



Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Geoinformatik

Bachelorarbeit
im Fach Geoinformatik

Rich Data Interfaces for Copernicus Data

Themensteller: Prof. Dr. Albert Remke
Betreuer: Dr. Christian Knoth, Dipl.-Geoinf. Matthes Rieke
Ausgabetermin: tbd.
Abgabetermin: tbd.

Vorgelegt von: Alexander Nicolas Pilz
Geboren: 06.12.1995
Telefonnummer: 0176 96982246
E-Mail-Adresse: apilz@uni-muenster.de
Matrikelnummer: 512 269
Studiengang: Bachelor Geoinformatik
Fachsemester: 6. Semester

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Motivation	5
1.2	Ziele	5
1.3	Aufbau	5
2	Grundlagen	7
2.1	Radarfernerkundung	7
2.2	Copernicus Programm	10
2.2.1	Ziele	10
2.2.2	Aufbau	10
2.2.3	Sentinel 1	11
2.2.4	Datenzugang	13
2.3	Überschwemmungsmonitoring	13
2.4	Schnittstellen	13
2.5	OGC und OGC Standards	13
2.6	OGC API - Processes - Part 1: Core	13
2.6.1	Ziele	13
2.6.2	Aufbau	13
2.7	Evaluationskriterien	13
3	Implementierung	14
3.1	Requitements Class Core	14
3.2	Requitements Class OGC Process Description	14
3.3	Requitements Class JSON	14
3.4	Requitements Class HTML	14
3.5	Requitements Class OpenAPI 3.0	14
3.6	Requitements Class Job List	14
3.7	Requitements Class Dismiss	14
3.8	Zusätzliche Funktionalitäten	14
4	Evaluation	15
5	Ausblick	16

Abbildungsverzeichnis

1	Prinzip eines SAR Fernerkundungssystems [1]	9
2	Aufnahmeverfahren SAR Systemen [1]	9
3	Aufnahmemodi der Sentinel-1 Mission [6]	12

Tabellenverzeichnis

1	Gängige Frequenz-Bänder in der Radarfernerkundung [1]	7
2	Eigenschaften der Aufnahmemodi der Sentinel-1 Mission [6]	12

Abkürzungsverzeichnis

API Application Programming Interface

OGC Open Geospatial Consortium

NDSI Normalized Difference Sigma-Band Index

SAR Synthetic Aperture Radar

ESA European Space Agency

GMES Global Monitoring for Environmental Security

CAMS Copernicus Atmosphere Monitoring Service

CMEMS Copernicus Marine Environment Monitoring Service

CLMS Copernicus Land Monitoring Service

EMS Emergency Management Service

C3S Climate Change Service

SM Stripmap Mode

SLC Single Look Complex

GRD Ground Range Detected

OSW Ocean Swell Spectra

OWI Ocean Wind Field

RVL Radial Surface Velocity

OSW, OWI und RVL

1 Einleitung

1.1 Motivation

Diverse fernerkundungs Programme und Plattformen erfassen täglich eine große Menge von Fernerkundungsdaten in unterschiedlichsten Formaten. Die erfassten Daten finden in vielen Unterschiedlichen Szenarien anwendung. Eines dieser Szenarien ist das Kartieren von Flutkatastrophen und die Unterstützung entsprechender Risikoanalysen. Da Überschwemmungen ca. 75% der weltweiten Naturkatastrophen ausmachen ist dieses Thema in der EU und Weltweit im Fokus der zuständigen Behörden. Um deren Arbeit so effizient und präzise wie möglich zu unterstützen werden nicht nur ein Zugang zu den erfassten Fernerkundungsdaten benötigt sondern auch die Möglichkeit abgeleitete Geoprodukte beziehen zu können. Diese abgeleiteten Geoprodukte sind bereits vorprozessiert und auf spezielle Anwendungsfälle, zum Beispiel die Überschwemmungskartierung, zugeschnitten. Für die Entscheidungsträger bietet dies einige Vorteile. Zum einen müssen sie die teilweise aufwendigen und fachlich anspruchsvollen Verarbeitung der Geodaten nicht eigenständig durchführen. Zum anderen besteht keine Notwendigkeit auf seiten der Konsumenten Infrastrukturen für die Verarbeitung und Speicherung der Rohdaten bereitstellen zu müssen. Um eine große Nitzergemeinschaft schnell und einfach mit den beschriebenen Daten versorgen zu können ist die Standardisierung von Formaten und Schnittstellen unabdingbar. Das Open Geospatial Consortium (OGC) widmet dieser Aufgabe und definiert seit 1994 diese Aufgabe.

