosynthetisch aktive Waldareale identifizieren sollen.

5.1 WAS SIE VOR DER VERARBEITUNG WISSEN SOLLTEN

Damit Sie später aus der Vielfalt der unterschiedlichen Datensätze der Sentinels und anderer Satelliten die für Ihre Anwendungen richtigen auswählen und auch die Übung gut nachvollziehen können, möchten wir Ihnen einige grundsätzliche Informationen zur Fernerkundung und zur Struktur der Sentineldaten mitgeben. In diesem Abschnitt haben wir daher ein paar wichtige Grundlagen für Sie zusammengefasst, die für das Verständnis dessen, was wir auf Satellitenbildern sehen, und warum wir es so sehen, notwendig sind.

i Sollten Sie nur die Übung machen wollen, können Sie an dieser Stelle direkt zum Abschnitt [5.2](#) auf Seite [66](#) springen.

Damit können wir natürlich nur einen sehr kleinen Teil der für die Fernerkundung relevanten physikalischen Prozesse abdecken. Für ein tieferes Verständnis ist ein Literaturstudium unumgänglich, aber das Internet bietet inzwischen eine gute Informationsquelle. Empfehlen möchten wir Ihnen die folgenden Webseiten, Online-Tutorials und Bücher, auf die auch wir immer wieder zurückgreifen und die wir für die Erstellung der folgenden Abschnitte genutzt haben:

BÜCHER:

1. Jörg Albertz (2019). *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*. Wiss. Buchges. ISBN: 978-3-534-25863-5
2. Thomas Lillesand u. a. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. 7. Aufl. John Wiley & Sons
3. James B Campbell und Randolph H Wynne (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press
4. John R Jensen (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India
5. Gerd Hildebrandt (1996). *Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie*. Wichmann

ONLINE-QUELLEN:

1. Online Tutorial des Projektes Science Education through Earth Observation for High Schools. (2006). *Einführung in die Fernerkundung*. Online. http://lms.seos-project.eu/learning_modules
2. Lernportal der Uni Bonn: <http://www.fis.uni-bonn.de/>
3. Lernportal der ESA: <https://earth.esa.int/web/guest/eo-education-and-training>
4. Lexikon der Fernerkundung: <http://www.fe-lexikon.info/FeLexikon.htm>

5.1.1 Aufnahmesysteme

Fernerkundung basiert auf der Messung der von Körpern reflektierten oder emittierten elektromagnetischen Strahlung. Für die Messung dieser Strahlung und die Wahl geeigneter Sensoren auf Plattformen wie Satelliten, Flugzeugen oder Drohnen nutzt man das Wissen um die Hauptquellen der Strahlung (Sonne und Erde) und die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die jeweilige Strahlung sowie die spektralen Signaturen der beobachteten Objekte.

Infrarot wird in nahes (NIR, 0,78–1,4 μm), kurzwelliges (SWIR, 1,4–3 μm), mittleres (MWIR, 3–8 μm), langwelliges (LWIR, 8–15 μm) und fernes Infrarot (FIR, 15 μm bis 1 mm) unterteilt.

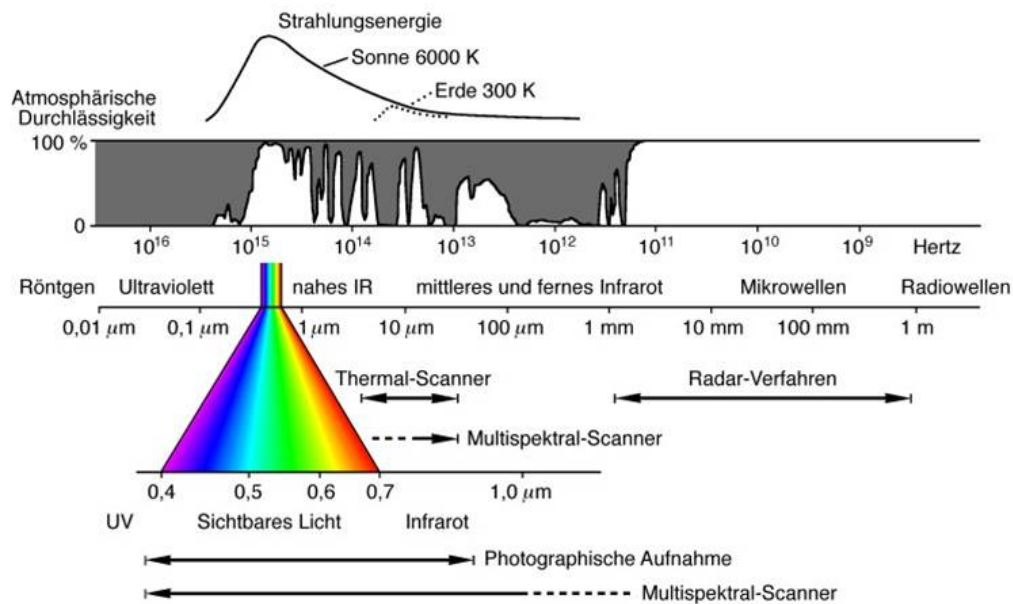


Abb. 5.1: Das elektromagnetische Spektrum und die Durchlässigkeit einer wolkenlosen Atmosphäre. Im oberen Bereich sind die Strahlungsenergien von Sonne und Erde dargestellt. Die Sonne hat ihr Maximum im visuellen Spektralbereich, die Erde im thermalen Infrarot. Darunter ist die atmosphärische Durchlässigkeit bei wolkenlosem Himmel dargestellt. Im ultravioletten und fernen IR-Bereich ist die Atmosphäre nahezu undurchlässig, im visuellen und Mikro- und Radiowellenbereich hingegen nahezu durchlässig. Für die Fernerkundung sind folglich die Bereiche von nahezu sichtbar bis hin zum mittleren Infrarot und der Bereich der Mikrowellen von Interesse.

Bildquelle: Albertz (2001)

Mit Hilfe der Abbildung 5.1 lassen sich die Wellenlängenbereiche identifizieren, für die die Atmosphäre durchlässig ist. Diese Wellenlängenbereiche, die man auch Atmosphärische Fenster nennt, sind für die Fernerkundung geeignet.

Solche atmosphärischen Fenster finden wir:

1. Im Bereich von nahezu sichtbar bis hin zum mittleren Infrarot;
2. Im Bereich der Mikrowellen.

1. BEREICH VON NAHEZU SICHTBAR BIS MITTLERES INFRAROT

Im ersten Bereich wird die anfangs hohe atmosphärische Durchlässigkeit im sichtbaren Bereich ab dem nahen Infrarot zum Teil stark von sogenannten Absorptionsbanden durchbrochen, so dass sich die Fenster zu schmalen Banden reduzieren.

In diesem Bereich des elektromagnetischen Spektrums werden Sensoren eingesetzt, die die von den Objekten an der Erdoberfläche reflektierte Strahlung der Sonne oder die im langwelligeren thermalen Infrarot emittierte Wärmestrahlung messen. Diese Sensoren nennt man passive Sensoren (siehe Abbildung 5.2).



Abb. 5.2: *PASSIVE* Systeme werden im Bereich von Sichtbar bis Infrarot eingesetzt. In diesem Bereich des elektromagnetischen Spektrums ist man auf einen wolkenfreien Himmel angewiesen. Die Sensoren erfassen die Strahlung, die von Objekten und ihrer Umgebung emittiert oder reflektiert wird. In der Regel ist dies die reflektierte Sonnenstrahlung. Ein Beispiel für die Verwendung von passiven Sensoren ist Sentinel-2.

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass in diesem Bereich jede Form von Strahlung auf ihrem Weg von der Sonne zum Objekt und schließlich zum Sensor durch die Atmosphäre auf verschiedenste Weise beeinflusst wird. Sowohl die Sonnenstrahlung als auch die von der Erde reflektierte Strahlung werden von Partikeln in der Atmosphäre gestreut, reflektiert oder absorbiert. Insbesondere Kohlendioxid, Ozon und Wasserdampf absorbieren stark. Für die Fernerkundung stellt die Reflexion von Wolken aber das größte Problem dar, da die Strahlung die Wolken in diesem Bereich des Spektrums nicht durchdringen kann.

Passive Sensoren sind z.B. auf den Satelliten der Sentinel-2-Mission, der Landsat-Serie und auf RapidEye (messen reflektierte Sonnenstrahlung) sowie auf Landsat 8 (misst emittierte Wärmestrahlung) verbaut.

Passive und optische Sensoren nehmen die Strahlung vom sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums bis in den infraroten Bereich nach Wellenlängen getrennt in sogenannten Spektralkanälen, auch Bänder genannt, auf. Deshalb spricht man bei solchen Systemen auch von multispektraler Fernerkundung.

Das Produkt eines Spektralkanals sind Grauwertbilder, die die Intensität der aufgenommenen Strahlung wiedergeben. Der Sensor nimmt also nur Helligkeitsunterschiede auf. Bei der optischen Auswertung der Multispektraldaten weist man den verschiedenen Spektralkanälen (Bändern) dann bestimmte Farben zu und kombiniert die Grauwertbilder miteinander.

Je mehr Kanäle ein Fernerkundungssensor hat, umso höher ist auch die spektrale Auflösung des Satelliten. Bei Sensoren, die mehr als 20 bis hin zu 200 oder gar mehr Spektralkanäle haben, spricht man von hyperspektralen Systemen.

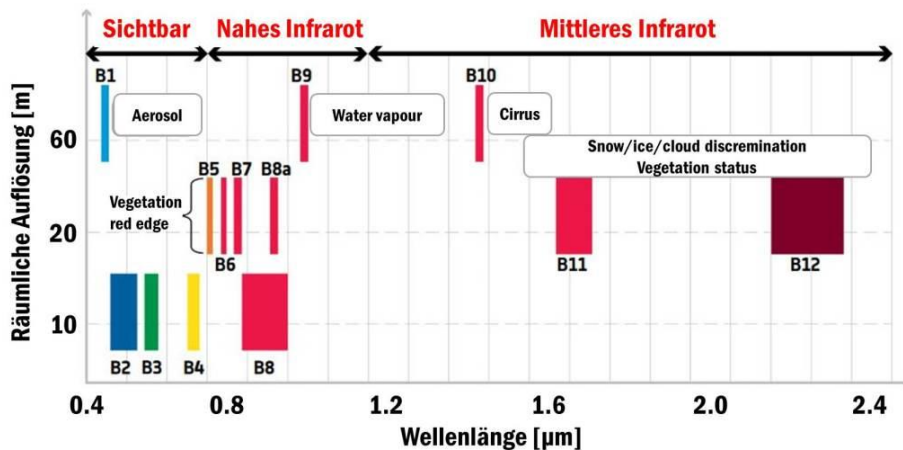


Abb. 5.3: Spektralkanäle (Bänder) von Sentinel-2. Bildquelle: ESA

2. MIKROWELLENBEREICH

Im zweiten Bereich der langwelligen Mikrowellen hingegen ist die Atmosphäre nahezu vollständig durchlässig, so dass Wolken, Dunst, Rauch, Schnee und leichter Regen fast ungestört durchdrungen werden können. Hinzu kommt allerdings, dass in diesem Bereich die Strahlung von Sonne und Erde so gering ist, dass die Sensoren auch ohne Sonnenstrahlung auskommen müssen. Deshalb werden hier Sensoren eingesetzt, die selbst elektromagnetische Strahlung im Mikrowellenbereich in Richtung Erdoberfläche aussenden und kurze Zeit später die von dort reflektierte Strahlung wieder empfangen.

Solche Sensoren, die unabhängig von Tageszeit und Wetter messen können und deshalb unverzichtbar für die Fernerkundung von Arktis, Antarktis und häufig wolkenverhangenen Regionen sind, nennt man aktive Sensoren (siehe Abbildung 5.4).

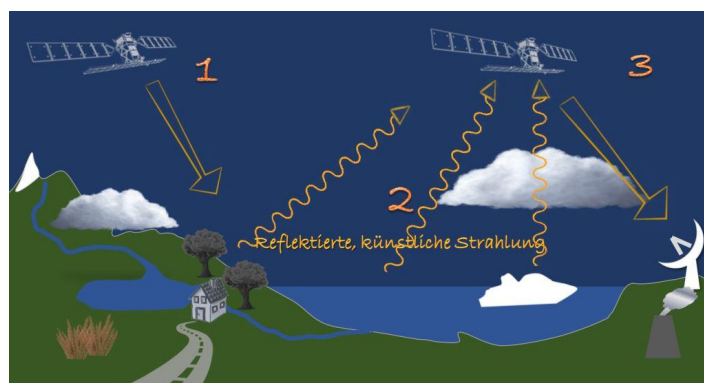


Abb. 5.4: AKTIVE Systeme werden im Bereich der Mikrowellen eingesetzt. In diesem Bereich des elektromagnetischen Spektrums kann unabhängig von Tageszeit und Wetter gemessen werden. Die Sensoren senden selbst Strahlung (Mikrowellen) aus und messen anschließend die von den Objekten reflektierte oder rückgestreute Strahlung. Radar ist ein Beispiel für ein solches aktives Messverfahren, welches auch auf Sentinel-1 Anwendung findet.

Zu den aktiven Sensoren gehören Radar-¹ und Lidar-Systeme². Aktive Radarsensoren sind beispielsweise auf Sentinel-1 und TerraSAR-X verbaut.

Die am Radarsensor ankommende Strahlung wird im Wesentlichen durch die Oberflächenrauigkeit und die Form des Geländes bestimmt. Flächen, die dem Radar direkt zugewandt sind, erscheinen sehr hell, und Flächen, die dem Radar abgewandt sind und somit von den Mikrowellen nur schlecht oder gar nicht erreicht werden können, erscheinen dunkel bis schwarz (Radarschatten).

Sogenannte Rückstrahleffekte treten auf, wenn vertikale und horizontale Flächen die Mikrowellen gespiegelt reflektieren. Zwar können moderne Radarsysteme verschiedene Arten von Mikrowellen aussenden, die sich in ihrer Wellenlänge und Polarisation erheblich unterscheiden und damit auch unterschiedlich tief in das Gelände eindringen können.

Die Interpretation von Radarbildern ist jedoch längst nicht selbsterklärend und noch immer Gegenstand der aktuellen Forschung.

i Für ein tieferes Verständnis der Radarfernerkundung möchten wir Ihnen den Besuch der alljährlich von der Universität Jena angebotenen Sommerschule „SAR-EDU“ (<http://sar-edu.uni-jena.de/wp/>) bzw. die zugehörigen Online-Angebote unter <https://eo-college.org/landingpage> empfehlen.

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf die für die Übung (siehe Kapitel 5.2) relevanten Effekte der Fernerkundung mit passiven, also optischen Sensoren.

