

Entwicklung eines Softwarepaketes zur Prozessierung von
Sentinel-1A-Kohärenzpaaren mit GAMMA
ein Bericht von

Marcel Felix

&

Friederike Metz

29.03.2021

GEO410 - Modulare Programmierung in der Fernerkundung (GAMMA)

Leitung: Dr. Oliver Cartus, John Truckenbrodt

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	2
2 Arbeitsgrundlage	3
2.1 Untersuchungsgebiet	3
2.2 Daten	4
2.3 Software	4
3 Methoden	5
3.1 Konzeption	5
3.2 Codegestaltung	5
4 Durchführung	6
5 Ergebnisse	9
5.1 Karten	9
5.2 Analyse	12
5.2.1 Winter	12
5.2.2 Sommer	12
5.2.3 Kohärenz	12
6 Diskussion	13
7 Zusammenfassung & Ausblick	14

1 Einleitung

Die Fernerkundung steht vor der ständigen Herausforderung SAR-Daten best- und schnellstmöglich prozessieren zu können, um möglichst gute Ergebnisse zu erhalten. Für diese Verarbeitungen werden spezielle Softwares benötigt. Eine solche Software ist GAMMA. Bei GAMMA handelt es sich um eine kommerzielle Software, die von der gleichnamigen Firma GAMMA Remote Sensing entwickelt und auch gewartet wird (GAMMA REMOTE SENSING 2021). Die Software bietet eine Unterstützung für die gesamte Verarbeitungskette von SAR-Rohdaten bis Produkten, da sie mehrere Module, die aus gut dokumentierten und strukturierten Codes bestehen, umfasst (GAMMA REMOTE SENSING 2020:1). Es gibt insgesamt vier Module, die als eine Art Toolbox verstanden werden (GAMMA REMOTE SENSING 2020:1): Modularer SAR-Prozessor (MSP), Interferometrie/ Differentielle Interferometrie und Geokodierung (ISP / DIFF & GEO), Land Application Tools (LAT) und Interferometrische Punktzielanalyse (IPTA) (GAMMA REMOTE SENSING 2021). Außerdem ist die Co-Registrierungs- und Geokodierungsfunktion als separates GEO-Paket verfügbar (GAMMA REMOTE SENSING 2021). Die Software ist darauf ausgerichtet weltraumgestützte sowie luftgestützte SAR-Daten zu verarbeiten, wie zum Beispiel JERS PALSAR-1/2, SEASAT, Cosmo-Skymed und ENVISAT ASAR (GAMMA REMOTE SENSING 2020:1). Des weiteren gibt es die Möglichkeit die GAMMA-Software durch einen Wrapper in Python zu integrieren mit dem sogenannten `gamma.py` Modul (GAMMA REMOTE SENSING 2020:3). So können die Tools und Datenformate in Python-Skripte unter anderem auch in Python-Entwicklungsumgebungen (IDE) verwendet werden (GAMMA REMOTE SENSING 2020:3). Unter der Verwendung des Wrappers können so zum Beispiel Binäre Bilder und Punktlisten einfach gelesen, inspiert und geschrieben werden (GAMMA REMOTE SENSING 2020:3). Weiterhin ist es möglich Funktionsnamen in einer interaktiven Python-Umgebung zu suchen und automatisch zu vervollständigen, was eine benutzerfreundliche Arbeitsweise ermöglicht (GAMMA REMOTE SENSING 2020:3). Zudem kann jederzeit auf die Dokumentation der Funktionen zugegriffen werden (GAMMA REMOTE SENSING 2020:3). In dieser Arbeit wird daher mit dem Fokus auf Python und dem PyroSAR-Package ein Softwarepaket für die Prozessierung von Sentinel 1A-Szenen zur Erzeugung von Kohärenzbildern entwickelt. Zur Veraunschaulichung werden Sentinel-1 Daten aus Irkutsk vom Sommer und vom Winter aus dem Jahre 2015 verwendet. Als erstes werden das Untersuchungsgebiet und die verwendeten Daten vorgestellt und die verwendete Software beschrieben. Danach wird die Methodik genannt, die zum einen die Konzeption und zum anderen die Codegestaltung beinhalten. Im weiteren Verlauf wird auf die Durchführung eingegangen, welcher eine Diskussion und die Zusammenfassung mit Ausblick folgen.

2 Arbeitsgrundlage

2.1 Untersuchungsgebiet

Irkutsk ist eine Stadt mit etwa 590.000 Einwohnern und befindet sich im Zentrum von Ostsibirien, Russland (Starostina u. a. 2009:389). Irkutsk und das umliegende Gebiet, in dem sich auch der Baikalsee befindet, zeichnen sich durch kalte und lange Winter aus, wobei rund um den Baikalsee Lufttemperaturen von bis zu -40°C erreicht werden (Moore u. a. 2009:407). Zudem bringt der trockene Winter Mittelwertstemperaturen im Januar von -16°C bis -30°C mit sich (Moore u. a. 2009:407). Somit ist der See im Winter vier bis fünf Monate zugefroren (Moore u. a. 2009:407). Durch das kontinentale Klima steigen die Temperaturen im Sommer auf 25°C bis 30°C (Moore u. a. 2009:407). Die monatlichen Durchschnittsniederschläge liegen im Juli bei rund 105 mm und ist somit der niederschlagsreichste Monat, wohingegen der Februar mit weniger als 15 mm der niederschlagsärmste Monat ist (vgl. Abb. 1). Irkutsk und der Baikalsee befinden sich in der Ökoregion Borealer Wald (vgl. Abb. 1 Olson u. a. 2001:934), in der vor allem die Waldkiefer, Sibirische Kiefer und Sibirische Lärche dominieren, wobei aber auch die Europäische Weisse Birke und aufrechte Europäische Espe vorkommen (Moore u. a. 2009:407).