1.2 Ziele

Das Hauptziel dieser Arbeit ist die Implementierung einer OGC API - Processes - Part 1: Core standardkonformen API. Die API wird einen Prozess anbieten welches es Nutzer Überschwemmungsmasken für ein gewünschtes Gebiet zu erzeugen. Die Überschwemmungsmasken sollen auf der Basis von Fernerkundungsdaten der Sentinel-1 Mission erfolgen. Der Prozess soll dabei die Beschaffung und Vorprozessierung der Daten sowie die Berechnung des Normalized Difference Sigma-Naught Index (NDSI) und dessen Grenzwertbestimmung und Binärisierung durchführen.

1.3 Aufbau

Im ersten Teil dieser Arbeit sollen die fachlichen und technischen Grundlagen geschaffen werden. Dabei werden zunächst Grundlegende Konzepte der Radarfernerkundung erläutert werden. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der satellitengestützten Plattformen mit einer synthetischen Apertur zu denen die beiden Satelliten der Sentinel-1 Mission zählen. Anschließend sollen die Ziele sowie die Struktur der Sentinel-1

Mission zugrunde liegenden Copernicus Programm der Europäischen Union vorgestellt werden. Da im Kontext dieser Arbeit nicht nur die im Rahmen dieses Programmes erfassten Geodaten von Interesse sind sondern auch der Zugang zu diesen wird dieser Aspekt ebenfalls näher untersucht. Da der über die API anzubietende Prozess das Detektieren von Überflutungen auf Radardaten der Sentinel-1 Mission ermöglichen soll im Grundlagenteil auch kurz in dieses Thema eingeführt werden. Dabei werden sowohl die Arbeitsschritte der Vorprozessierung als auch das Hereausarbeiten der Überflutung beschreiben werden. Da sich ein großer Teil der Arbeit mit der Implementierung eines Standards für Application programming Interfaces (API) beschäftigt soll der Begriff der Schnittstelle im Kontext der Geoinformatik klar definiert und ihre Eigenschaften beschrieben werden. Da der zu implementierende Standard ein Entwicklung des OGC ist wird diese Organisation ebenfalls kurz vorgestellt. Darauf aufbauend wird der OGC API - Processes - Part 1: Core Standard vorgestellt. Im Fokus dieser Beschreibung liegt das Ziel welches das OGC mit dieser Standardisierung verfolgt sowie der Aufbau von OGC Standards Im Allgemeinen und dem genannten Standard im Besonderen. Abschließend werden die Evaluationskriterien mit welchen in dieser Arbeit die zu implementierende API bewertet werden soll vorgestellt.

2 Grundlagen

2.1 Radarfernerkundung

Bei der Radarfernerkundung werden vom Radarsystem in regelmäßigen Abständen elektromagnetische Signale ausgesandt. Nach dem Senden eines Signals (Chrip) folgt ein Zeitfenster indem die Plattform auf Echos des ausgesandten Signals wartet. Trifft das ausgesandte Signal auf eine Oberfläche, zum Beispiel die Erdoberfläche, wird ein Bruchteil reflektiert und als Echo vom Fernerkundungssystem empfangen [1].