5.1.2 Reflexion und Absorption in der Atmosphäre

Die Intensität der Absorption und Streuungscharakteristik durch die Atmosphäre hängen in starkem Maße von der Wellenlänge der Strahlung und der Aerosol-Teilchengröße (Dunst, Staub, Wassertröpfchen, Eiskristalle) ab (Dietze 1957; Möller 1957; Foitzik und Hinzpeter 1958). Wenn man Satellitenbilder einfach nur visuell interpretiert, fällt dies nicht so sehr ins Gewicht, da sich das menschliche Auge schnell an Kontrastschwankungen anpassen kann. Möchte man die Daten jedoch für eine Klassifikation nutzen, womöglich unter Verwendung mehrerer Satellitenbildszenen, können die Effekte die Qualität der Klassifikation stark verfälschen. Gleiches gilt für einen Vergleich unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte.

Deshalb müssen die Satellitenbilder zunächst atmosphärisch korrigiert werden, was u. a. durch eine Kalibrierung der Reflexionswerte auf Basis von spektralen Geländemessungen mit geeigneten Spektrometern erfolgt, sodass die Einflüsse der Atmosphäre herausgerechnet werden können. Für die gängigen Softwareprodukte sind Algorithmen zur Atmosphärenkorrektur verfügbar. Beispielsweise bietet die ESA das Tool Sen2Cor für die Sentinel-2-Daten an (<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>).

Nicht nur aus diesem Grund ist es wichtig zu wissen, welches Level der Sentineldaten Sie sich auf dem Open Access Hub der ESA oder auf anderen Portalen heruntergeladen haben. Abbildung 5.5 zeigt beispielhaft die Prozessierungsstufen von Sentinel-2. Zwar sind die Daten für Sie als Nutzerin oder Nutzer bereits ab dem Level 1C verfügbar; allerdings enthalten diese noch immer die Reflexionsdaten der obersten Schicht der Atmosphäre. Vollständig atmosphärenkorrigiert liegen die Daten erst ab dem Level 2A vor.

Auch geometrische Verzerrungen, die durch die Flugbahn des Satelliten, das Relief und die Vogelperspektive des Sensors hervorgerufen werden, müssen durch die Zuweisung einer standardisierten Geometrie in Form von Koordinaten korrigiert werden. Diese geometrischen Korrekturen sind bereits beim Level 1C realisiert.

¹ Radio detection and ranging; Abtastung der Oberfläche mit Radiowellen

² Light detection and ranging; Abtastung der Oberfläche mit Laserstrahlen

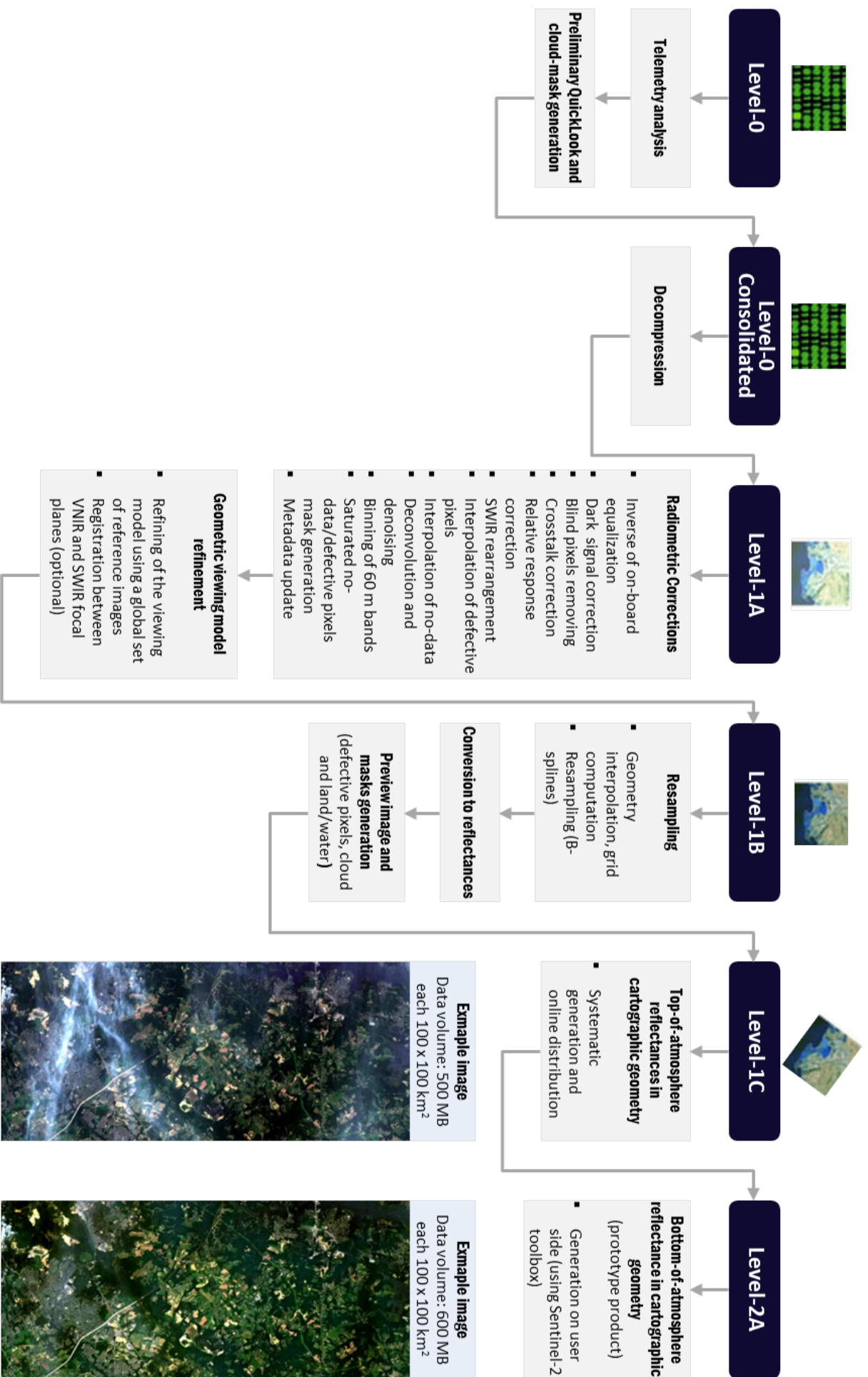


Abb. 5.5: Prozessierungsstufen der Sentinel-2-Produkte. Für unsere Übung haben wir ein Level-2A Sentinel-2-Produkt gewählt, da die Daten erst ab diesem Prozessierungslevel atmosphärenkorrigiert und orthorektifiziert vorliegen.

5.1.3 Reflexion und Absorption an der Erdoberfläche

Die auf einen Körper an der Erdoberfläche einfallende elektromagnetische Strahlung wird von ihm teilweise absorbiert und reflektiert. Zu welchem Anteil diese Absorptionen und Reflexionen stattfinden, ist vor allem von dem jeweiligen Material des Körpers, seinem physikalischen Zustand, seiner Oberflächenrauigkeit und den geometrischen Verhältnissen wie dem Einfallswinkel der Strahlung und der Beobachtungsrichtung abhängig.

Aus diesen Eigenschaften resultieren unterschiedliche, objektspezifische Reflexionsmuster, über welche die verschiedenen Objekte auf Satellitenbildern identifiziert werden können. Werden nur die Intensitäten der reflektierten Strahlung in eng begrenzten Bereichen des elektromagnetischen Spektrums erfasst, so spricht man von Spektralsignaturen. Diese Signaturen können in spektralen Reflexionskurven als eine Funktion der Wellenlänge dargestellt werden und dienen als Grundlage zur Deutung von Fernerkundungsdaten. Abbildung 5.6 zeigt typische spektrale Reflexionskurven für vier Grundtypen auf der Erde: trockenen Boden, Vegetation, klares Wasser und Wasser mit Phytoplankton.

Die auf die Erdoberfläche einfallende elektromagnetische Strahlung wird von den Objekten unterschiedlich absorbiert und reflektiert.

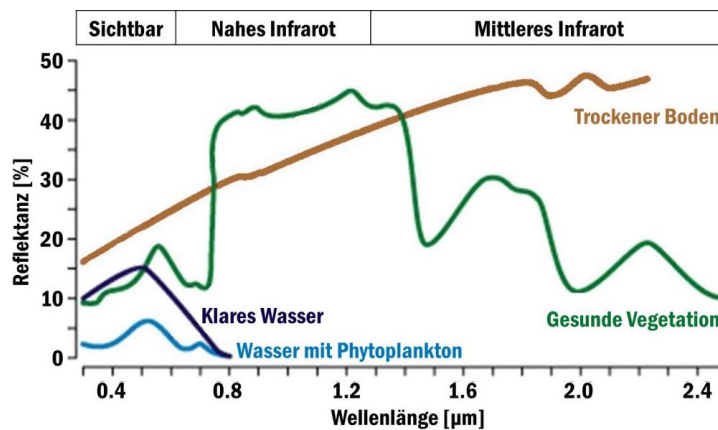


Abb. 5.6: Die spektrale Reflexionskurve der Vegetation hat ein Minimum im sichtbaren Teil des elektromagnetischen Spektrums. Die Reflexionswerte nehmen im nahen Infrarotbereich stark zu. Die spektrale Reflexionskurve von trockenem, unbedecktem Boden ist kaum variabel. Die Reflexionskurve von Wasser ist durch hohe Absorption im nahen Infrarot und darüber hinaus charakterisiert. Wasser mit Phytoplankton absorbiert im sichtbaren Bereich stärker als klares Wasser. Aufgrund dieser Absorptionseigenschaften können Wassermassen sowie Objekte, die Wasser enthalten, leicht identifiziert und abgegrenzt werden. Bildquelle: <http://www.rsac1.co.uk/images/base2.jpg> (Abbildung modifiziert)

Grundsätzlich nehmen die Reflexionen mit zunehmender Feuchtigkeit über den ganzen Spektralbereich hin ab. Aus diesem Grund wird z. B. feuchter Boden in Luft- oder Satellitenbildern stets dunkler wiedergegeben als trockener Boden, der besonders stark und kontinuierlich hoch im Infrarotbereich reflektiert.

Die Reflexionsverhältnisse von Wasserflächen genau zu spezifizieren, ist nicht so einfach. Grundsätzlich reflektiert Wasser nur im sichtbaren Bereich des Lichts, während es in den Bereichen darüber hinaus ausschließlich absorbiert. Allerdings ist der Reflexionsgrad von Wasserflächen auch vom kinetischen Zustand des Wasserkörpers, seiner organischen bzw. anorganischen Schwebstoffe (wie z. B. Phytoplankton), der Wellenlänge der Strahlung, der Beschaffenheit des Gewässergrundes und der Beleuchtungsrichtung abhängig. So kann es beispiels-

weise zu unerwünschten spiegelnden Reflexionen kommen, wenn die Oberflächenrauigkeit der Grenzfläche klein im Vergleich zur Wellenlänge der einfallenden Strahlung ist.

Wolken, Schnee und Nebel als andere Aggregatzustände des Wassers können fast nur über den Schlagschatten oder über Thermaldaten differenziert werden, da sie die auf sie einfallende Strahlung sowohl im visuellen Bereich und nahen Infrarot als auch im mittleren Infrarot sehr ähnlich reflektieren.

Je nach Kombination von Bestrahlungswinkel, Form des Körpers und seiner Oberflächenrauigkeit, treten Phänomene wie Mitlichtbereiche ohne viel Schlagschatten oder Gegenlichtbereiche mit viel Schlagschatten auf, was teilweise zu sehr unterschiedlichen Wahrnehmungen eigentlich gleicher Flächen oder gar ein und derselben Fläche führt.

Abbildung 5.7 zeigt beispielhaft den Schlagschatten von Wolken und den Einfluss von Mondlicht auf die Reflexion von ruhigem Wasser (spiegelnde Reflexionen) als auch etwas turbulenterem Wasser.

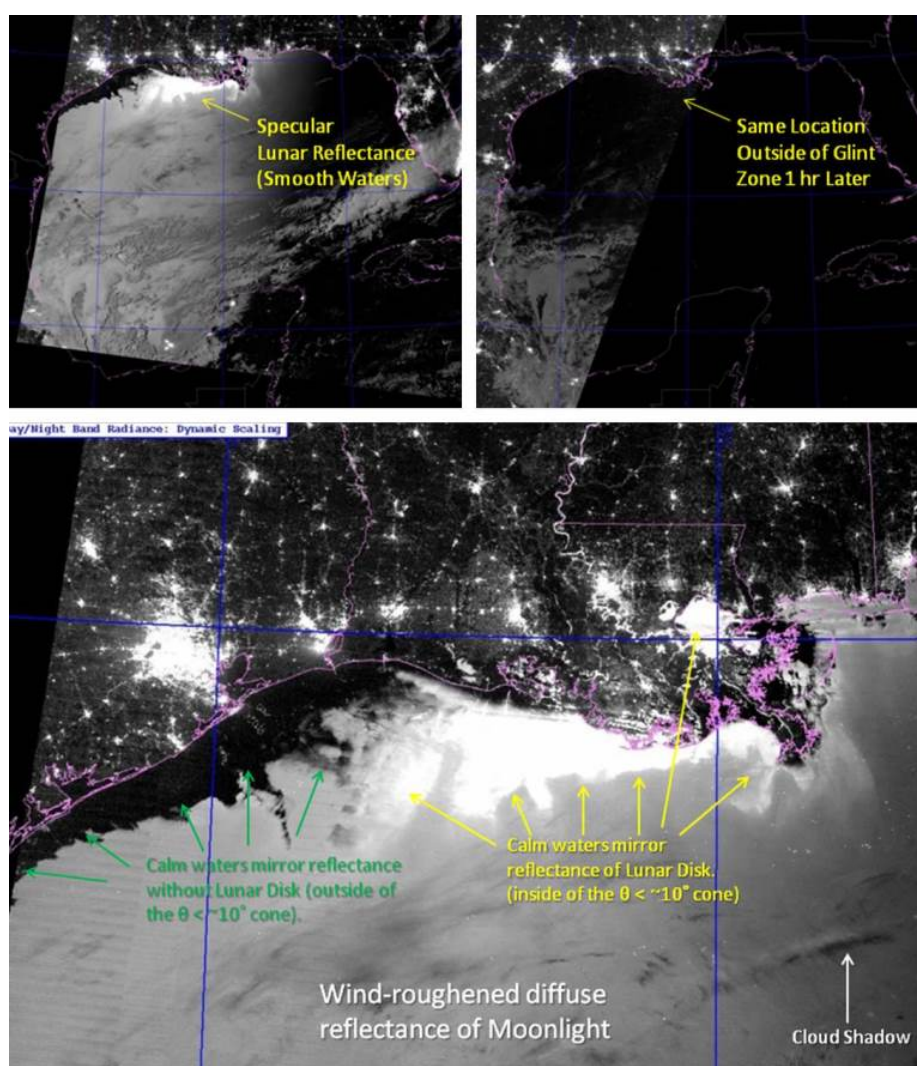


Abb. 5.7: Die Abbildung zeigt beispielhaft den Schlagschatten von Wolken (unteres Bild, rechte untere Ecke) und den Einfluss von Mondlicht auf die Reflexion von ruhigem Wasser (spiegelnde Reflexionen) als auch etwas turbulenterem Wasser. Siehe nähere Erläuterungen im Bild. Bildquelle: <http://rammb.cira.colostate.edu/projects/alaska/blog/>

5.1.4 NDVI

Für die Identifizierung und Spezifizierung von Pflanzen ist der charakteristische Unterschied zwischen dem sichtbaren und dem infraroten Spektralbereich besonders wichtig.