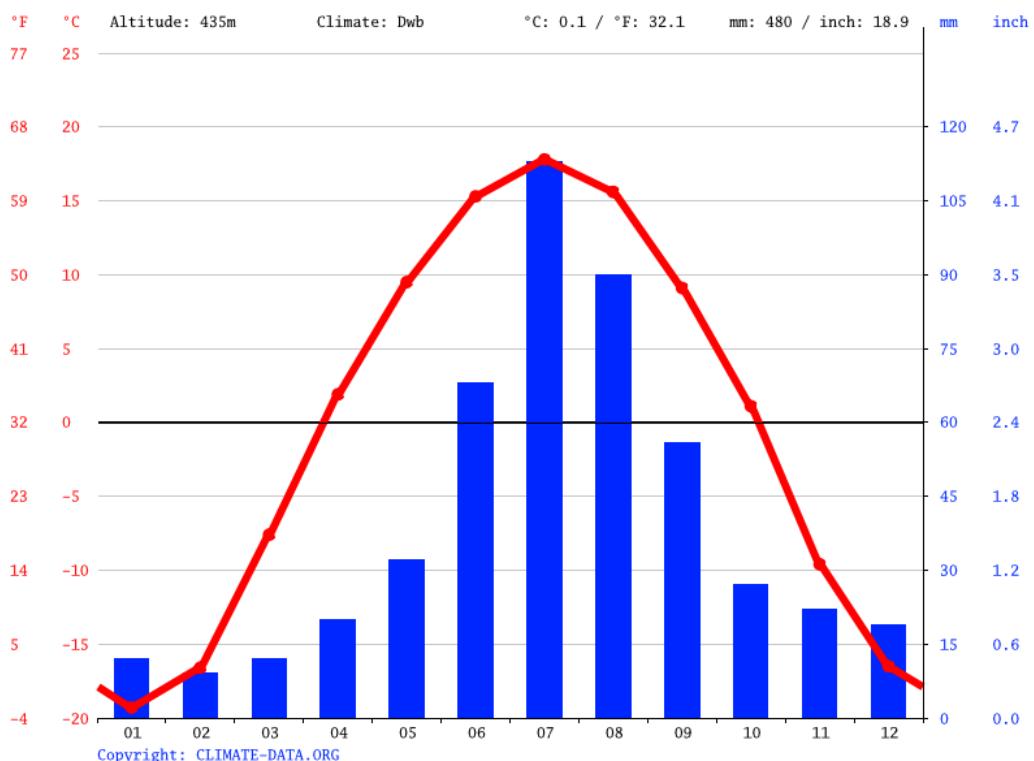


Abbildung 1: Klimadiagramm von Irkutsk (Climate-Data.org 2009)

2.2 Daten

Im Interesse des Projektes war es, Kohärenzbilder aus unterschiedlichen Jahreszeiten zu erzeugen und auszuwerten. Daher werden Daten aus dem Zeitraum April sowie August-September gewählt. Der April dient als Vertreter der Übergangszeit zwischen Winter und Frühling, da zu dieser Zeit im Untersuchungsgebiet typischerweise erst Temperaturen über null Grad erreicht werden (vgl. Abb. 1). Der August-September-Zeitraum verkörpert den späten Sommer bis Herbst, in dem vor Ort typischerweise noch Temperaturen von ca. zehn Grad herrschen (vgl. Abb. 1). Für die Untersuchung wird ein öffentlich zugänglicher C-Band-Sensor gewählt, Sentinel 1A. Als Szenen werden solche gewählt, die die Stadt Irkutsk beinhalten und zeitlich nah beieinander liegen. Als Datenquelle diente das *ASF Earth Data-Portal* (ASF 2021). Das erste Datenpaar liegt zwölf Tage auseinander und besteht aus zwei SLC-Szenen, akquiriert jeweils am 05.04.2015 und am 17.04.2015. Das zweite Datenpaar besteht ebenso aus zwei SLC-Szenen mit zwölf Tagen Abstand, die jeweils am 27.08.2015 und am 08.09.2015 akquiriert wurden. Beide Paare sind im *Interferometric Wide Swath* aufgenommen worden und haben unter anderem eine VV-Polarisierung. Beide Szenenpaare sind im *Descending*-Orbit aufgenommen.

Zur Prozessierung werden nebst der SLC-Szenen auch *Digital Elevation Models*, kurz DEMs oder DGMs, gebraucht. Die erforderlichen Daten werden vom *Consortium for Spatial Information* heruntergeladen (CGIAR-CSI 2020). Es handelt sich dabei um vier 5x5 Bogensekunden große *Tiles*, mit einer ungefähren Auflösung von 30 Metern. Namentlich die *Tiles* 57-01 und 57-02, sowie 58-01 und 58-02 des öffentlich zugänglichen 30m-SRTM-Datensatzes (CGIAR-CSI 2020).

Zusätzlich sollen die Kohärenzprodukte mit einigen Wetterdaten abgeglichen werden. So entsteht ein vollständiges Bild der Bedingungen zum gegebenen Zeitpunkt und erleichtert damit auch die Interpretation. Die Daten werden mittels einzelner Suchanfragen aus dem Portal *timeanddate.de* zusammengetragen (CustomWeather Inc. 2021).

2.3 Software

Für die Umsetzung des Projektes wird der Fernerkundungsserver des Instituts für Geographie an der Friedrich-Schiller-Universität genutzt (Institut für Geographie IG 2021). Die Verbindung zum Server wird mittels VPN-Zugang in das Universitätsnetz und einer SSH-Verbindung in MobaXterm 20.4 realisiert. Als Entwicklungsumgebung dient eine *Anaconda environment* mit der installierten Softwareerweiterung PyroSAR 0.11.1 für Python-Version 3.8.5. Über PyroSAR können Funktionen der GAMMA-Software aufgerufen werden. Das Schreiben des Prozessierungskripts, erfolgt mithilfe der Software Spyder. Einzelne Code-Abschnitte werden jeweils per Python Konsole auf dem Server getestet.

3 Methoden

3.1 Konzeption

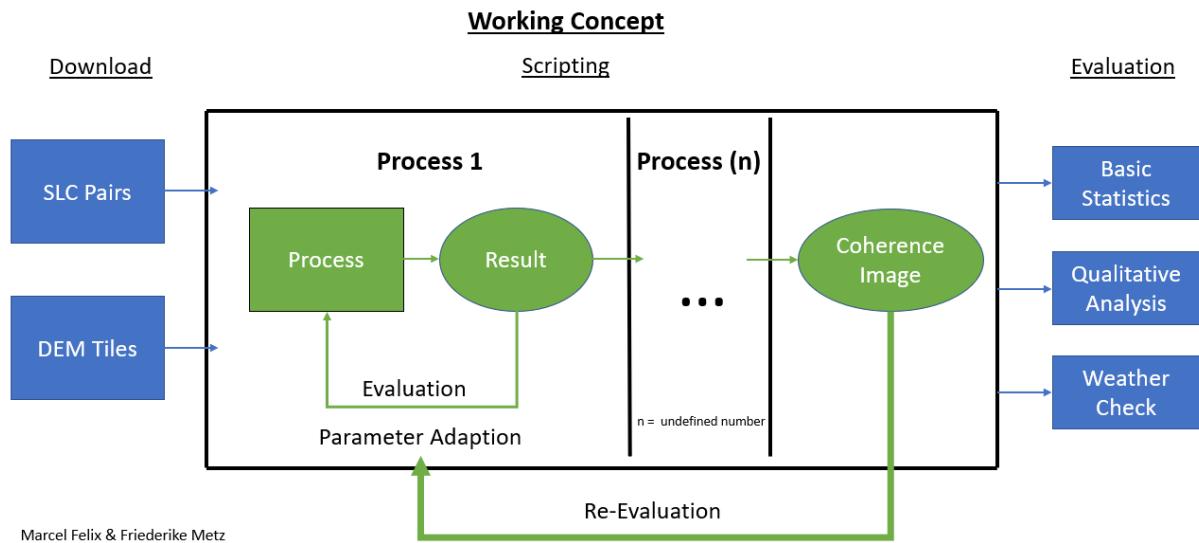


Abbildung 2: Konzeptionelle Planung des Arbeitsablaufes (ausgenommen: Anfertigung des Berichts)