Die Radarfernerkundung gehört zu den aktiven Fernerkundungsmethoden da hier im Gegensatz zur optischen Fernerkundung nicht nur von Oberflächen reflektierte Strahlung von anderen Strahlungsquellen wie der Sonne aufgenommen wird, sondern das Fernerkundungssystem selbst als Strahlungsquelle dient. Messungen können daher tageszeitunabhängig erfolgen. Dabei können die sendenden und erfangenden Komponenten unterschiedlich (bi- oder multistatisches Radar) oder identisch sein (monostatisches Radar). Bildgebende Radarsysteme werden auf mobilen Plattformen montiert und blicken seitlich auf die zu beobachtende Oberfläche. Die Flugrichtung wird Azimut und die Blickrichtung als Slant Range bezeichnet [1] (Abbildung 1).

Die Eigenschaften des reflektierten Signals hängen sowohl von Parametern des Aufnahmesystems als von Parametern der reflektierenden Oberfläche ab. So werden in der Radarfernerkundung verschiedenen Frequenzbänder verwendet, welche sich in Frequenz und Wellenlänge unterscheiden. Da sich Wechselwirkung zwischen Signalen unterschiedlicher Frequenzbänder unterscheidet können so unterschiedliche Aspekte der beobachteten Oberfläche hervorgehoben werden. Dabei kommen in der Regel Wellenlängen von 0.75m bis 120m zu Einsatz (Tabelle 1). Mit einer größeren Wellenlänge kann ein Medium auch tiefer durchdrungen werden. Außerdem werden Wolken, Dunst und Rauch durchdrungen was den zusätzlich Vorteil bietet wetterunabhängig Messungen durchführen zu können [2].

Tabelle 1: Gängige Frequenz-Bänder in der Radarfernerkundung [1]

Frequenzband	Ka	Ku	X	C	S	L	P
Frequenz (GHz)	40-25	17.6-12	12-7.5	7.5-3.75	3.75-2	2-1	0.5-0.25
Wellenlänge (cm)	0.75–1.2	1.7–2.5	2.5–4	4–8	8–15	15–30	60–120

Die Durchdringungstiefe hängt auch von der Dielektrizitätskonstante der reflektierenden Oberfläche ab. Ist diese groß, reflektiert die Oberfläche stark und die Durchdringungstiefe ist gering. Die Rauigkeit ist eine Eigenschaft der reflektierenden Oberfläche und hat großen Einfluss auf das reflektierte Signal. Ist diese im Verhältnis zur verwandten Wellenlänge gering so kommt es zur Spiegelung und nur ein geringer bis kein Anteil des kehrt zum Empfänger zurück. Doch auch die Form und Exposition

der Oberfläche nimmt Einfluss auf das reflektierte Signal. So werden Flächen unterschiedlich stark bestrahlt. Ist eine dem System abgewandte Fläche steiler geneigt als der Depressionswinkel liegen Sie sogar im Radarschatten und werden gar nicht bestrahlt [2]. Zusätzlich ist die Polarisation der ausgesandten und empfangenen Signale bei der Messung ausschlaggebend. Sie können horizontal oder vertikal polarisiert sein. Dies führt zu vier möglichen Polarisationsmodi für das Senden (transceive) und das Empfangen (receive) nämlich HH, VV, HV und VH. Auch die Polarisation sorgt für eine unterschiedliche Wiedergabe von beobachteten Objekten und kann somit verwendet werden um bestimmte Aspekte hervorzuheben [2]. Die Auflösung entlang des Azimut unterscheidet sich von der Auflösung in Blickrichtung. Die Auflösung in Azimutrichtung wird von der Antennenlänge bestimmt da diese festlegt wie lange die Reflektion eines Objektes empfangen werden. Die Antennenlänge kann bauartbedingt nicht beliebig gesteigert werden. Die Antennenlänge bestimmt auch den Abstrahlwinkel und somit die Ausdehnung am Boden eines Impulses in Azimutrichtung. Diese nimmt mit zunehmender Entfernung zu, während die Auflösung abnimmt. Die Auflösung in Blickrichtung hängt vom Depressionswinkel der Antenne ab da dieser Einfluss auf die Laufzeit des Signals nimmt. Die Ausdehnung des beobachteten Gebietes hängt von der Laufzeit des ausgesandten Signales ab. Die Objekte werden abhängig von ihrer Entfernung zur Antenne verzerrt wiedergegeben da nahegelegene Objekte von der Wellenfront schneller durchlaufen werden. Dieser unterschied zwischen Schrägdistanz und Bodendistanz lässt sich jedoch nahezu vollständig korrigieren [2]. Die bisher beschriebene System wird auch System mit realer Apertur bezeichnet und eignet sich nur für geringe Flughöhen da hier der Abstand zwischen Antenne und Oberfläche gering ist. Bei Radarsystemen mit einer synthetischen Apertur wird durch die Bewegung des Sensors in Azimutrichtung die wirksame Antennenlänge rechnerisch verlängert indem die reflektierten Signale eines beobachteten Objektes von verschiedenen Standpunkten und unterschiedlichen Zeitpunkten miteinander korreliert werden. So können hohe Azimutaufösungen erzielt werden. Solche Systeme eignen sich auch für den Einsatz auf Satelliten [2].