So nimmt der Reflexionsgrad blattreicher Pflanzen mit Erreichen des nahen Infrarot (NIR > 700 nm) stark zu, was auf die spezifischen Reflexionsmerkmale des zellulären Blattgefüges und der internen Wasserversorgung zurückzuführen ist. Dies ist z. B. für die Identifizierung von kranken oder gestressten Pflanzen wichtig, da gesunde Blätter im nahen Infrarot stark reflektieren, wohingegen kranke oder gestresste Pflanzen die infrarote Strahlung stark absorbieren, so dass man beispielsweise kranke oder gestresste Pflanzen in einer Baumgruppe identifizieren kann (siehe Abbildung 5.8). Auch die Unterscheidung von Laubbäumen und Koniferen ist möglich, da Laubblätter im nahen Infrarot deutlich mehr reflektieren als Nadeln.

Somit kann das Maß der Reflexion im nahen Infrarot als Vitalitätsfaktor oder als ein Maß für die photosynthetische Aktivität für vegetationsökologische Betrachtungen herangezogen werden, was man sich beim „Normalized Difference Vegetation Index“ (NDVI) zunutze macht, der auf Basis der Wellenlängenbereiche Rot und Nahes Infrarot mit der Gleichung

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Rot})}{(\text{NIR} + \text{Rot})} \quad \text{berechnet wird.} \quad (5.1)$$

Mit dem NDVI lassen sich mit Vegetation bedeckte Bereiche und ihre Vitalität besonders gut identifizieren.

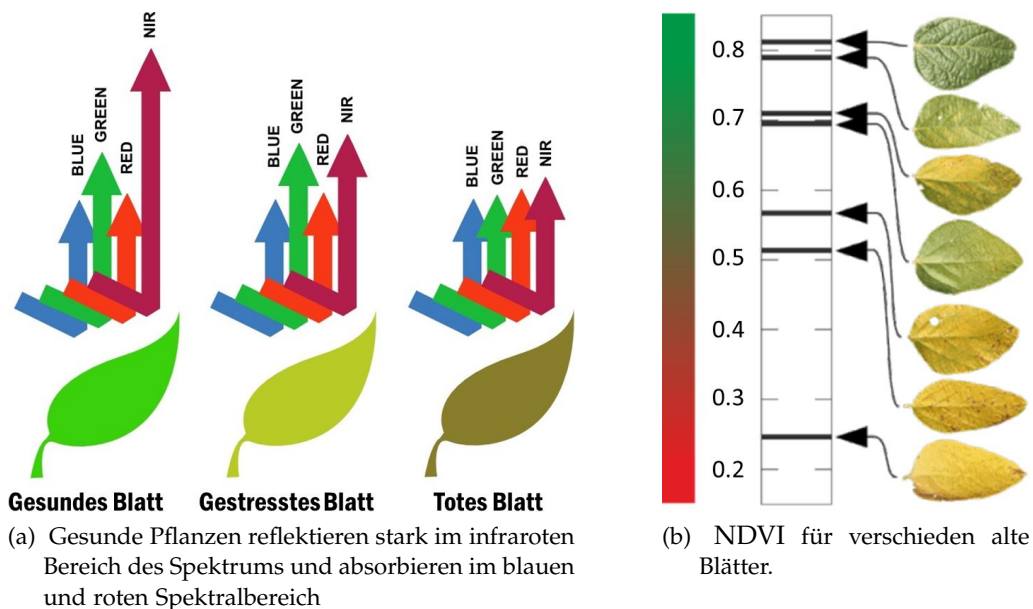


Abb. 5.8: Je gesünder eine Pflanze ist, desto höher ist die Reflexion im nahen Infrarotbereich. Bildquelle: <http://physicsopenlab.org/2017/01/30/ndvi-index/>

5.2 PRAKTISCHE ÜBUNG

Im folgenden Übungsbeispiel beschreiben wir erste Schritte bei der Verarbeitung von optischen Satellitenbilddaten.

Nähere Erläuterungen zu den benötigten Softwarepaketen SNAP und QGIS finden Sie im Abschnitt 4.3 ab Seite 55 (inklusive Hinweisen zur Installation).

ZIEL Ziel der Übung ist es, die Waldfläche(n) in der Umgebung von Wilhelmshaven mit dem höchsten mittleren NDVI-Wert zu identifizieren. Letztendlich wird eine einfache Karte erzeugt.

ZIELGRUPPE Die Übung ist als erster Einstieg gedacht und richtet sich vorrangig an unerfahrene Nutzerinnen und Nutzer.

ABLAUF Nach dem Download der benötigten Copernicus-Daten sollen Sie zunächst unter Verwendung der Software SNAP den Vegetationsindex NDVI anhand einer Sentinel-2-Szene berechnen. Im nächsten Schritt sollen Sie den erzeugten NDVI-Datensatz in die GIS-Software QGIS einlesen, mit welcher Sie anschließend die NDVI-Daten mit Landbedeckungsdaten aus dem Urban Atlas (siehe Abschnitt zum Landdienst auf Seite 9) kombinieren.

VORAUSSETZUNGEN Sie sollten beim Open Access Hub der ESA registriert sein (siehe Seite 55).

GENUTZTE SOFTWARE Für die Erstellung der Übung haben wir mit der SNAP Version 6.0 und vorrangig mit der QGIS-Version 2.18.21 gearbeitet. Mittlerweile ist QGIS in der Version 3.2 verfügbar.

! Die Übung hat nicht den Anspruch, eine allgemeine Einführung in die Fernerkundung oder in Geographische Informationssysteme zu geben. Wenn Sie tiefer in die Thematik einsteigen möchten, greifen Sie bitte auf entsprechende Fachliteratur (siehe Seite 57) und die umfangreichen Dokumentationen und Tutorials der genutzten Softwareprodukte zurück.

5.2.1 Datendownload

5.2.1.1 Download einer Sentinel-2-Szene

Sentinel-2 nimmt mit einer Streifenbreite von 290 km auf. Aufgrund der Datenmenge werden die Sentinel-2-Daten in Form von Datenpaketen (sogenannten „tiles“) mit einer Größe von 100 x 100 km² angeboten. Dies entspricht den Abmessungen einer UTM-Kachel.

Informationen zur Datenaufteilung in UTM Kacheln finden Sie auf den Seiten der ESA³ oder im Sentinel-2 User Handbook⁴. Auch das für Sentinel-2-Daten relevante UTM-Gitter kann dort als KML-Datei heruntergeladen werden⁵.

Die in dieser Übung verwendete Sentinel-2-Szene deckt das Gitterquadrat ME der UTM-Zone 32U ab. Es handelt sich um die Szene über Wilhelmshaven vom 02.06.2017 mit einer Bewölkung von 0,4% (siehe Abbildung 5.9, Mitte).

³ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>

⁴ https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook

⁵ <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/data-products>

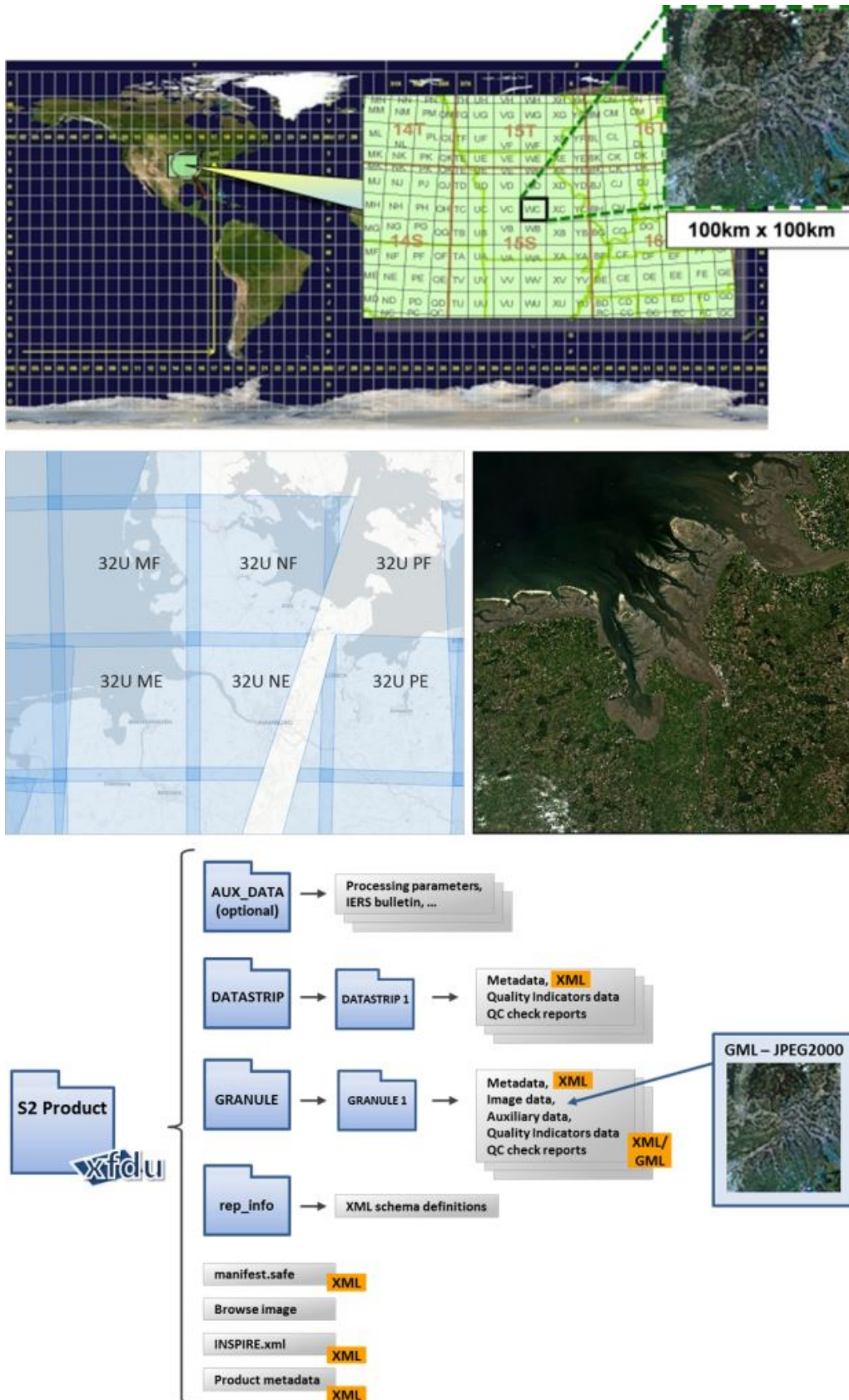


Abb. 5.9: Gut zu wissen: Die Ordnerstruktur der Sentinel-2-Daten im unteren Bereich der Abbildung. Der obere Teil der Abbildung vermittelt einen Eindruck vom UTM-Gitter (Bildquelle: ESA). In der Mitte der Abbildung ist das für die Übung relevante Gebiet in der UTM-Kachel 32U ME dargestellt.

1. Laden Sie den Datensatz der Szene mithilfe Ihrer Zugangsdaten zum Open Access Hub der ESA über den Direktlink:
[https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products\('7d6bb31a-dcfc-4b44-995f-580aea39753c'\)/\\$value](https://scihub.copernicus.eu/dhus/odata/v1/Products('7d6bb31a-dcfc-4b44-995f-580aea39753c')/$value).
2. Die Daten werden in einem sogenannten SAFE-Datencontainer geliefert, was im Grunde einem ZIP-File entspricht. Entpacken Sie die Sentinel-2-Daten aus der ZIP-Datei.

5.2.1.2 Download des Urban-Atlas-Datensatzes für Wilhelmshaven

Der Urban Atlas ist ein Datenprodukt aus der lokalen Komponente des Landdienstes (siehe auch Beschreibung des Landdienstes im Kapitel 1 auf Seite 9). Der Datensatz liegt bisher für 2006 und für 2012 vor und beinhaltet eine hochaufgelöste Kartierung der Landbedeckung europäischer Städte und Stadtregionen, sogenannter „Functional Urban Areas“ (FUA). Der Datensatz beinhaltet insgesamt 27 Klassen (17 urban, 10 rural), abgeleitet mittels Fernerkundung, Katasterinformationen und Luftbildern. Die Mindestkartiereinheit beträgt 0.25 ha bei den urbanen Klassen und 1 ha bei den ruralen Klassen. Für 2012 wurden insgesamt 850 FUA kartiert.

Der Urban Atlas basiert hauptsächlich auf der Kombination von (statistischer) Bildklassifikation und visueller Interpretation von sehr hochaufgelösten Satellitenbildern. Als Eingangsdaten werden SPOT 5 & 6 und Formosat-2-Bilder mit einer räumlichen Auflösung von 2 bis 2.5 m verwendet. Zudem werden für die Erstellung lokale Stadtpläne oder Online-Kartendienste genutzt, die den Urban Atlas mit funktionalen Informationen (Straßennetz, Dienstleistungen, Versorgungseinrichtungen usw.) anreichern. Weitere Informationen zum Datensatz sind unter der „Technical library“ auf der Seite des Landdienstes verfügbar⁶.