An erster Stelle steht die Datenakquise. Die benötigten SLCs und DGMs werden von den zuvor genannten Portalen heruntergeladen. Zum Speichern der Daten, deren Produkte und des Projektes insgesamt, wird eine einheitliche Ordnerstruktur geschaffen. Der Ablauf der Prozessierungsschritte folgt grundsätzlich allgemeinen Schritten einer Kohärenzbilderzeugung aus SAR-Daten. Die Prozesskette ist lediglich an die Funktionen und Bedürfnisse der GAMMA-Software angepasst. Während der Entwicklung werden einzelne Prozesse schrittweise formuliert und getestet. Die Ergebnisse werden, sofern möglich, geprüft und an wichtigen Stellen werden Parameteranpassungen vorgenommen. Nach Fertigstellung des Prozessierungsskriptes wird erneut der Einfluss der Prozessparameter auf das Endergebnis betrachtet und ausgewertet, um die angemessensten Einstellungen zu finden. *Abbildung 1* enthält eine schematische Darstellung dieses Arbeitsablaufs. An letzter Stelle des Arbeitsprozesses gehören die Auswertung der Resultate und finale Interpretation durch qualitative Sichtung der Kohärenzbilder unter Einbeziehung der Wetterinformationen.

3.2 Codegestaltung

Das entwickelte Softwarepaket besteht aus zwei Teilen: dem Prozessierungsskript *coherence.py* mit prozeduralem Aufbau und dem modular aufgebauten *auxmodules.py*. Das Zweite beherbergt u.a. Funktionen, die dem Nutzer Eingaben ermöglichen, diese auf Plausibilität prüfen und die Ergebnisse dann an das Prozessierungsskript weiterleiten. Außerdem befinden sich dort die Funk-

tionen zur Vorprozessierung der vom Nutzer heruntergeladenen Daten und zahlreiche Hilfestellungen, die während der Ausführung angezeigt werden. Das Prozessierungsskript dagegen beinhaltet die sequentielle Abfolge von Aufrufen der GAMMA-Prozesse und den Modulen aus *aux-modules.py*. Das entwickelte Python-Programm stellt das Resultat dieses Projektes dar und wird zusammen mit diesem Bericht über ein *Github Repository* veröffentlicht, welches unter */Marsimperator/SentinelGAMMA* aufgerufen werden kann (Felix und Metz 2021).

4 Durchführung

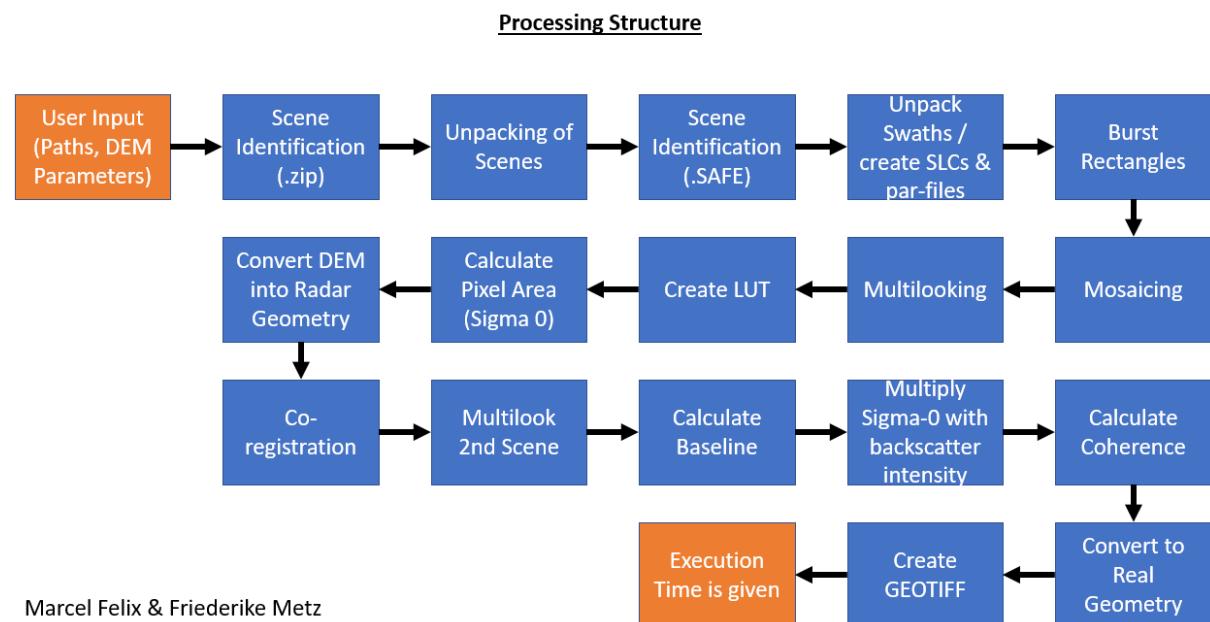


Abbildung 3: Ablauf der Prozessierungsschritte im entwickelten Skript

Die Ausführung des entwickelten Softwareproduktes erfolgt in aller Einfachheit durch den direkten und argumentlosen Aufruf von *coherence.py*. Dann folgt die Prozessierung. Abbildung 3 stellt die Prozesskette dar, die dann ausgelöst wird. Zum *User Input* gehört zunächst das Festlegen der Dateipfade und, dass entweder das PALSAR- oder SRTM-DEM ausgewählt werden kann. Das ausgewählte DEM wird dann mit dem durch *gdal* erstellten VRT und dem Befehl *diff.dem_import* in das GAMMA-Format konvertiert und transformiert die Geoidhöhe in die Ellipsoidhöhe (GAMMA Remote Sensing 2021). Daraufhin erfolgt die Identifikation von Szenen, die im ZIP-Fomat vorliegen mit *ps.identify*. Dabei wird die SAR-Szene identifiziert und und das entsprechende Metadaten-Handler-Objekt zurückgegeben (Truckenbrodt, J. 2021). Mit Hilfe von *ps.unpack* werden die Szenen in der zuvor definierten Ordnerstruktur entpackt (Truckenbrodt, J. 2021) und nochmals neu identifiziert. Hierbei wird die Datei in der Handler-Klasse für Sentinel-1 Daten (.SAFE) definiert (Truckenbrodt, J. 2021). Um die *Swaths* zu entpacken und um die Parameterdatei sowie die SLCs erzeugen zu