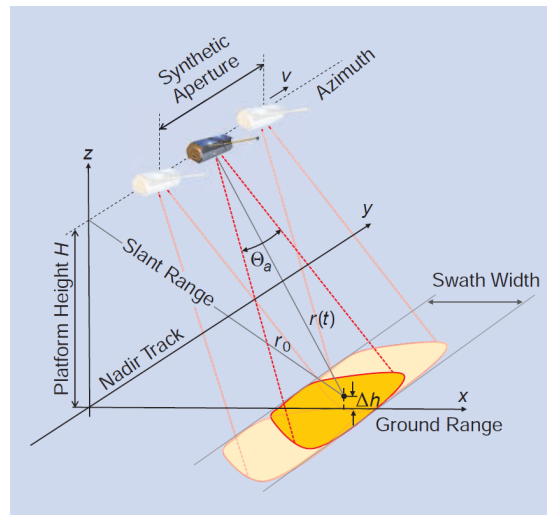


Abbildung 1: Prinzip eines SAR Fernerkundungssystems [1]

Solche Systeme können in unterschiedlichen Aufnahmeverfahren arbeiten. Das einfachste dieser Verfahren ist das Strip-Map Verfahren bei dem nur ein Streifen kontinuierlich aufgenommen wird. Breitere Aufnahmestreifen können mit dem ScanSAR Verfahren erzielt werden. Dabei werden unter verschiedenen Depressionswinkeln, in Blickrichtung und zeitversetzt mehrere Sub-Aufnahmestreifen erzeugt. Im Vergleich zum Strip-Map Verfahren ist Auflösung jedoch geringer. Wird eine höhere Auflösung benötigt kann das Spotlight Verfahren zum Einsatz kommen bei dem eine fixe Region über einen längeren Zeitraum hinweg beobachtet wird. Dies führt zu einer sehr langen wirksamen Antenne und damit zu hohen Azimutaufösungen. Angepasste Verfahren oder Mischformen können je Beobachtungsszenario zum Einsatz kommen [1].

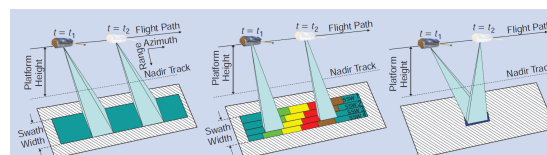


Abbildung 2: Aufnahmeverfahren SAR Systemen [1]