URBAN ATLAS 2012 - Wilhelmshaven

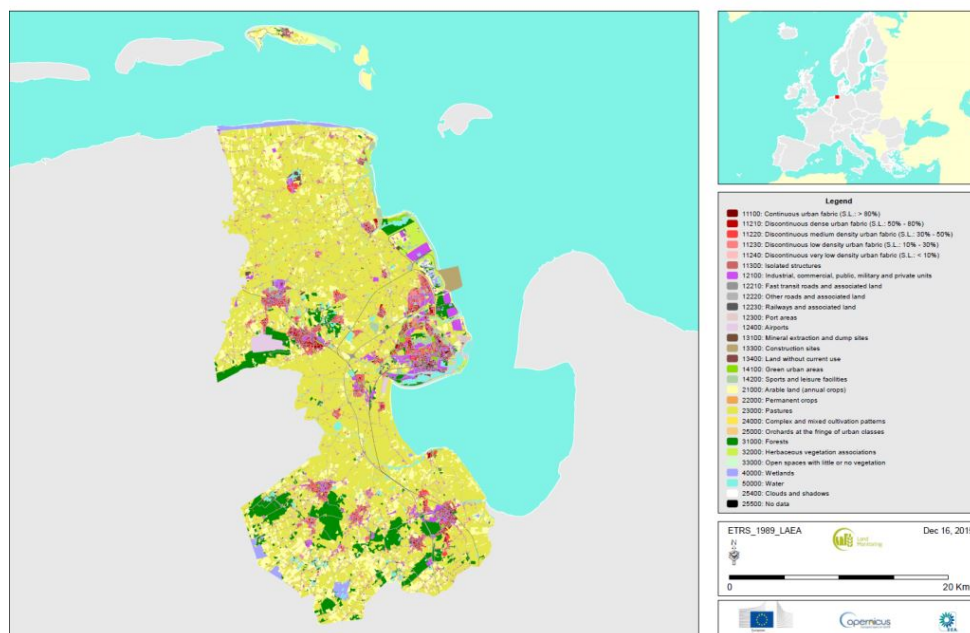


Abb. 5.10: Landbedeckung des Urban Atlas für Wilhelmshaven und Umgebung (Quelle: SIRS, FUA Delivery Report, Wilhelmshaven).

⁶ <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library>

1. Bitte loggen Sie sich im Portal zum Landdienst ein (Sollten Sie bislang noch keine Zugangsdaten haben, registrieren Sie sich bitte bei dem unter Punkt 2 angegebenen Link.).
2. Laden Sie vom Portal des Landdienstes aus dem Urban Atlas bitte den Datensatz für Wilhelmshaven von 2012 herunter <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2012>

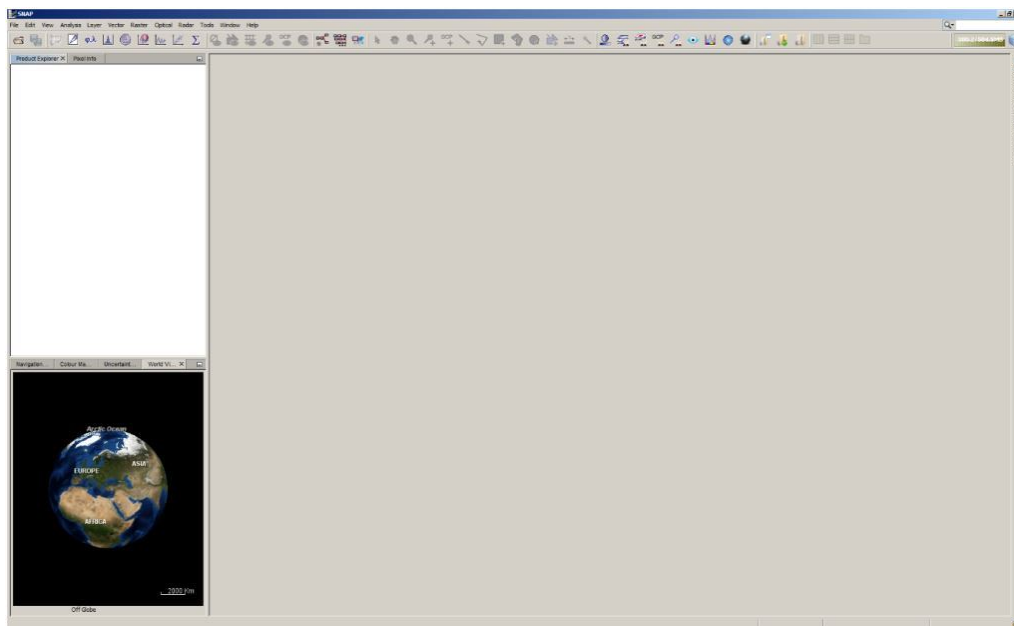
Die Datei hat eine Größe von 34.4 MB und wird als ZIP-Datei geliefert. Das Archiv enthält einen Ordner mit den zugehörigen Daten im Shapefile-Format sowie einen Ordner mit dem Bericht zur Genauigkeit der Klassifikation.

Ein Shapefile ist ein ursprünglich für die Software ArcView der Firma ESRI entwickeltes Format für Geodaten, welches standardmäßig im GIS-Umfeld benutzt wird und ein bezüglich der Datenqualität nur wenig anspruchsvolles Format darstellt.

5.2.2 Berechnung des NDVI aus Sentinel-2-Daten mit SNAP

5.2.2.1 SNAP Benutzeroberfläche

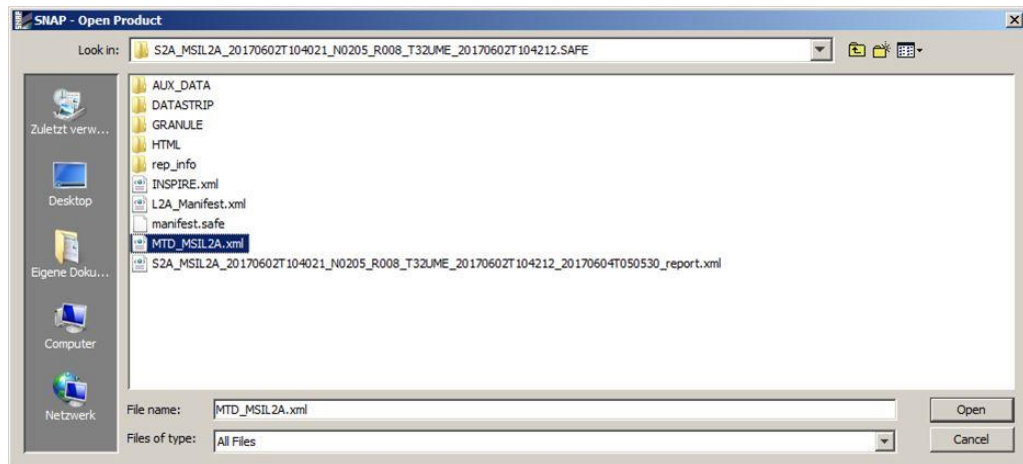
Die graphische Benutzeroberfläche von SNAP hat auf der linken Seite oben einen *Product Explorer* und ein *Pixel-Info*-Fenster. Im *Product Explorer* werden die eingelesenen und berechneten Daten angezeigt. Auf der linken Seite unten befinden sich die Fenster *Navigation*, *Color Manipulation*, *Uncertainty Visualisation* und *World View*. Im Hauptfenster auf der rechten Seite werden die Daten und Tabellen dargestellt.



5.2.2.2 Sentinel-2-Datensatz öffnen

1. Öffnen Sie bitte mit *File / Open Product* oder dem entsprechenden Button in der Navigationsleiste die Datei *MTD_MSIL2A.xml* aus dem Hauptordner (entspricht dem Namen der Szene).

Der geöffnete Datensatz erscheint im *Product Explorer* und wird mit einer vorangestellten Nummer in eckigen Klammern angezeigt.



5.2.2.3 Lage der Szene im WorldView Fenster anzeigen

Die Lage des Datensatzes (bzw. die mehrerer Datensätze) lässt sich anhand der Weltkarte überprüfen. Sie finden den World View Dialog im linken, unteren Fenster unter dem entsprechenden Reiter. Die Szenen sind dabei entsprechend der Anordnung im Product Explorer nummeriert. Die Anzeige lässt sich mittels Mausrad vergrößern oder verkleinern.



5.2.2.4 Metadaten ansehen

Den Bilddaten der Sentinels werden Metadaten mitgeliefert. Details zu den hinterlegten Informationen und Parametern lassen sich dem Dokument⁷ „Sentinel-2 Products Specification Document“ entnehmen. Die Metainformationen können Sie sich über den Product Explorer aus dem Ordner Metadata in Tabellenform im Hauptfenster anzeigen lassen.

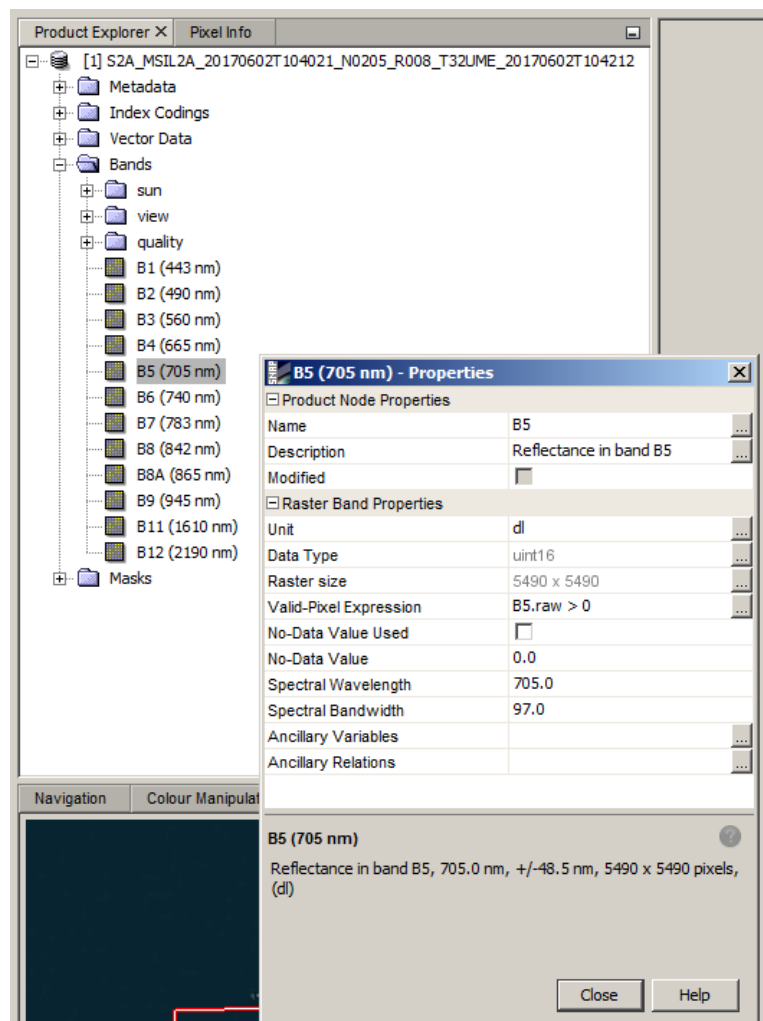
⁷ <https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2-Product-Specifications-Document>

Mit dem [+] Zeichen vor dem Dateinamen öffnen Sie weitere Unterebenen. Mit einem Doppelklick öffnen Sie die zugehörigen Datentabellen im Hauptfenster. In den Metadaten finden Sie beispielsweise wichtige Produktinformationen wie z. B. das genaue Datum und den Zeitpunkt der Aufnahme, die Projektion oder die räumliche und spektrale Auflösung der Bänder.

5.2.2.5 Laden eines einzelnen Bandes und Anzeigen der Pixelwerte

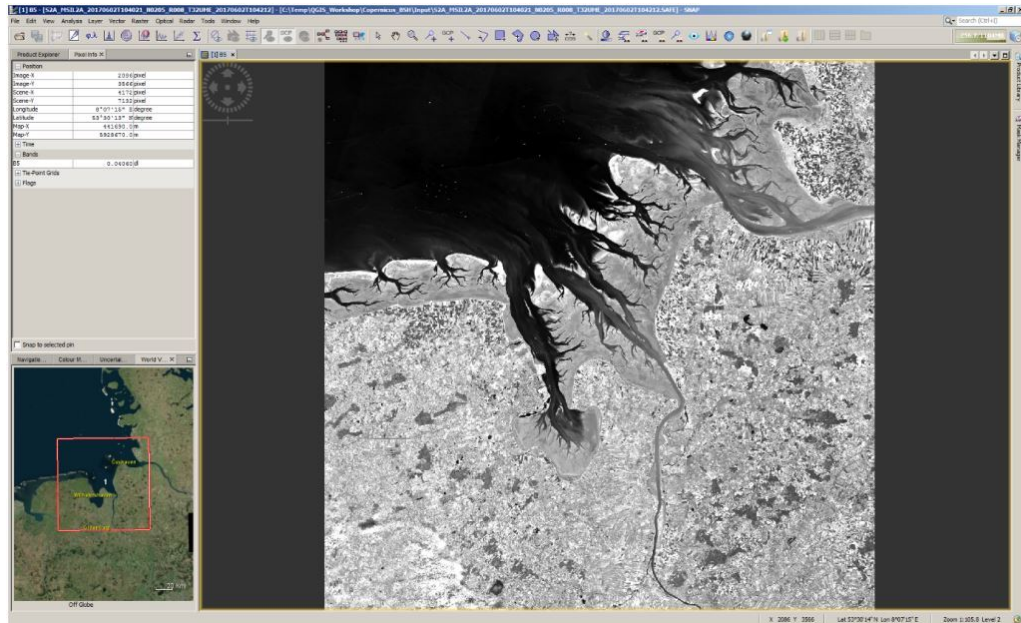
1. Navigieren Sie im *Product Explorer* in den Ordner *Bands*.
2. Markieren Sie ein Band mit der linken Maustaste, z. B. das Band B5 (705 nm).
3. Öffnen Sie mit der rechten Maustaste den Dialog *Properties*.

Nun werden weitere Informationen zum Datensatz angezeigt. Die Größe des Bandes B5 beträgt bei einer Auflösung von 20 m 5490 x 5490 Pixel. Das Band B3 hingegen hat entsprechend der Auflösung von 10 m eine Größe von 10980 x 10980 Pixel.



Mit einem Doppelklick öffnen Sie das Band im Hauptfenster. Je nach Auflösung nimmt das Einlesen der Daten etwas Zeit in Anspruch. Die Darstellung einzelner Bänder erfolgt hierbei in Gaustufen.

1. Wählen Sie nun den Reiter *Pixel Info* im linken Dialogfenster neben dem *Product Explorer*.
2. Fahren Sie mit der Maus über die Szene und vergleichen dabei die Werte unterschiedlicher Oberflächen. Unter anderem werden hier auch die Koordinaten einzelner Pixel angezeigt.