können wird der Befehl *isp.par_S1_SLC* aufgerufen, denn dieser generiert die SLC-Parameter-Files und das Bild-File für Sentinel-1 SLC Daten. Um die Bildecken- und Mittelpunktkoordinaten in Latitude und Longitude zu berechnen wird *isp.ScanSAR_burst_corners* verwendet, denn so wird das Minimum und das Maximum der Längen- und Breitengrade berechnet, wobei die Berechnungen auf den WGS84-Ellipsoiden basieren (GAMMA Remote Sensing 2021). Bevor eine Mosaikierung und das *Multilooking* stattfinden kann, müssen Azimuth- und Range-Pixelspacing berechnet werden (GAMMA Remote Sensing 2021). Der Befehl *isp.SLC_mosaic_S1_TOPS* wird dann für die Mosaikierung gebraucht, denn dieser berechnet das SLC Mosaik der Sentinel-1 TOPS und SLC Daten (GAMMA Remote Sensing 2021). Des weiteren wird für das *Multilooking* der ersten Szene *isp.multi_look* verwendet. Dies generiert das multi-look Intensitätsbild vom SLC-Bild und das im fcomplex- oder scomplex-Format für das SLC (GAMMA Remote Sensing 2021). Das *Multilooking* erzeugt also ein reellwertiges Multilook-Intensitätsbild (MLI) und eine dazugehörige Parameterdatei (GAMMA Remote Sensing 2021). Die Anzahl der zuvor berechneten *Range*- und *Azimuth-Looks* werden eingegeben, der Offset wird zur Startzeile und auch die Anzahl der Eingabezeilen können angegeben werden (GAMMA Remote Sensing 2021). Um die Look-up-Table (LUT) erzeugen zu können müssen vorher die Zeilen und Spalten ausgelesen werden (GAMMA Remote Sensing 2021). Für die LUT wird *diff.gc.map* benutzt, das basierend auf dem DEM in MAP-Koordinaten und der SAR-Bildgeometrie die Geokoding-Lookup-Tabelle ableitet (GAMMA Remote Sensing 2021). Die LUT enthält SAR-Koordinaten als komplexwertige Fließkommazahlen, wobei der Realteil der reellwertigen Spalte entspricht und der Imaginärteil der reellwertigen Zeilennummer (GAMMA Remote Sensing 2021). Der Output ist hier das sogenannte EQA DEM, bei welchem wiederum Zeilen und Spalten ausgelesen werden. Um die geländebasierten Sigma/Gamma-Nullpunkt-Normalisierungsfläche in slant-range Geometrie berechnen zu können wird *diff.pixel_area* verwendet (GAMMA Remote Sensing 2021). Als nächstes muss das DEM in die Radargeometrie mit *diff.geocode* konvertiert werden. Dieser Befehl ist die Vorwärtstransformation mit der Verwendung der zuvor erzeugten LUT (GAMMA Remote Sensing 2021). Hierbei enthält die LUT für jeden Bildpunkt, der im Koordinatensystem A definiert ist, den entsprechenden Punkt im Koordinatensystem B (GAMMA Remote Sensing 2021). So werden die Daten einfach in ein neues Koordinatensystem umgerechnet (GAMMA Remote Sensing 2021). Der Befehl zur Koregistrierung ist *diff.S1_coreg_TOPS*. Er koregistriert ein Sentinel-1 TOPS Mode Burst SLC zu einem Referenz Burst SLC, wobei eine iterative Anwendung von Intensitätsanpassung und *Spectral Diversity* Methoden eingesetzt werden (GAMMA Remote Sensing 2021). Das *Multilooking* der zweiten Szene erfolgt wie bei der ersten Szene nur in dem Fall mithilfe von Werte wie *range*- und *azimuth-looks* der ersten Szene. Danach wird die Baseline mit *isp.base_orbit* benötigt, um den durchschnittlichen Phasentrend des Interferogramms zu

beseitigen und um die Sensorhöhe zu berechnen (GAMMA Remote Sensing 2021). Das Skript liest also zunächst die Zustandsvektoren in SLC-Parameterdateien, berechnet dann die interferometrische *Baselinie* und erzeugt daraus eine Baseline-Datei (GAMMA Remote Sensing 2021). Als nächstes wird mit *lat.product* das Produkt zwischen dem jeweiligen Rückstreuintensitätsbild der Szene und *Sigma-0* berechnet und damit eine topographische Normalisierung erreicht (GAMMA Remote Sensing 2021). Zudem kann das Programm eine Speckle-Filterung mit Hilfe eines Mittelwert-filters durchführen (GAMMA Remote Sensing 2021). Zur Berechnung der Kohärenz wird *lat.cc_ad* verwendet, da dieses Skript das komplexe normalisierte Interferogramm und die beiden korrespon-dierenden Rückstreu-Intensitätsbilder liest und für jedes Pixel den Grad der Kohärenz berechnen kann (GAMMA Remote Sensing 2021). Es handelt sich hierbei um einen adaptiven Schätzer, da die Fenstergröße des Schätzers adaptiv an den lokalen Kohärenzgrad angepasst wird (GAMMA Remote Sensing 2021). Um das Bild von der Radargeometrie wieder in die Kartengeometrie umwandeln zu können wird *diff.geocode_back* benötigt, da hier ein Mapping mit den Eingabedaten mit den in der LUT gespeicherten Koordinaten durchgeführt wird (GAMMA Remote Sensing 2021). Letztendlich soll das Bild als ein GEO-TIFF abgespeichert werden, was mit *disp.data2geotiff* geschieht. Dieses Programm packt Binärdaten in verschiedenen Formaten in ein TIFF-Format-File unter Verwendung der Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) zum Lesen und Schreiben des GeoTIFF-Format (GAMMA Remote Sensing 2021). Da am Anfang des Skripts der Timer gestartet wurde, wird am Ende die benötigte Zeit zur Berechnung aller Prozessschritte erfasst und in Minuten und Sekunden angezeigt.

Für Irkutsk wird in diesem Fall für alle Module die Standardeinstellungen verwendet. So wird in *diff.pixal.area* für den Parameter *nstep* der Standardwert *10* verwendet. Dieser gibt dort die Anzahl der Schritte zur Unterteilung jeder Dimension der Kartenpixel an (GAMMA Remote Sensing 2021). Bei *diff.S1_coreg_TOPS* wird für *cc_thresh* (*coherence threshold*) die Standardeinstellung *0,8* verwendet. Bei *fration_thresh* wird *0,01* beibehalten, welcher das Minimum der gültigen *fraction of unwrapped phase* angibt. Der Grenzwert für die Phasen-Standardabweichung *ph_stdev_thresh* wird mit *0,8* rad angegeben (GAMMA Remote Sensing 2021). Bei *lat.product* haben der *weigh-ting mode* *0* (default: keine Gewichtung), *1* (Lineare Gewichtung) und *2* (Gaussche Gewichtung), sowie Änderungen der Filtergröße im Azimut und Range für die Mittelwertbildung keine sichtbare Änderung erbracht, ließen sich jedoch prinzipiell justieren. Das Modul *lat.cc_ad* nutzt bei der *weigh-ting function* die Einstellung *0* (konstant), da *1* (Gaussche) das Ergebnis nicht verbesserte. Eine Änderung der Einstellungen für die kleinste und größte Filtergröße ist möglich. Tests zeigten, dass ein *3x3* Fenster zu fein für das Gebiet ist und bei *9x9* die maximale Kohärenz insgesamt zu niedrig ist. Die Standardeinstellung für das adaptive Fenster beträgt *3* fürs Minimum und *9* fürs Maximum.