Im Gegensatz zu optischen Aufnahmeverfahren liefern die Rohdaten einer Befliegung mit Radarsensoren noch keine Bilddaten. Um Bilder zu erzeugen, bedarf es zunächst einer komplexen Verarbeitung der aus Amplitude und Phase bestehenden Signale. Dabei werden die Daten entlang des Azimuts und der Blickrichtung gefiltert. In der Regel repräsentieren die Pixelwerte eines aus Radardaten abgeleiteten Bildes der Reflektivität der korrespondierenden Fläche. Mittels Geocodierung kann das so entstandene Bild verortet werden. Zusätzlich können diverse Kalibrierungen vorgenommen werden. Dazu gehören Verfahren welche Rauscheffekte minimieren, die geometrischen Eigenschaften verbessern oder die Interpretation der Bilder erleichtern [1].

2.2 Copernicus Programm

2.2.1 Ziele

Das Copernicus Programm ging aus dem Global Monitoring for Environmental Security Programm (GMES) Programm hervor welches 1998 mit dem Ziel initiiert wurde um Europa zu ermöglichen eine führende Rolle bei der Lösung von weltweiten Problemen im Kontext Umwelt und Klima zu verschaffen. Teil dieser Bestrebungen ist der Aufbau eines leistungsfähigen Programms zur Erdbeobachtung. 2012 wurde das GMES-Programm zum Copernicus Programm umbenannt [3]. Erklärte Ziele des Copernicus Programmes ist das Überwachen der Erde um den Schutz der Umwelt sowie Bemühungen von Katastrophen- und Zivilschutzbehörden zu unterstützen. Gleichzeitig soll die Wirtschaft im Bereich Raumfahrt und der damit verbundenen Services unterstützt und Chancen für neue Unternehmungen geschaffen werden [7].

2.2.2 Aufbau

Das Copernicus Programm besteht aus Weltraum, In-Situ- und Service-Komponente. Zur Weltraum-Komponente gehören die verschiedenen Satellitenmissionen sowie Bodenstationen welche für den Betrieb sowie die Steuerung und Kalibrierung der Satelliten verantwortlich sind [7]. Sentinel-1 Satelliten sind mit bildgebenden Radarsystemen ausgerüstet und beobachten wetter- und tageszeitunabhängig Land-, Wasser- und Eismassen um unter anderem das Krisenmanagement zu unterstützen. Satelliten der Sentinel-2 Mission führen hochauflösende, multispektrale Kameras mit und liefern weltweit optische Fernerkundungsdaten. Altimetrische und radiometrische Daten von Land- und Wasserflächen werden von der Sentinel-3 Satellitenmission gesammelt während spektrometrische Daten zur Überwachung der Luftqualität von Sentinel-4 und 5 Satelliten erfasst werden. Ozeanografische Daten sollen von den Sentinel-6 Satelliten geliefert [4].

Die In-Situ-Komponente sammelt Daten von see-, luft- und landbasierten Sensoren sowie geografische und geodätische Referenzdaten. Die harmonisierten Daten werden verwendet um die Daten der Weltraum-Komponente zu verifizieren oder zu korrigieren. Gleichzeitig können räumliche oder thematische Lücken in der Datenabdeckung gefüllt werden [7] [5].

Zur Service-Komponente gehören unterschiedliche Dienste welche jeweils auf Themengebiet abgestimmt sind und Daten in hoher Qualität bereitstellen. Der Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) soll Informationen zur Luftqualität und der chemischen Zusammensetzung der Atmosphäre liefern. Daten bezüglich des Zustands und der Dynamik der Meere und deren Ökosysteme lassen sich über den Coperni-

cus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS) beziehen. Informationen zur Flächennutzung und Bodenbedeckung werden vom Copernicus Land Monitoring Service (CLMS) bereitgestellt. Um eine nachhaltige Klimapolitik planen und umsetzen zu können stellt der Copernicus Climate Change Service (C3S) aktuelle sowie historische Klimadaten bereit. Um den Zivilschutzbehörden schnelle Reaktionen auf Umweltkatastrophen zu ermöglichen stellt der Emergency Management Service (EMS) entsprechende Fernerkundungsdaten bereit. Ähnliche Daten können von europäischen Zoll- und Grenzschutzbehörden über den Copernicus Security Service bezogen werden [7] [5].