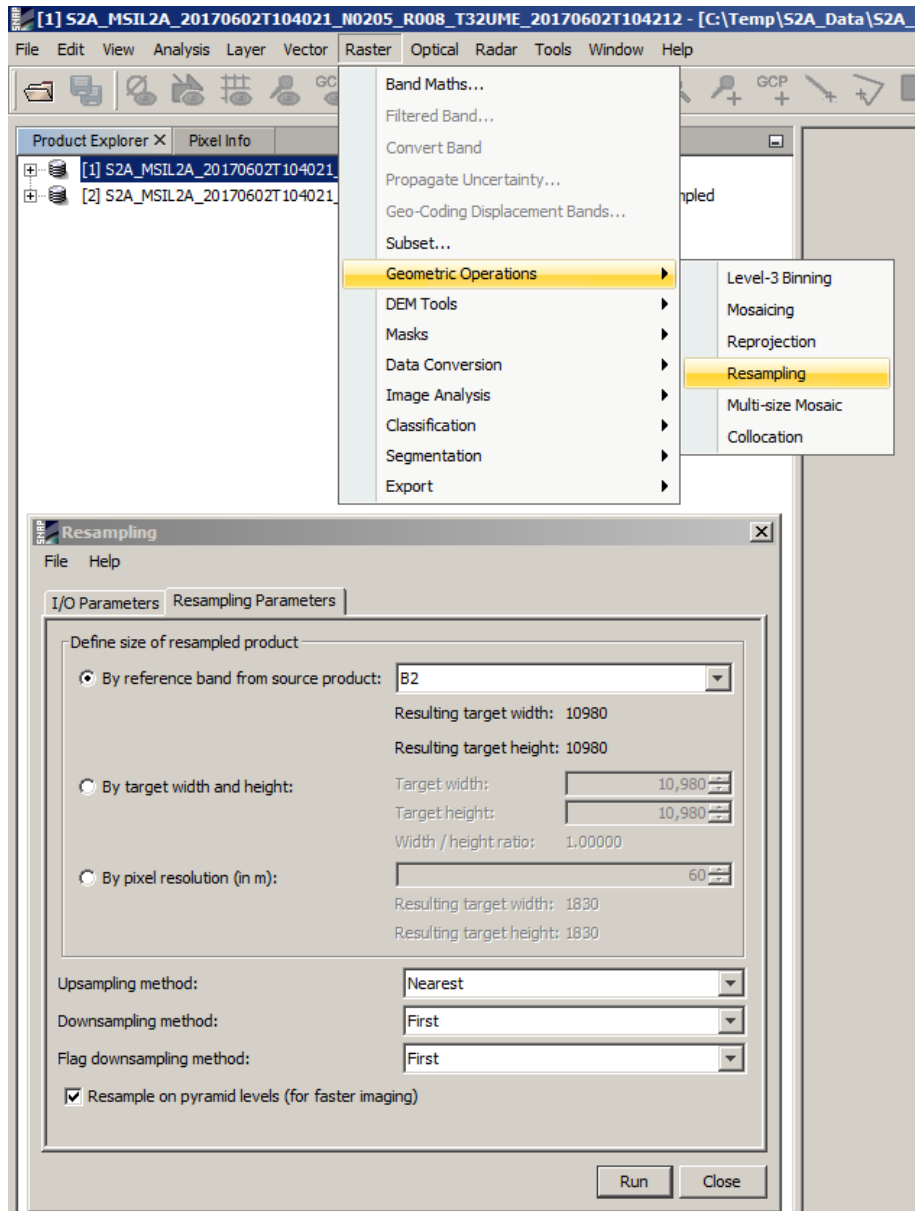
5.2.2.6 Resampling

Die Bänder von Sentinel-2 liegen in verschiedenen Auflösungen vor (siehe Abbildung 5.3). Eine Vielzahl der Verarbeitungsschritte lassen sich nur ausführen, wenn alle Bänder des Datensatzes in eine einheitliche Auflösung überführt wurden.

Über das Hauptmenü wählt man hierzu die Funktion *Raster / Geometric Operations / Resampling*. Es besteht die Möglichkeit, diesen Schritt im Arbeitsspeicher durchzuführen. Im Reiter *Resampling Parameters* ist die gewünschte Auflösung bzw. das entsprechende Band mit der Zielauflösung anzugeben (z. B. B2 mit 10 m Auflösung). Nach Abschluss der Berechnung wird eine Datei mit der Endung **_resampling* angelegt und dem Product Explorer hinzugefügt.

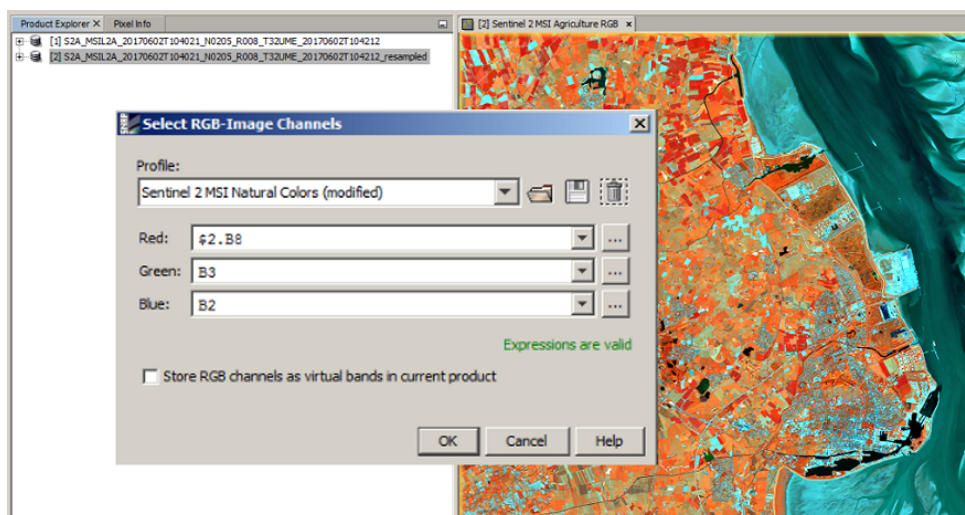
1. Bitte erzeugen Sie eine Datei mit 10 m Auflösung.

Wird das Resampling im Arbeitsspeicher durchgeführt (also ohne eine neue Ausgabedatei anzulegen), werden Originaldatei und die neu berechnete Datei miteinander verknüpft. Die Originaldatei lässt sich nicht aus dem Product Explorer entfernen, solange die neue Datei nicht abgespeichert oder gelöscht wurde.



5.2.2.7 Erstellen eines Bildes mit Echt- oder Falschfarbendarstellung

Nach dem Resampling lassen sich die Bänder für die Darstellung als RGB-Bild nun beliebig miteinander kombinieren.



1. Markieren Sie im *Product Explorer* mit der rechten Maustaste die neu erstellte Datei *_resampled.
2. Öffnen Sie das Kontextmenü mit der rechten Maustaste und wählen Sie *Open RGB Image Window*.
3. In der Auswahlliste unter *Profile* sind die gängigsten Kombinationen für die Sentinel-2-Bänder bereits hinterlegt und können nun selektiert werden. Nutzen Sie diese Funktion, um mittels einer gezielten Auswahl und Kombination bestimmter Wellenlängenbereiche Details in der Szene visuell hervorzuheben.

5.2.2.8 Berechnung des NDVI

Die Berechnung verschiedener Indizes ist in SNAP als Funktion implementiert. So auch die Berechnung des NDVI (siehe Abschnitt 5.1.4 auf Seite 65). Der entsprechende Dialog ist über *Optical / Thematic Land Processing / Vegetation Radiometric Indices / NDVI Processor* aufrufbar.

1. Berechnen Sie den NDVI unter Verwendung der Voreinstellungen.

Die Datei wird im Arbeitsspeicher berechnet und dem *Product Explorer* hinzugefügt. Wenn Sie eine Ausgabedatei bei einer Auflösung von 10 m im BEAM-DIMAP anlegen, hat diese inklusive der Metainformationen eine Größe von ca. 920 MB.

Alternativ können Sie den NDVI auch manuell mit der Funktion *Band Maths* berechnen.

1. Öffnen Sie den Dialog *Raster / Band Maths* und geben einen Namen für die Datei an (z. B. NDVI).
2. Wählen Sie „*Edit Expression...*“.
3. Geben Sie die NDVI-Formel $(\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$ entsprechend den zugehörigen Bändern ein (B8 für NIR und B4 für RED).
4. Wählen Sie das *Selection Tool* (Button mit Mauspeil).
5. Nutzen Sie *Pixel Info* und vergleichen Sie einzelne Pixelwerte des NDVI unterschiedlicher Landbedeckungsklassen.

5.2.2.9 Datensatz exportieren

Voreingestellt speichert SNAP die Daten im BEAM-DIMAP-Format. Wenn Sie den Datensatz für die Weiterverarbeitung im GIS benötigen, ist ein Export in ein anderes Datenformat notwendig.

1. Markieren Sie einen Datensatz im *Product Explorer*.
2. Nutzen Sie die Funktion *File / Export* (über das *Toolbar Menü*) und wählen Sie das gewünschte Format. Für diese Übung wählen Sie bitte das Format *GeoTiff*.

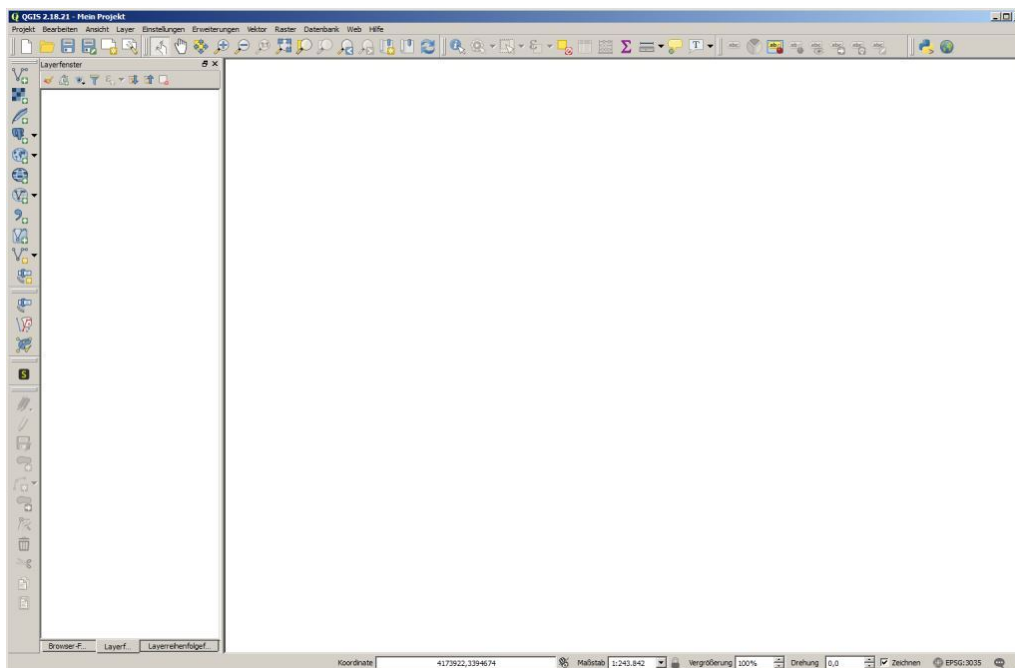
Oftmals wird nicht die gesamte Ausdehnung einer Szene und auch nicht alle Bänder, Masken und Metadateninformationen für die weiterführende Analyse benötigt. Mit der Funktion *Subset* können Sie die Szene ausschneiden und gleichzeitig den Informationsgehalt und damit letztlich auch die Datenmenge reduzieren.

1. Klicken Sie auf den Button *Subset*.
2. Wählen Sie mit der rechten Maustaste *Save Product*. Behalten Sie unter dem Reiter *Spatial Subset* die volle Auflösung bei.
3. Deaktivieren Sie im Reiter *Band Subset* den Layer *ndvi_flags*.
4. Deaktivieren Sie im Reiter *Metadata Subset* die Punkte *Abstracted_Metadata* und *Processing_Graph*. Die Ausgabedatei sollte eine Größe von 484.02 MB haben.

5.2.3 Kombination der NDVI Daten mit Urban-Atlas-Daten in QGIS

5.2.3.1 QGIS-Benutzeroberfläche

Die graphische Benutzeroberfläche von QGIS hat auf der linken Seite ein Layerfenster, in dem die geladenen Datensätze angezeigt werden. Die Reihenfolge der Datensätze ist über das Layerreihenfolgefenster veränderbar. Über das Browserfenster lassen sich Datensätze einlesen. Auf der rechten Seite befindet sich das Hauptanzeigenfenster.



5.2.3.2 Programmiererweiterungen

Ähnliche Verarbeitungsschritte, wie wir sie zuvor in SNAP gezeigt haben, lassen sich auch in QGIS realisieren. In den meisten Fällen ist dies aber nur durch manuelles Berechnen der Datensätze möglich, da entsprechende Funktionalitäten zur Verarbeitung von Fernerkundungsdaten nicht standardmäßig implementiert sind. Der Funktionsumfang von QGIS lässt sich mittels der frei verfügbaren Erweiterungen jedoch sehr individuell anpassen.

Über *Erweiterungen / Erweiterungen installieren und verwalten* lassen sich diese hinzufügen oder entfernen. Je nach Erweiterung werden neue Buttons bzw. ganze Dialoge und Fenster hinzugefügt. Auch für die Verarbeitung von Sentineldaten stehen mittlerweile einige Erweiterungen zur Verfügung.

! Ein gut dokumentiertes Tool zur Klassifikation von Satellitenfernerkundungsdaten ist z. B. das Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)^a. SCP unterstützt die Nutzenden bei der überwachten Klassifizierung von optischen Fernerkundungsdaten und stellt sowohl Tools zum Download der Daten als auch für die Vor- und Nachbearbeitung der Daten bereit. SCP verarbeitet nicht nur Sentinel-2-Daten, sondern auch Landsat-, ASTER- und MODIS-Daten.

^a <https://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html>

i Vermissen Sie installierte Erweiterungen oder Funktionen aus dem Programmmenü? Dann überprüfen Sie bitte zuerst, ob die installierten Erweiterungen auch aktiviert sind. Gehen Sie zum Reiter *installiert*. Oftmals fehlt dort nur ein Häkchen.

5.2.3.3 Projekt anlegen

Um ein Projekt speichern und wiederherstellen zu können, sollte zu Beginn der Bearbeitung eine Projektdatei angelegt werden. Hierbei wird die Zusammenstellung der Daten bzw. die Datenansicht gespeichert. Änderungen an den Daten selbst müssen in den Datensätzen separat gespeichert werden. Eine neue Projektdatei wird mit dem Neustart von QGIS angelegt.

1. Speichern Sie Ihr Projekt über das Hauptmenü mittels *Projekt / Speichern als...*

5.2.3.4 Koordinatensystem und Projektion

Alle hinzugefügten Daten können on-the-fly in ein Projektkoordinatensystem transformiert werden. Mit Mausklick auf den *epsg-Code* im Hauptfenster unten rechts wird das Projekteigenschaften–KBS-Fenster geöffnet. Dort kann spontan Transformation deaktiviert/aktiviert oder ein anderes Koordinatensystem für das Projekt ausgewählt werden. Die unten angezeigten Koordinaten beziehen sich immer auf das Projektkoordinatensystem.