5 Ergebnisse

5.1 Karten

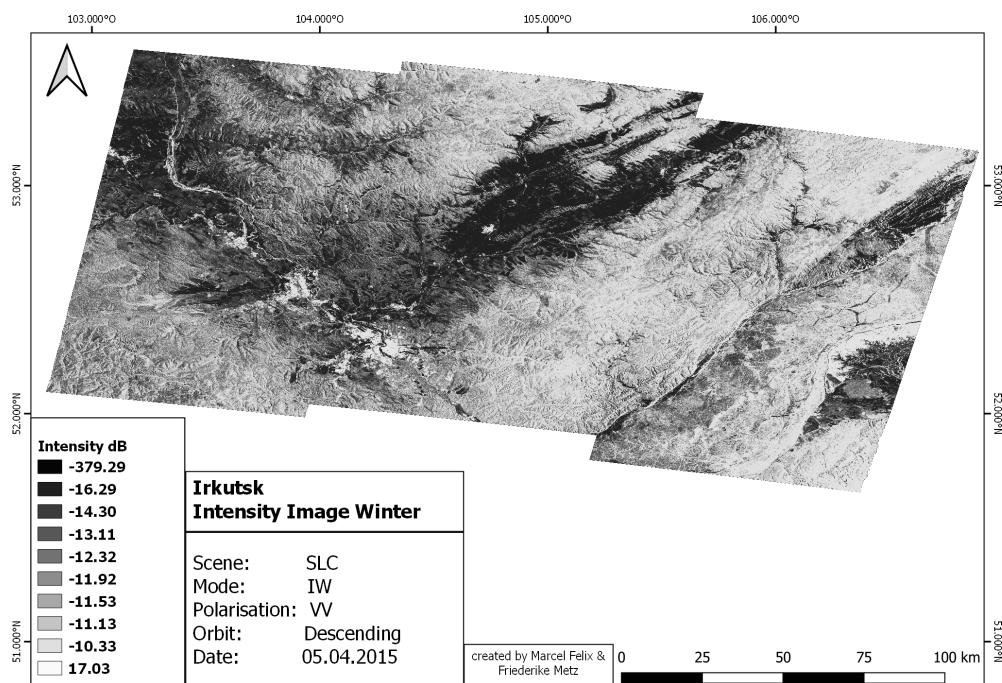


Abbildung 4: Intensity-Bild in dB der ersten Szene im Winter

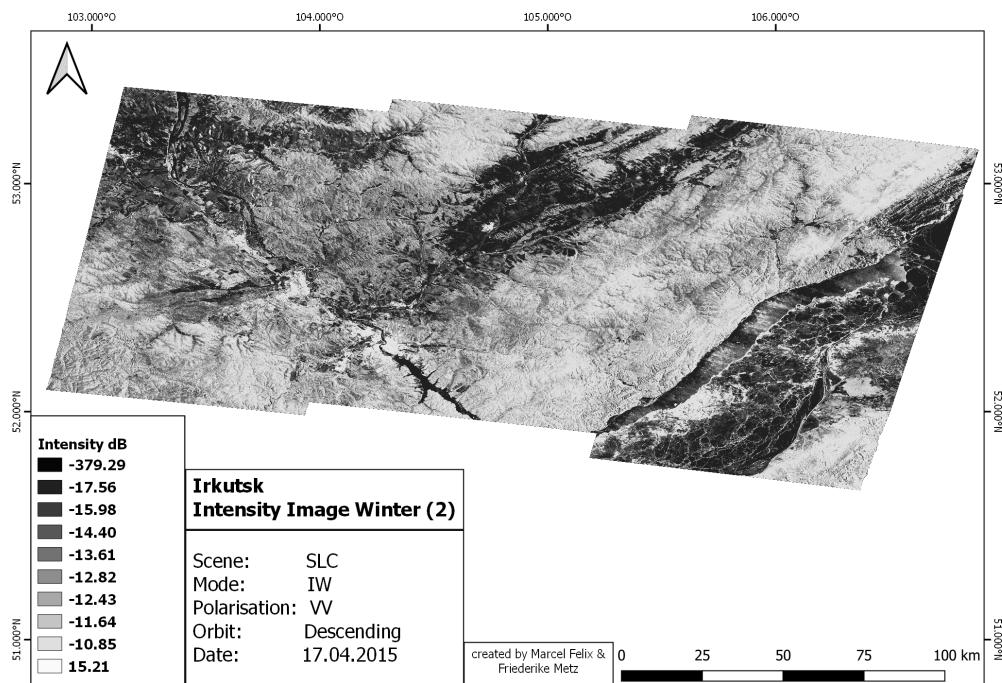


Abbildung 5: Intensity-Bild in dB der zweiten Szene im Winter

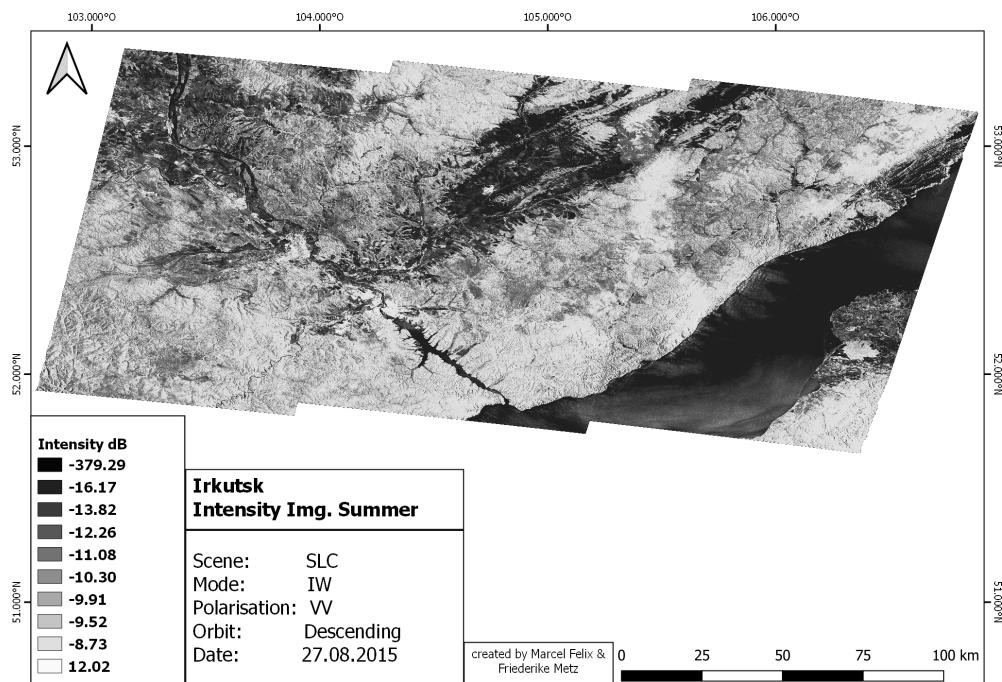


Abbildung 6: Intensity-Bild in dB der ersten Szene im Sommer

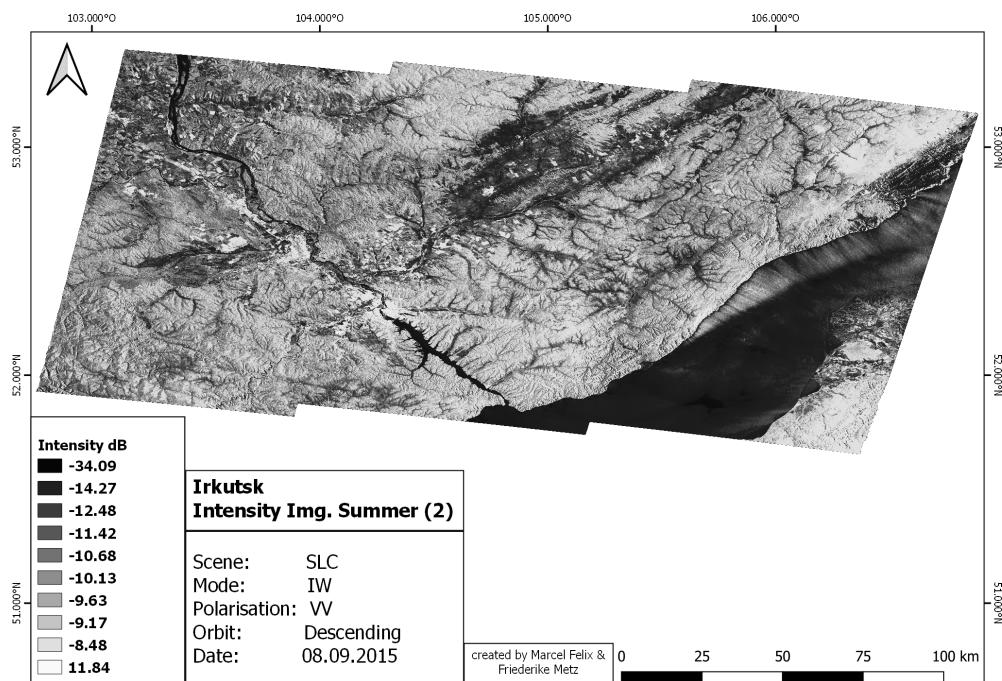


Abbildung 7: Intensity-Bild in dB der zweiten Szene im Sommer

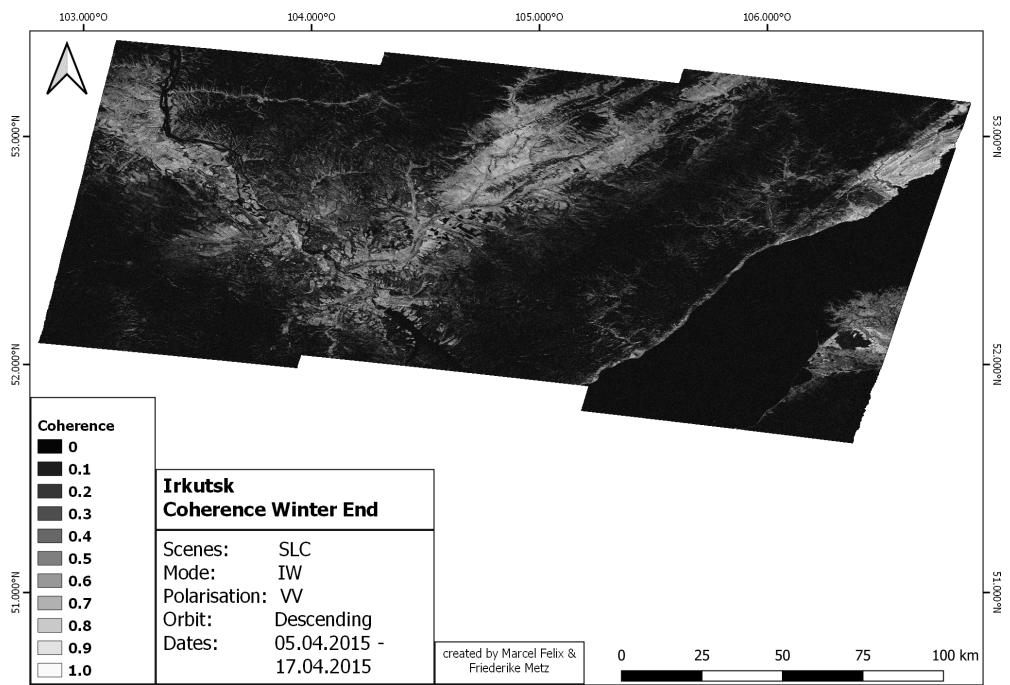


Abbildung 8: Kohärenz-Bild der beiden Winterszenen

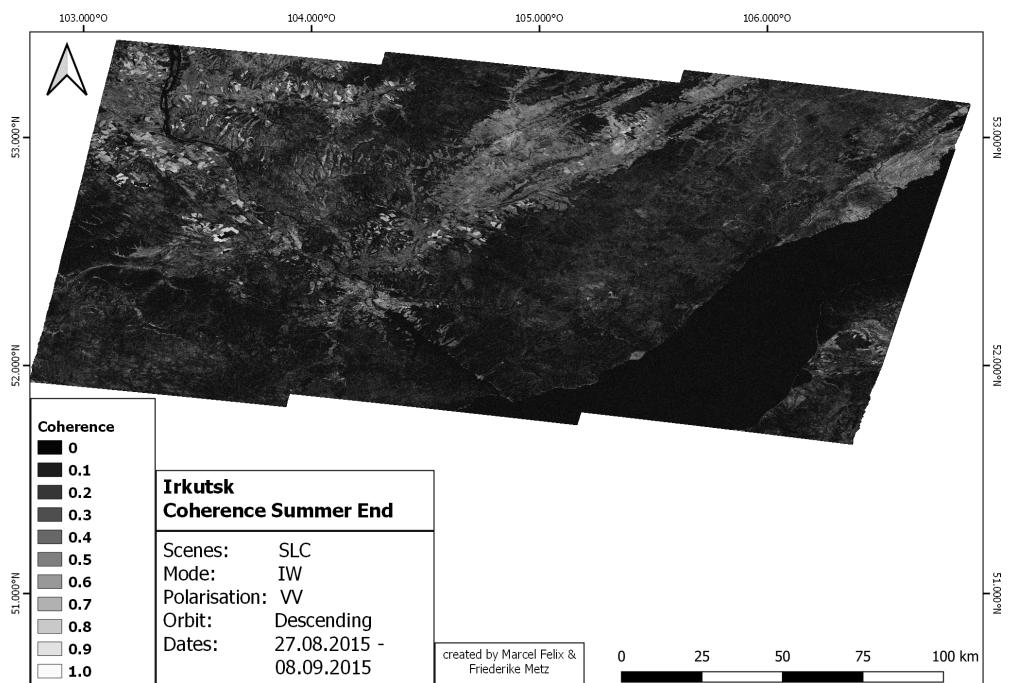


Abbildung 9: Kohärenz-Bild der beiden Sommerszenen

5.2 Analyse

5.2.1 Winter

Das Intensitätsbild in dB der ersten Szene im Winter (vgl. Abb. 4) zeigt vor allem im nordwestlichen Teil große Gebiete, die eine geringe Intensität aufweisen. Ein Vergleich mit GoogleEarth zeigt, dass es sich hierbei um Felder handelt, die im Winter nicht bestellt sind. Das gleiche Phänomen erkennt man nordöstlich der Stadt Irkutsk. Der Baikalsee, der sich im östlichen Teil der Szene befindet, ist bis auf ein paar Bereiche des Ufers komplett zugefroren und weist ebenfalls eine hohe Intensität auf, was ihn schwer vom Umland zu unterscheiden macht. Die Wälder in diesem Gebiet haben eine mittlere bis hohe Rückstreuintensität. Die Stadt Irkutsk und Angarsk im Westen sind deutlich an der sehr starken Rückstreuintensität zu erkennen. In Abbildung 5 aus dem Zeitraum Mitte April ist durch die geringere Rückstreuintensität zu sehen, dass der Baikalsee schon weniger mit Eis bedeckt ist als noch zwölf Tage zuvor. Generell scheinen die Intensitäten am 17. April etwas höher zu sein als am 5. April.

5.2.2 Sommer