2.2.3 Sentinel 1

Die Sentinel-1 Satellitenmission liefert wetter- und tageszeitunabhängige Radardaten der Erdoberfläche. Die Mission besteht aus zwei Satelliten, Sentinel-1 A und B, sowie einer Bodenkomponente welche für Steuerung und Kalibrierung und Datenverarbeitung verantwortlich ist. Die Satelliten tragen als Hauptinstrument ein bildgebendes Radar mit synthetischer Apertur welches im C-Frequenzband arbeitet. Es stehen zwei Polarisationsmodi, Single (HH, VV) oder Dual (HH+HV, VV+VH), zur Verfügung [8]. Die Erfassung von Daten kann in vier Aufnahmemodi erfolgen welche sich in Auflösung, Streifenbreite und Anwendungsszenario unterscheiden. Der Standardmodus ist der Stripmap Modus (SM) bei dem Aufnahmestreifen mit einer kontinuierlichen Folge von Signalen abgetastet wird [8]. Die Aufnahmemodi Interferometric Wide Swath Mode (IW) und Extra-Wide Swath Mode (EW) arbeiten im TOPSAR Verfahren mit drei beziehungsweise fünf Sub-Aufnahmestreifen um ein größeres Gebiet aber in geringerer Auflösung aufnehmen zu können. TOPSAR ist eine Abwandlung des ScanSAR Verfahrens bei dem die Antenne zusätzlich in Azimutrichtung vor und zurück bewegt wird um die radiometrische Qualität der resultierenden Bilder zu verbessern. Wenn der Wave Modus (WV) zu Einsatz kommt werden kleine, Vignetten genannte, Szenen im Stripmap Verfahren aufgenommen. Sie werden in regelmäßigen Abständen und wechselnden Depressionswinkeln aufgenommen [1] [8].

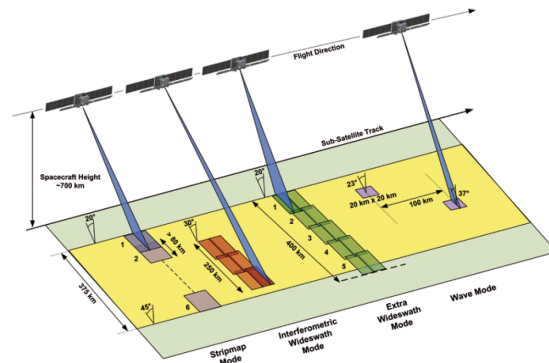


Abbildung 3: Aufnahmemodi der Sentinel-1 Mission [6]

Tabelle 2: Eigenschaften der Aufnahmemodi der Sentinel-1 Mission [6]

Modus	IW	WV	SM	EW
Polarisation	Dual	Single	Dual	Dual
Azimut-Auflösung (m)	20	5	5	40
Rage-Auflösung (m)	5	5	5	20
Streifenbreite (km)	250	20x20	80	410

Beide Satelliten befinden sich auf einem polnahen, sonnensynchronen Orbit. Ein Zyklus dauert 12 Tage in denen die Erde 175 umrundet wird. Da er sich um ein Satellitenpaar handelt welches als Tandem die Erde umrundet wird ein Punkte alle sechs Tage von einem der Satelliten überflogen. Das System kann eine zuverlässige globale und systematische Abdeckung liefern. Dabei können im IW Modus alle relevanten Land-, Wasser- und Eismassen alle zwölf Tage vollständig von einem Satelliten erfasst werden. In Krisensituationen können nach Bedarf innerhalb von zweieinhalb und fünf Tagen Daten erfasst werden [6].