! Es ist ratsam, alle Geodaten vorab in ein einheitliches Koordinatensystem zu transformieren. Im Rahmen dieser Übung werden die Daten in die UTM-Projektion überführt.

5.2.3.5 NDVI-Rasterdatei einlesen

1. Nutzen Sie die Funktion *Layer / Layer hinzufügen / Rasterlayer hinzufügen...*, um die mit SNAP berechnete NDVI-Datei einzulesen (oder nutzen Sie den entsprechenden Button auf der Oberfläche). Die einfachste Methode, Daten in QGIS einzulesen, ist per Drag-and-Drop (also einfach die Datei aus dem Ordner auf die QGIS-Oberfläche ziehen).

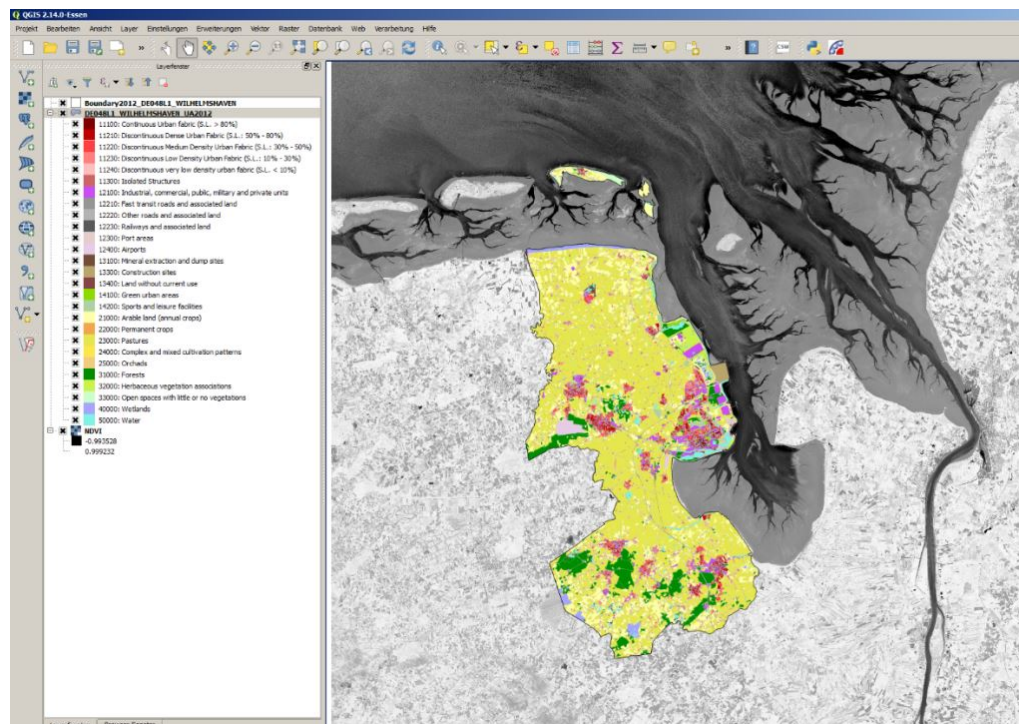
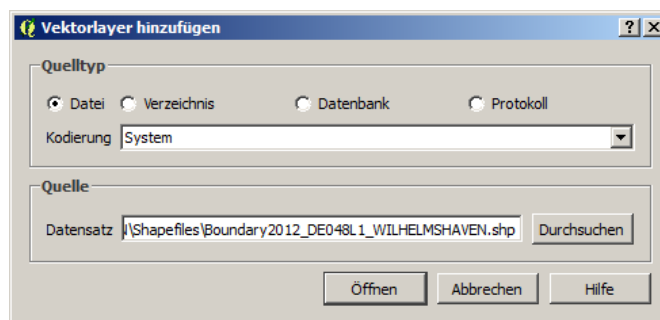
Mit einem Doppelklick auf den Dateinamen im Layerfenster öffnen Sie den Eigenschaftendialog. Alternativ können Sie über die rechte Maustaste den Dialog *Eigenschaften* aufrufen. Im Eigenschaftendialog ergeben sich vielfältige Möglichkeiten der Visualisierung und (maßstabsabhängigen) Beschriftung.

Im Eigenschaftendialog unter *Stil* sind die Einstellungen für die Darstellung zu finden. In QGIS wird bei Rasterdatensätzen automatisch eine Kontrastverbesserung vorgenommen. Bei „merkwürdigen“ Bildern (unnatürliche Farben, schwarzes Bild etc.) ist diese Einstellung zu prüfen und ggf. anzupassen.

Die Attributwerte der Rasterdaten lassen sich über den *Infobutton* anzeigen.

5.2.3.6 Vektordaten des Urban Atlas einlesen

Die Datei DE048L1_WILHELMSHAVEN_UA2012.shp enthält die Landbedeckungsinformationen aus dem Urban Atlas. Der Datei sind auch Legendeninformationen für die Nutzung in QGIS und ArcGIS beigelegt.



1. Nutzen Sie die Funktion *Layer / Layer hinzufügen / Vektorlayer hinzufügen*, um die Datei DE048L1_WILHELMSHAVEN_UA2012.shp einzulesen. Alternativ können Sie die Daten auch über den entsprechenden Button auf der Programmoberfläche oder per Drag-and-Drop einlesen. Die Vektorlayer wird im Layerfenster und im Hauptfenster angezeigt.

2. Öffnen Sie den *Eigenschaftendialog* mit einem Doppelklick auf den Dateinamen im Layerfenster, um die Legendeninformationen für die Nutzung in QGIS und ArcGIS einzulesen.
3. Öffnen Sie den Reiter *Stil*.
4. Laden Sie über den Button *Stil / Stil laden* im Dialog unten links die Datei *Urban_Atlas_2012_Legend.qml*. Die Legende und die entsprechende Farbkodierung für die Klassen werden nun angezeigt.
5. Fügen Sie zudem die Datei *Boundary2012_DE048L1_WILHELMSHAVEN.shp* hinzu. Diese Datei enthält die Außengrenze der „Functional Urban Area“.

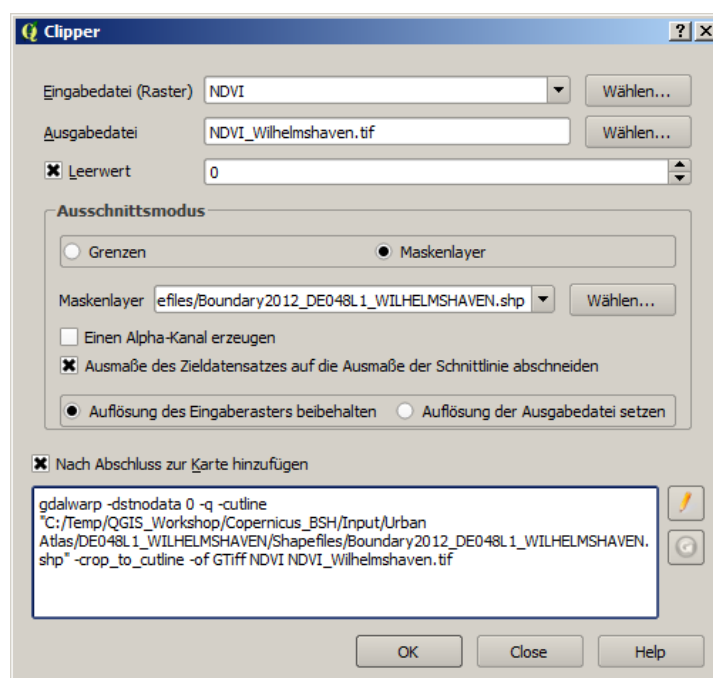
5.2.3.7 Attributtabelle und -werte anzeigen

In den meisten Fällen sind den Vektordaten Attributinformationen hinterlegt. Die Attributwerte sind in der Attributtabelle abgelegt.

1. Markieren Sie den Dateinamen *DE048L1_WILHELMSHAVEN_UA2012* im Layerfenster und öffnen Sie mit der rechten Maustaste die Funktion *Attributtabelle*.
2. Werfen Sie einen Blick auf die Struktur der Tabelle.
3. Nutzen Sie den Button *Objekte abfragen* aus dem Hauptmenü von QGIS (Infobutton mit Mauspeil), um sich die Attributwerte aus der Urban-Atlas-Datei anzeigen zu lassen. Die Attributwerte werden in einem separaten Fenster angezeigt.

5.2.3.8 NDVI-Datei zuschneiden / Subset erstellen

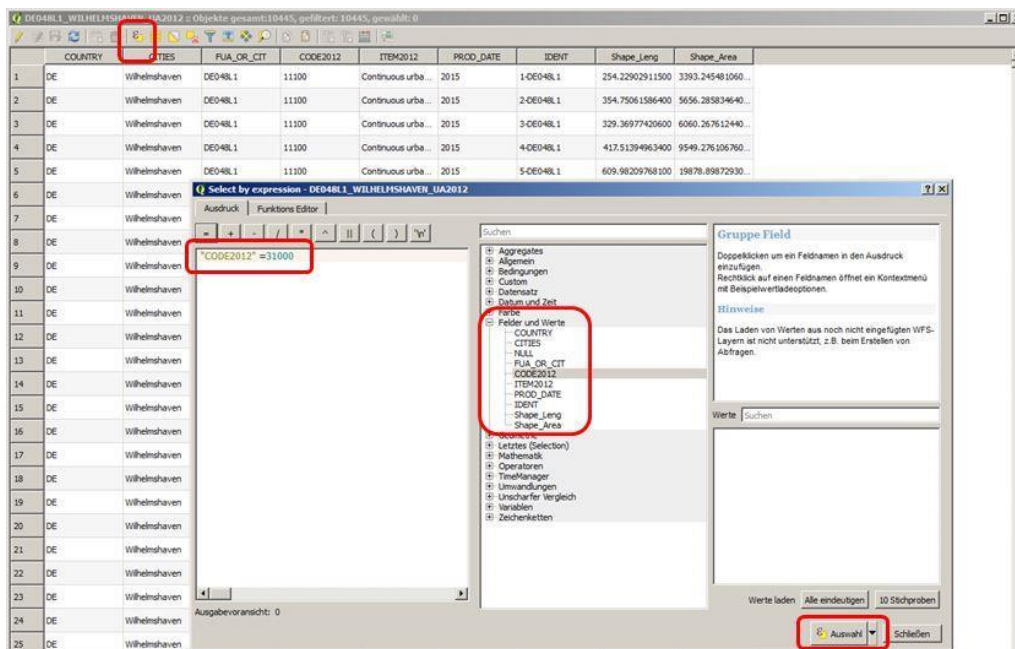
Um die Datenmenge für die nachfolgenden Auswertungen zu reduzieren, ist es möglich, den Datensatz des NDVI auf die Grenzen des Urban-Atlas-Datensatzes zuzuschneiden.



1. Nutzen Sie die Funktion *Raster / Extraktion / Clipper*, um die Rasterdatei mittels einer Vektordatei auszuschneiden und so ein Subset zu erstellen.
2. Geben Sie als Eingabedatei den NDVI-Datensatz ein.
3. Geben Sie eine Ausgabedatei an.
4. Setzen Sie ein Häkchen bei Leerwert.
5. Geben Sie als Maskenlayer die Datei `Boundary2012_DE048L1_WILHELMSHAVEN` an.
6. Setzen Sie ein Häkchen bei *Ausmaße des Zieldatensatzes auf die Ausmaße der Schnittlinie abschneiden*.

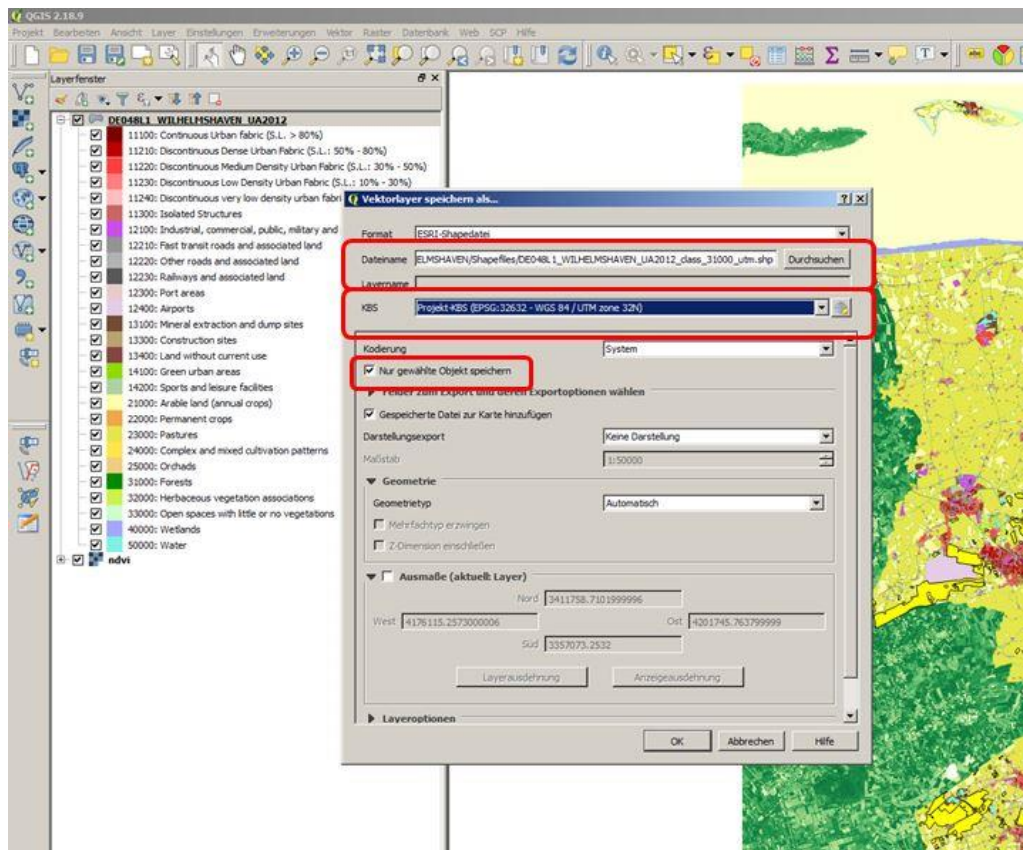
Im nächsten Arbeitsschritt möchten wir nun aus dem Shapefile des Urban Atlas einen neuen Datensatz erzeugen, der ausschließlich die Waldflächen enthält. Hierzu selektieren wir anhand der eindeutigen Attributwerte für Wald die entsprechenden Flächen in der Attributtabelle.