Das Intesitätsbild vom 27. August (vgl. Abb. 6) zeigt einen markanten Unterschied zum Winter. Hier ist der Biakalsee deutlich zu sehen, da er sich stark durch seine geringe Rückstreuintensität von seiner Umgebung abgrenzt, im Gegenteil zu Abbildung 4. Auch ist der Fluss, der durch Irkutsk fließt, durch die gerine Rückstreuung besser von der Stadt abzugrenzen. Zwar weisen auch hier die Felder noch eine geringe Intensität auf, aber im Vergleich zum Umland ist sie höher als noch im Winter. Der Wald verhält sich ähnlich wie im Winter. Auch im September sind die Felder, die Flüsse und der Baikalsee durch eine geringe Intensität der Rückstreuung gekennzeichnet. Abbildung 7 weist in den Waldgebieten eine weniger homogene Rückstreuintensität auf, als noch im August. Abflussrinnen sind durch geringere Werte klar hervorgehoben.

5.2.3 Kohärenz

Mit einer Ausführungszeit von ca. 70 Minuten beim ersten und 75 Minuten beim Zweiten Szenenpaar ist die Ausführungszeit in Ordnung. Mit dieser Geschwindigkeit könnte man die gesamte Landfläche der Welt in geschätzten 195 Tagen prozessieren, unter der Annahme einer Szenengröße von 40.000 km². Wie zu erwarten findet ist im Winter keine Kohärenz im Bereich des Baikalsees, sowie den Flüssen und der Wälder (vgl. Abb. 8) zu finden. Hohe Kohärenzen hingegen befinden sich in den Gebieten mit Feldern und in der Stadt. Das Kohärenzbild der Sommermonate ist in Abbildung 9 dargestellt. Auch hier weist der Baikalsee keine Kohärenz auf. Wie auch in Abbildung 8 sind höhere

Kohärenzen in Bereichen der Stadt und der Felder zu finden. Der Wald zeigt stellenweise im Gegensatz zu Winterkohärenz höhere Werte auf, ist aber im ganzen trotzdem gering an Kohärenz. Auch einfache Statistikwerte werden ermittelt, wie in Tabelle 1 dargestellt. So haben die Kohärenz-Bilder vom Winter und vom Sommer ähnliche Mittelwerte von 0,1540 und 0,1597. Die Kohärenz ist also im Sommer geringfügig höher. Jedoch ist die Standardabweichung im Winter mit 0,1624 höher als im Sommer mit 0,1293.

Tabelle 1: Einfache Statistik der Kohärenzbilder