Nach dem Erfassen der Daten und dem Übersenden an eine Bodenstation werden diverse Vorverarbeitungsschritte vorgenommen in die sowohl interne also auch externe Parameter einfließen. Daraus ergeben sich diverse Produkte welche sich durch Aufnahmemodus (IW, SM, EW und WV), Level-1 Produkt-Typ (SLC, GRD) sowie ihre Auflösung (Full-, High-, und Medium-Resolution) unterscheiden. Single Look Complex (SLC) Produkte sind im wesentlichen Kalibrierte Rohdaten in denen Amplitude und Phase nicht zur Reflektivität kombiniert wurden und die geometrische Auflösung sich in Azimut- und Blickrichtung unterscheidet. Ground Range Detected (GRD) Produkte bilden hingegen die Reflektivität ab und haben eine annähernd quadratische geometrische Auflösung. Die Reflektivität wird in der logarithmischen Maßeinheit Decibel (dB). Die Korrektur der Auflösung in Blickrichtung erfolgt dabei erfolgt dabei durch

Projektion auf einen Ellipsoiden. [8]. Aus den Level-1 Produkten können die Level-2 Produkte OSW, OWI und RVL abgeleitet werden.

2.2.4 Datenzugang

2.3 Überschwemmungsmonitoring

2.4 Schnittstellen

2.5 OGC und OGC Standards

2.6 OGC API - Processes - Part 1: Core

2.6.1 Ziele

2.6.2 Aufbau

2.7 Evaluationskriterien

3 Implementierung

3.1 Requitements Class Core

3.2 Requitements Class OGC Process Description

3.3 Requitements Class JSON

3.4 Requitements Class HTML

3.5 Requitements Class OpenAPI 3.0

3.6 Requitements Class Job List

3.7 Requitements Class Dismiss

3.8 Zusätzliche Funktionalitäten

4 Evaluation

5 Ausblick

Literatur

- [1] A. Moreira, M. Younis, P. Prats-Iraola, G. Krieger, I. Hajnsek und K. P. Papathanassiou (2013, April 17). A Tutorial on Synthetic Aperture Radar [Online]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/257008464_A_Tutorial_on_Synthetic_Aperture_Radar (Zugriff am: 6. Juni 2022).
- [2] J. Albertz, Einführung in die Fernerkundung, 4. Auflage Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2009
- [3] Europäische Kommission (2018, Oktober 06). Copernicus: 20 years of History [Online]. Verfügbar unter: <https://www.copernicus.eu/en/documentation/information-material/signature-esafrance-collaborative-ground-segment> (Zugriff am: 13. Juni 2022).
- [4] European Space Agency (2018). Sentinels - Space for Copernicus [Online]. Verfügbar unter: <https://www.d-copernicus.de/daten/satelliten/daten-sentinels/> (Zugriff am: 13. Juni 2022).
- [5] Europäische Kommission (2019). What is Copernicus [Online]. Verfügbar unter: <https://www.copernicus.eu/en/documentation/information-material/brochuresbrochures> (Zugriff am: 13. Juni 2022).
- [6] ESA Communications (2012, März). Sentinel-1 ESA's Radar Observatory Mission for GMES Operational Services [Online]. Verfügbar unter: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/overview> (Zugriff am: 13. Juni 2022).
- [7] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2014, April 24). Establishing the Copernicus Programme and repealing Regulation (EU) No 911/2010 [Online]. Verfügbar unter: <https://www.kowi.de/Portaldata/2/Resources/horizon2020/coop/Copernicus-regulation.pdf> (Zugriff am: 13. Juni 2022).
- [8] M. Bourbigot, H. Johnson, R. Piantanida (2016, März 03). Sentinel-1 Product Definition [Online]. Verfügbar unter: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/document-library/-/asset_publisher/1dO7RF5fJMbd/content/sentinel-1-product-definition (Zugriff am: 13. Juni 2022).

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Bachelorarbeit zum Thema Rich Data Interfaces for Copernicus Data selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht Bestandteil einer Studien- oder Prüfungsleistung war.

Münster, den 14. Juni 2022