1. Markieren Sie den Dateinamen `DE048L1_WILHELMSHAVEN_UA2012` im Layerfenster und öffnen Sie mit der rechten Maustaste die Funktion *Attributtabelle öffnen*.
2. Wählen Sie die Funktion *Objekte über Ausdruck wählen*.
3. Die Klasse Wald hat unter dem Feld `CODE2012` den Wert 31000. Der Ausdruck auf der linken Seite muss lauten: `"CODE2012" = 31000`.
4. Selektieren Sie nun alle Waldflächen (Forests).



Sie haben nun 304 Waldflächen (bzw. Polygone) selektiert. Schließen Sie den Dialog und die Tabelle. Im Hauptfenster sind die selektierten Flächen nun gelb markiert. Beim Speichern des Datensatzes ist es erforderlich, dass die Dateien in die Projektion des NDVI-Datensatzes überführt werden. Bisher wurden die Daten im System on-the-fly für die Ansicht projiziert.

1. Speichern Sie die erstellte Selektion, indem Sie die Vektorlayer im Layerfenster markieren und mit der rechten Maustaste die Funktion *Speichern als...* auswählen. Wählen Sie einen eindeutigen Dateinamen, z. B. Waldflächen.shp.
2. Wählen Sie als neues KBS die Projektion EPSG 32632 – wgs 84 / UTM zone 32N.
3. Setzen Sie ein Häkchen bei *Nur gewählte Objekte speichern*, um ausschließlich die selektierten Flächen abzuspeichern.

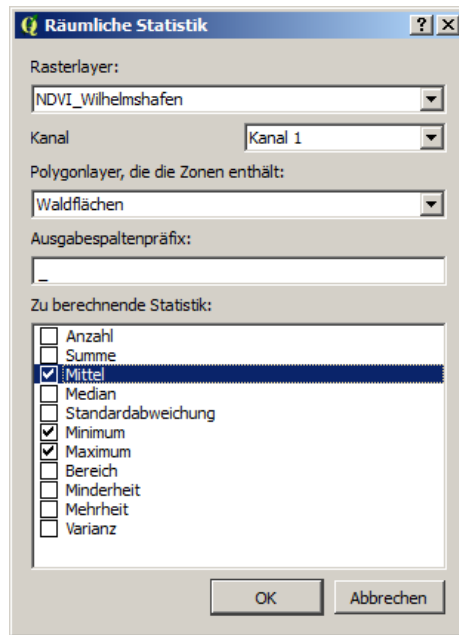


5.2.3.9 NDVI-Werte aus Raster in Shapefile übertragen

Nun sollen Sie die mittleren NDVI-Werte für die Waldflächen des Urban Atlas berechnen.

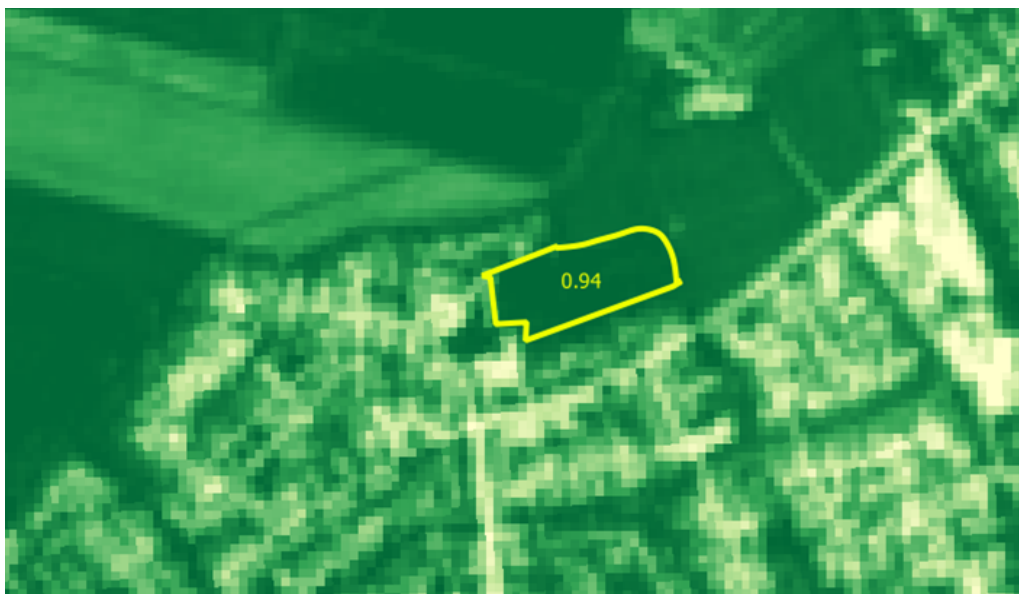
1. Öffnen Sie dazu den Dialog *Räumliche Statistik* mittels *Raster / Zonenstatistik / Zonenstatistik*.
2. Geben Sie die entsprechenden Raster- und Vektorlayer an.
3. Berechnen Sie den Mittelwert.

i Die Funktion *Zonenstatistik* ist nicht vorhanden? Schauen Sie nach, ob die Erweiterung aktiviert ist.



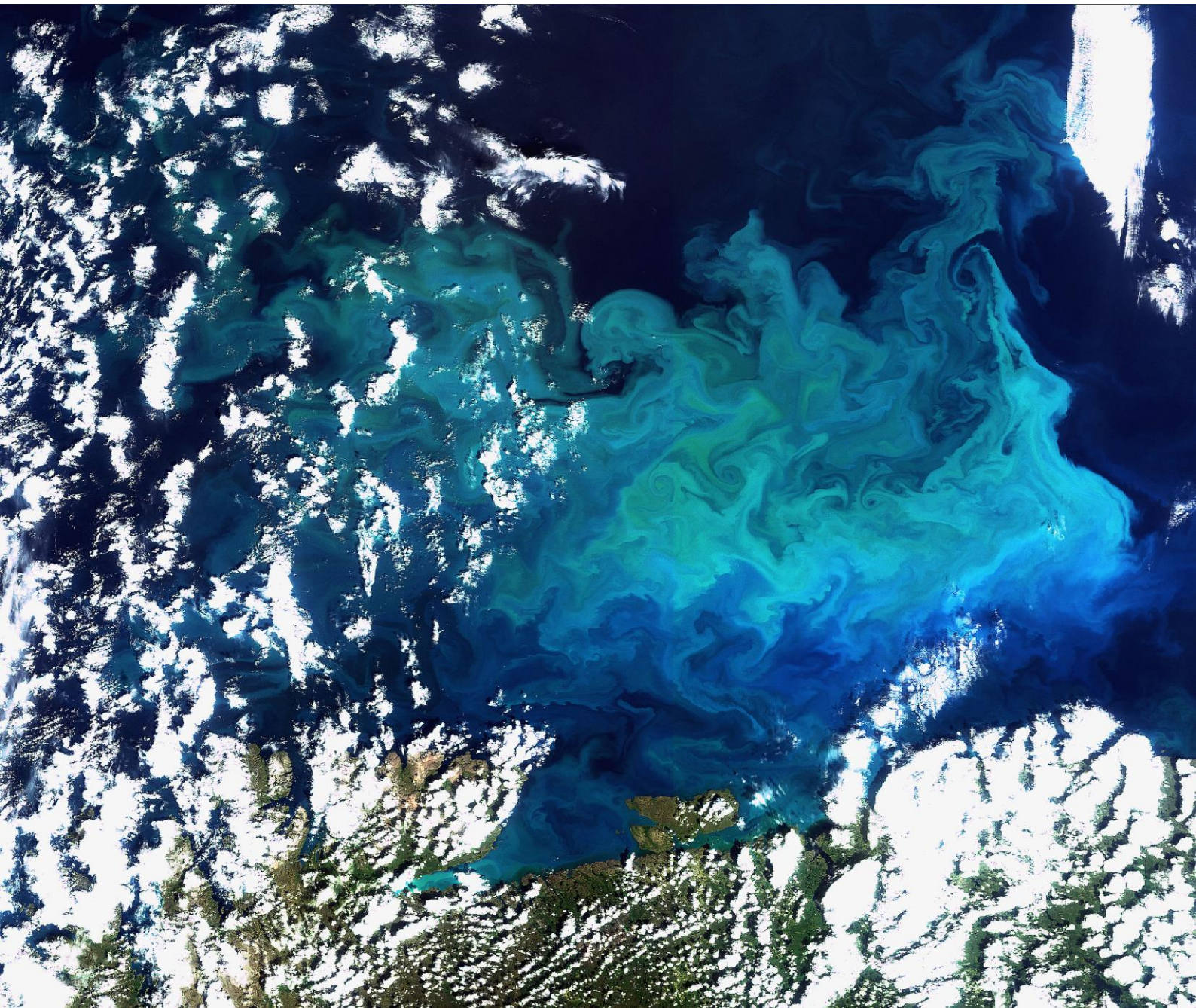
1. Öffnen Sie nach der Berechnung die Attributtabelle und überprüfen Sie die Einträge in der Tabelle auf Vollständigkeit.
2. Selektieren Sie nun die Waldfläche, die den höchsten NDVI Mittelwert verzeichnet. Dies ist über die Sortierfunktion im Spaltenkopf möglich.
3. Markieren Sie mit der linken Maustaste die Zeile mit dem höchsten Wert. Die Selektion ist im Hauptfenster wieder gelb hinterlegt.
4. Mit dem Button *Zur Auswahl zoomen* (Lupe mit gelb hinterlegtem Rechteck) können Sie die Fläche schnell ausfindig machen.

Der höchste NDVI-Mittelwert beträgt 0.94 und befindet sich im nördlichen Teil von Wilhelmshaven. Die Beschriftung der einzelnen Polygone mit den NDVI-Mittelwerten kann im Reiter *Beschriftung* unter *Layereigenschaften* vorgenommen werden.



NOTIZEN





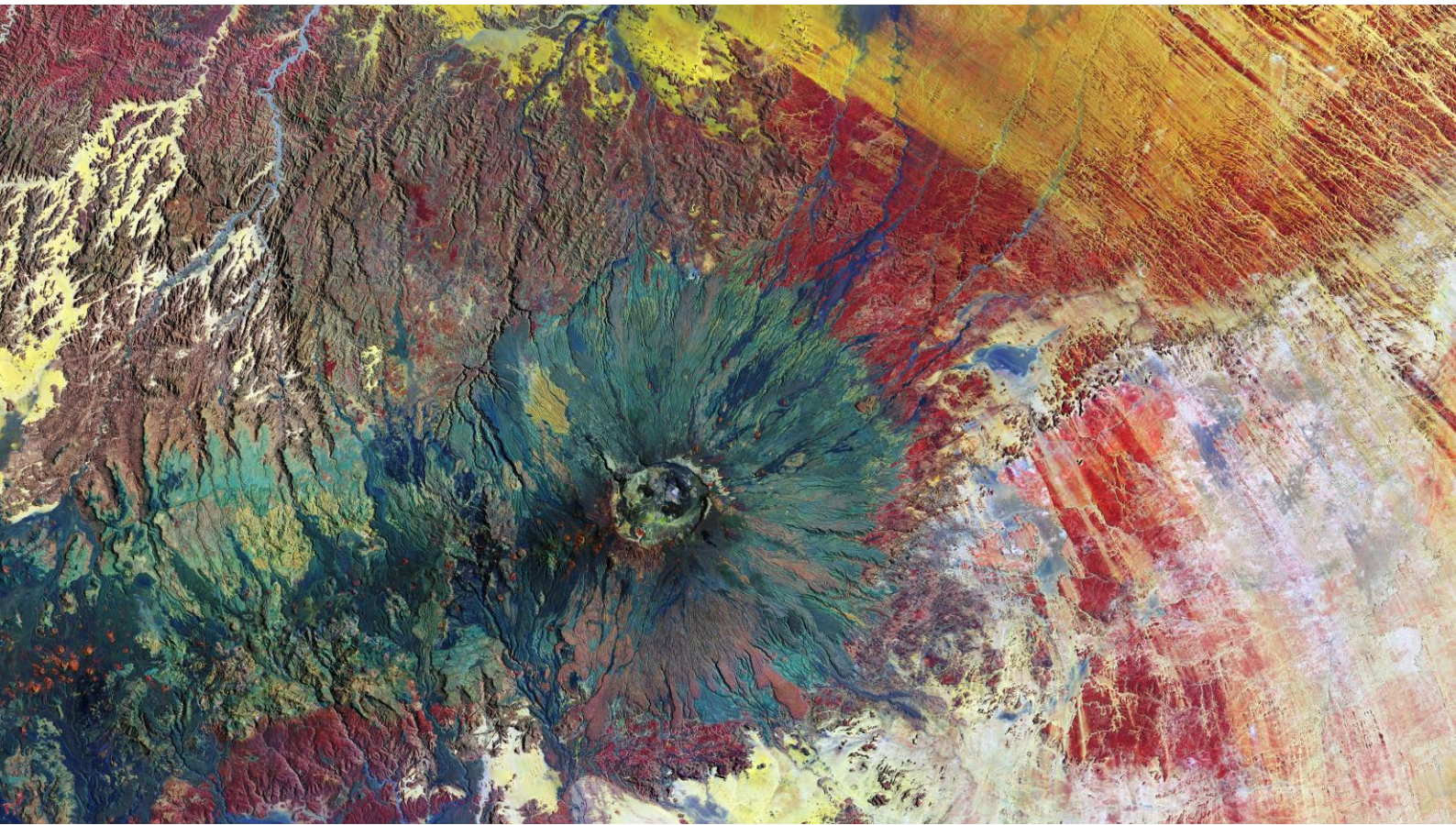
Envisat über der Arktis

Aufgenommen am 19. August 2009

„This Envisat image captures a plankton bloom larger than the country of Greece stretching across the Barents Sea off the tip of northern Europe.