Parameter	Kohärenzbild Winter	Kohärenzbild Sommer
Minimalwert:	$6.89 \cdot 10^{-6}$	$2.66 \cdot 10^{-6}$
Maximalwert:	0.96603	0.96101
Mittelwert:	0.15397	0.15970
Standardabweichung:	0.16237	0.12929

6 Diskussion

Der Baikalsee weist im Kohärenzbild der Winterszenen (vgl. Abb. 8) keine Kohärenz auf, was darauf zurück zu führen ist, dass am 05.04.2015 noch sehr viel dickeres Eis auf dem Baikalsee zu finden war und am 17.04.2015 das Eis schon zum großen Teil abgetaut war (vgl. Abb. 4 & 5). Älteres und dickeres Eis haben im C-Band eine höhrere Rückstreuung als jüngeres und dünneres Eis (Dierking 2009:1049) und zudem können sich Eisschollen bewegt haben, was hier die Kohärenzwerte erklären kann. Aber auch das Kohärenzbild vom Sommer zeigt ähnliche Werte im Bereich des Baikalsees (vgl. Abb.9). Stehendes Wasser hat normalerweise eine glatte Oberfläche, was zu einer spiegelnden Rückstreuung führt (Liang und Liu 2020:55). Wind kann aber zu leichten Wellen führen, sodass die Oberfläche nicht mehr glatt sondern rau ist und es zu einer diffusen Oberflächenstreuung kommt (Liang und Liu 2020:55). Somit ist die Wasseroberfläche immer in Bewegung und die Kohärenz sehr gering. Betrachtet man den Wald in den Kohärenzbildern ist die Kohärenz in beiden Fällen sehr gering (vgl. Abb. 8 & 9). Allgemein gibt es im Wald geringe Kohärenzen, was durch eine Dekorrelation durch Bewegungen, wie Wind, Wachstum und wechselnde Bodenfeuchte verursacht werden kann (Thiel u. a. 2009:3997). Dadurch, dass im Winter in den borealen Zonen gleichbleibende Verhältnisse herrschen ist so zum Beispiel auf Ackerflächen eine gute Kohärenz zu beobachten (Thiel u. a. 2009:3999). Zudem ist ein Temperaturanstieg von Minus- zu Plusgraden zwischen den zwei Winterintensitätbildern zu beobachten (CustomWeather Inc. 2021). Das Eis könnte so an einigen Stellen schon geschmolzen sein und die Bodenfeuchte könnte sich geändert haben.

Die dunklen Wälder zeigen letztendlich eine große Veränderung auf. Auch durch instabile Wetterverhältnisse kann sich die Kohärenz verringen (Tanase u. a. 2010:2189). In Abbildung 7 ist zu erkennen, dass es in den Waldbereichen Abflussrinnen gibt, die zuvor nicht zu sehen waren. Dies kann darauf zurück zuführen sein, dass es einen Tag zuvor geregnet (CustomWeather Inc. 2021) und sich somit auch die Bodenfeuchte geändert hat. Die Änderung der Bodenfeuchte kann sich auch auf nicht-Wald Gebieten dekorrelierend auswirken (Thiel u. a. 2009:3997), was auch an der etwas geringeren Kohärenz der Ackerflächen in der Sommerkohärenzkarte zu erkennen ist. Die etwas geringere Kohärenz der Ackerflächen kann aber auch darauf zurück zuführen sein, dass im Spätsommer und Herbst die Felder bearbeitet werden und die Rückstreuung generell durch landwirtschaftliche Arbeit in der Saison gestört wird (Ouaadi u. a. 2020:9). In Abbildung 9 sind im nordwestlichsten Bildrand Ackerflächen mit einer guten Kohärenz im Vergleich zum Rest des Bildes zu erkennen. Diese Ackerflächen sind jedoch in Abbildung 8 nicht zu erkennen, obwohl diese in den Winterintensitätsbildern mit einer sehr geringen Rückstreuintensität zu sehen sind (vgl. Abb. 4 & 5). Eine genaue Erklärung für diese Änderung konnte nicht gefunden werden, da sich, wie schon genannt, die anderen Ackerflächen nicht stark verändert haben. Allgemein ist zu sagen, dass die Kohärenz im Sommer besser als im Winter ist, was wahrscheinlich auch an den stabileren Temperaturen zum gegebenen Zeitpunkt liegen kann.

7 Zusammenfassung & Ausblick

Die Kohärenzergebnisse decken sich zum größten Teil mit vorhandener Literatur und wurden entsprechend interpretiert und ausgewertet. Die Wetterdaten erweisen sich als nützliche Ergänzung bei der Identifikation von Änderungen in der Radarrückstreuung. Die Ergebnisse dieses Projektes zeigen die Vielseitigkeit und auch die Performanz der genutzten GAMMA-Software mit einer gesamten Prozessierungszeit von weniger als 80 Minuten. Das entwickelte Softwarepaket erlaubt mehrere Anpassungen der Prozessierungsparameter und führt den Anwender bei Initialisierung an die Nutzung heran.

Ein ungelöstes Rätsel bleiben dabei die Flächen nördlich von Angarsk und östlich von Swirsk. Bis dato wurde keine plausible Erklärung für die vergleichsweise ungewöhnlich starke Dekorrelation im April gefunden. Die entwickelte Software muss für jedes Szenen-Paar einzeln ausgeführt werden. Durch Änderungen am Code kann jedoch eine verkettete Ausführung über mehrere Datenpaare unproblematisch hinzu programmiert werden. Zusätzlich könnten Kompatibilitäten mit weiteren DEMs ergänzt und so die Kapazität der Software ausgedehnt werden.

Literaturverzeichnis

- ASF, Alaska Satellite Facility (2021). *ASF Data Search Vertex*. Zugriff: 2021-03-14. URL: <https://search.asf.alaska.edu/#/>.
- CGIAR-CSI, Consortium for Spatial Information (2020). *Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, 2008, Hole-filled seamless SRTM data V4, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT), available from*. Zugriff: 2020-11-27. URL: <https://srtm.csi.cgiar.org/>.
- Climate-Data.org (2009). *Daten und Graphen zum Klima und Wetter für Irkutsk*. Zugriff: 2021-03-14. URL: <https://de.climate-data.org/asien/russland/oblast-irkutsk/irkutsk-473/>.
- CustomWeather Inc. (2021). *Weather Data; extracted through Time and Date AS*. URL: <https://www.timeanddate.de/>.
- Dierking, Wolfgang (2009). "Mapping of different sea ice regimes using images from Sentinel-1 and ALOS synthetic aperture radar". In: *IEEE transactions on geoscience and remote sensing* 48.3, S. 1045–1058.
- Felix, Marcel und Friederike Metz (2021). *SentinelGAMMA GitHub Repository*. URL: <https://github.com/Marsimperator/SentinelGAMMA>.
- GAMMA REMOTE SENSING (2020). *GAMMA-Software*. Zugriff: 2021-03-17. URL: https://gamma-rs.ch/uploads/media/GAMMA_Software_information.pdf.
- (2021). *Gamma-Software*. Zugriff: 2021-03-14. URL: <https://www.gamma-rs.ch/software>.
- GAMMA Remote Sensing (2021). *GAMMA Software Documentation*. Zugriff: 2021-02-28.
- Institut für Geographie IG (2021). *Prozessierungs- und File Server Infrastruktur*. Zugriff: 2021-03-17. URL: <https://www.geographie.uni-jena.de/professuren/fernerkundung/ausstattung/prozessierungs-+und+file-server+infrastruktur>.
- Liang, Jiayong und Desheng Liu (2020). "A local thresholding approach to flood water delineation using Sentinel-1 SAR imagery". In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 159, S. 53–62.
- Moore, Marianne u. a. (2009). "Climate Change and the World's "Sacred Sea"—Lake Baikal, Siberia". In: 59.5, S. 389–396.
- Olson, David M u. a. (2001). "Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on EarthA new global map of terrestrial ecoregions provides an innovative tool for conserving biodiversity". In: *BioScience* 51.11, S. 933–938.
- Ouaadi, Nadia u. a. (2020). "Monitoring of wheat crops using the backscattering coefficient and the interferometric coherence derived from Sentinel-1 in semi-arid areas". In: *Remote Sensing of Environment* 251, S. 112050.

- Starostina, Vlada u. a. (2009). "Waste management in the Irkutsk Region, Siberia, Russia: Environmental assessment of current practice focusing on landfilling". In: 32.5, S. 405–417.
- Tanase, Mihai A u. a. (2010). "Properties of X-, C-and L-band repeat-pass interferometric SAR coherence in Mediterranean pine forests affected by fires". In: *Remote Sensing of Environment* 114.10, S. 2182–2194.
- Thiel, Christian, Carolin Thiel und Christiane Schmullius (2009). "Operational large-area forest monitoring in Siberia using ALOS PALSAR summer intensities and winter coherence". In: *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47.12, S. 3993–4000.
- Truckenbrodt, J. (2021). *pyroSAR Documentation*. Zugriff: 2021-03-17. URL: <https://pyrosar.readthedocs.io/en/latest/>.