Envisat acquired this image on 19 August 2009 with its Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) instrument. MERIS's primary objective is to provide quantitative ocean-colour measurements, but the sensor has enough flexibility to serve applications in atmospheric and land-surface science as well.“

Weblink: https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2009/09/Plentiful_plankton



Sentinel-2B über Emi Koussi

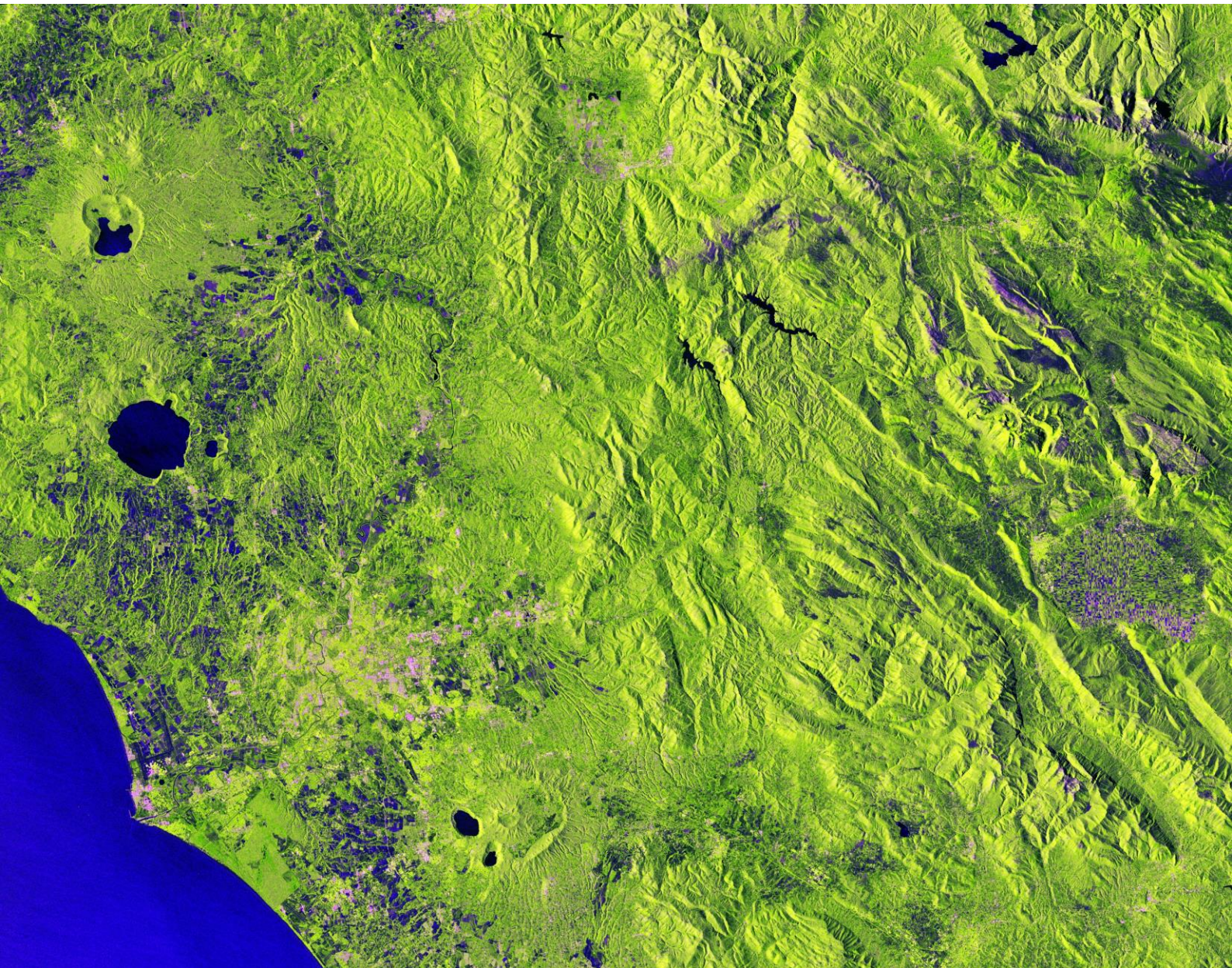
Aufgenommen am 27. November 2017

„Reminiscent of an artist’s pallet, this is the Emi Koussi volcano in northern Chad, imaged by the Copernicus Sentinel-2B satellite.

Emi Koussi lies at the southeast end of the Tibesti Mountains. At almost 3500 m, this pyroclastic shield volcano rises high above the surrounding sandstone plains. It is not only the highest mountain in Chad, but also the highest in the Sahara. Calderas, or depressions, can be seen nestling in the cap of the volcano. These are a result of magma erupting quickly and the surface collapsing into the partially emptied magma chamber. Emi Koussi is extinct and it is not known when it last erupted. The lack of vegetation allows wind and water to carve long grooves in the rock. These grooves can be 30 metres deep and several kilometres long.

The Copernicus Sentinel-2 satellites carry innovative high-resolution multispectral cameras with 13 spectral bands. Processing the image here reveals differences in the minerals of the rock. For example, the green around the cone of the volcano is old lava, while sandstone in the surrounding area appear in reds and yellows.“

Weblink: https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2018/05/Emi_Koussi



Sentinel-1B über Zentralitalien

Aufgenommen am 06. Juli 2018

„From the Apennine Mountains in the top right, to the fertile, former lakebed of the Avezzano plain in the centre right, this bright, false-colour image captures the diversity and beauty of the region’s landscapes.

Dual-polarisation radar technology has been used, resulting in vibrant shades of green for most of the land surface shown. Built up areas, such as Italy’s capital city of Rome, appear in shades of red and pink. Meanwhile, the structure of the agricultural fields of Altopiano in the Abruzzo region is clearly reflected in a combination of blue and violet hues.

This radar technology allows us to see the crater lake structures of the volcanic lakes of Nemi and Albano in the bottom left clearly. The same is true for Lago di Vico with the volcano and crater clearly visible in the top left of the image.

Sentinel-1’s radar technology can provide images with a resolution of 10 m and within hours of acquisition to aid emergency response. This imagery can support impact assessments for many types of hazard including floods and earthquakes.“

Weblink: https://www.esa.int/spaceinimages/Images/2018/09/Central_Italy

LITERATUR

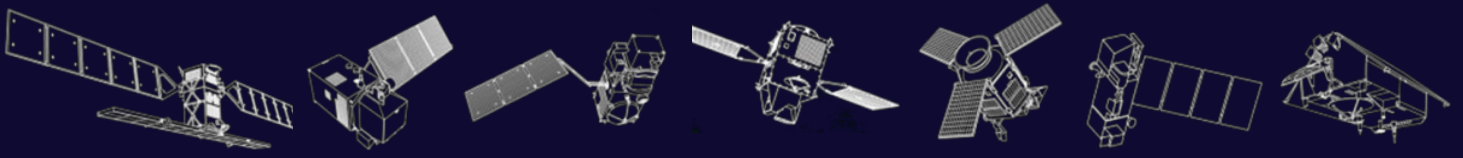
- Albertz, Jörg (2001). *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft-und Satellitenbildern*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft (siehe S. 58).
- (2019). *Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft-und Satellitenbildern*. Wiss. Buchges. ISBN: 978-3-534-25863-5 (siehe S. 57).
- Assembly, UN General (2016). „Report of the open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction“. In: *United Nations General Assembly: New York, NY, USA*, S. 41 (siehe S. 43).
- Behrendt, H (2008). „Klimawandel und Allergie“. In: *Globaler Klimawandel und Gesundheit* 19 (siehe S. 30).
- Campbell, James B und Randolph H Wynne (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press (siehe S. 57).
- Deutscher Wetterdienst (2015). *Jahresmelder-Daten aus dem phänologischen Grundnetz des Deutschen Wetterdienstes*. Online: https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/daten_deutschland/jahresmelder/jahresmelder_node.html. Aufgerufen am 31.08.2018. (siehe S. 30).
- Die Bundesregierung (2017). *Die Copernicus Strategie der Bundesregierung*. Online. PDF abrufbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Digitales/copernicus-strategie-bundesregierung.html>. Zuletzt aufgerufen am 21.09.2018." (siehe S. 17).
- Dietze, Gerhard (1957). *Einführung in die Optik der Atmosphäre*. Akademische Verlagsgesellschaft (siehe S. 61).
- Eberle, Jonas, Trevor Taylor und Christiane Schullius (2016). „Easy to use time-series data access and analysis tools using standardbased geoprocessing services“. In: *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International*. IEEE, S. 3614–3617 (siehe S. 33).
- Eis, Dieter, Dieter Helm, Detlef Laußmann und Klaus Stark (2011). *Klimawandel und Gesundheit – Ein Sachstandsbericht*. Robert Koch-Institut, Epidemiologie und Gesundheitsberichterstattung, S. 162 ff. (Siehe S. 30).
- Eklundh, Lars und Per Jönsson (2015). „TIMESAT: A software package for time-series processing and assessment of vegetation dynamics“. In: *Remote Sensing Time Series*. Springer, S. 141–158 (siehe S. 32).
- Foitzik, Leonhard und Hans Hinzpeter (1958). *Sonnenstrahlung und Lufttrübung*. Bd. 31. Akademische Verlagsgesellschaft (siehe S. 61).

- Hengl, Tomislav (2009). *A practical guide to geostatistical mapping*. Bd. 52. Hengl (siehe S. 32).
- Hildebrandt, Gerd (1996). *Fernerkundung und Luftbildmessung: für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie*. Wichmann (siehe S. 57).
- Jensen, John R (2009). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective 2/e*. Pearson Education India (siehe S. 57).
- Jiang, Zhangyan, Alfredo R Huete, Kamel Didan und Tomoaki Miura (2008). „Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band“. In: *Remote sensing of Environment* 112.10, S. 3833–3845 (siehe S. 32).
- Jönsson, Per und Lars Eklundh (2004). „TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data“. In: *Computers & Geosciences* 30.8, S. 833–845 (siehe S. 32).
- Koßmann, Meinolf (2012). *Stadtklimasimulationen mit dem Modell MUKLIMO_3 zur Veränderung sommerlicher Temperaturverhältnisse durch Klimawandel und Bauänderungen in Köln. Abschlussbericht zum Projekt Köln_21*. Deutscher Wetterdienst. PDF abrufbar unter https://www.dwd.de/DE/klima/umwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_koeln/abschlussbericht_tp3.html. Zuletzt aufgerufen am 21.09.2018. (siehe S. 40).
- Lillesand, Thomas, Ralph W. Kiefer und Jonathan Chipman (2015). *Remote sensing and image interpretation*. 7. Aufl. John Wiley & Sons (siehe S. 57).
- Möller, Fritz (1957). „Strahlung in der unteren Atmosphäre“. In: *Geophysik II/Geophysics II*. Springer, S. 155–253 (siehe S. 61).
- Nechad, B, KG Ruddick und G Neukermans (2009). „Calibration and validation of a generic multisensor algorithm for mapping of turbidity in coastal waters“. In: *Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, and Large Water Regions 2009*. Bd. 7473. International Society for Optics and Photonics, 74730H (siehe S. 36).
- Nechad, Bouchra, Ana Dogliotti, Kevin Ruddick und David Doxaran (2016). „Particulate backscattering and suspended matter concentration retrieval from remote-sensed turbidity in various coastal and riverine turbid waters“. In: *Proceedings of the Living Planet Symposium 2016* (siehe S. 36).
- Schönthaler, Konstanze, Stefan von Andrian-Werburg, Petra Van Rùth und Susanne Hempen (2015). *Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel: Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe Anpassungsstrategie der Bundesregierung*. Online. PDF abrufbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/monitoringbericht-2015> (siehe S. 30).
- Science Education through Earth Observation for High Schools. (2006). *Einführung in die Fernerkundung*. Online. http://lms.seos-project.eu/learning_modules (siehe S. 58).

- Sievers, Uwe (2016). *Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3. Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen* (siehe S. 38).
- The World Bank (2017). *World Bank data on urban development*. Online. Abrufbar unter <http://data.worldbank.org/topic/urban-development>. Aufgerufen am 24.09.2018." (siehe S. 38).
- Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz (2017). *Klimawandelfolgen in Thüringen. Monitoringbericht 2017*. PDF abrufbar unter <http://thueringen.de/de/publikationen/pic/pubdownload1708.pdf>. Aufgerufen am 31.08.2018." (siehe S. 30, 31).
- UNISDR, UNO (2015). „Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030“. In: *3rd United Nations World Conference on DRR*. UNISDR Sendai, Japan (siehe S. 43, 44).

Die Sentinel-Missionen der Copernicus Weltraumkomponente

Mission	Anwendungsbereiche / einige räumliche Auflösungen	Im All seit Start geplant	Überflugrate
Sentinel-1 A/B (Radar)	Land und Ozean, Eiskartierung, Bodenbewegungen		
	Räumliche Auflösung <ul style="list-style-type: none"> Strip Map Mode: 5 x 5 m, 80 km Streifenbreite Interferometric Wide Swath: 5 x 20 m, 250 km Streifenbreite Extra-Wide Swath Mode: 25 x 100 m, 400 km Streifenbreite Wave-Mode: 5 x 20 m 	A: 04/2014 B: 04/2016	Ca. alle 6 Tage
Sentinel-2 A/B (Multispektraler optischer Sensor)	Landbedeckung und -nutzung, Vegetation, Boden, Wasser		
	Räumliche Auflösung 10, 20 und 60 m	A: 06/2015 B: 03/2017	Ca. alle 5 Tage
Sentinel-3 A/B (Optische, Radarsensoren)	Meeresoberfläche, Höhe, Farbe, Temperatur		
	Räumliche Auflösung <ul style="list-style-type: none"> OLCI 300 m SLSTR 500 m für Solare-Reflektanz und 1 km für Thermal-Infrarot SRAL (LRM-Mode 1,64 x 1,64 km, SAR-Mode 300 m x 1,64 km) 	A: 02/2016 B: 04/2018	Über Ozean: < 2 Tage Über Land: < 1,5 Tage
Sentinel-4 A/B (Atmosphärensensoren- Geostationär)	Luftqualität, O3, NO2, SO2		
	Räumliche Auflösung 8 km	A: 2019 B: 2025	60 min
Sentinel-5P (Atmosphärensensoren)	Luftqualität, O3, UV		
	Räumliche Auflösung Ca. 3 x 7 km	10/2017	Täglich
Sentinel-5 A/B/C (Atmosphärensensoren)	Luftqualität, O3, NO2, SO2, HCHO, CO, CH4		
	Räumliche Auflösung 7 x 3,5 km, 15 km für UV1	A: 2019 B: 2025	29 Tage
Sentinel-6 A/B (Altimeter)	Meereshöhe		
		A: 2020 B: 2025	Ca. alle 10 Tage



Durch die kostenfreie Bereitstellung von Erdbeobachtungsdaten leistet das EU Copernicus-Programm einen umfangreichen Beitrag zum Umweltmonitoring.

Mit dieser Broschüre möchten wir vor allem künftigen Nutzerinnen und Nutzern den Einstieg in die Anwendung dieses Datenschatzes erleichtern.

Wir geben einen Überblick über die Struktur des Programms und stellen die Kontaktstellen im nationalen Copernicus-Fachnetzwerk vor. Aktuelle Fachbeiträge von Kolleginnen und Kollegen vermitteln einen Eindruck von den Möglichkeiten der Nutzung der Daten und Produkte aus unternehmerischer und Behördensicht. Abschließend erläutern wir die Möglichkeiten des Datenzugangs und zeigen erste Schritte für den Umgang mit den Daten in der Praxis auf.

Welche Hilfestellungen oder Maßnahmen wünschen Sie sich?

- Infoveranstaltungen, Workshops, Schulungen → In-House
- Datenformate und Prozessketten verständlich machen
- besserer Nutzeraustausch - Kontakt/Service-Stelle
- nachvollziehbare Beispielanwendungen mit allen Prozessschritten
- Bessere Werbung
- Bessere Vernetzung
Speziell der Landesbehörden

