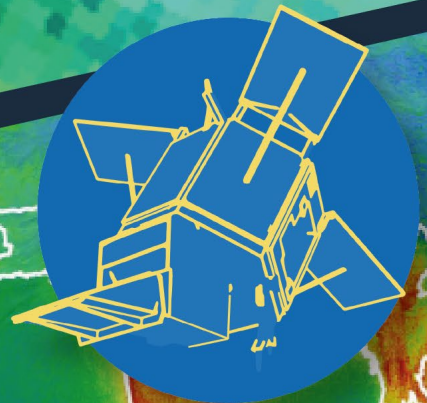
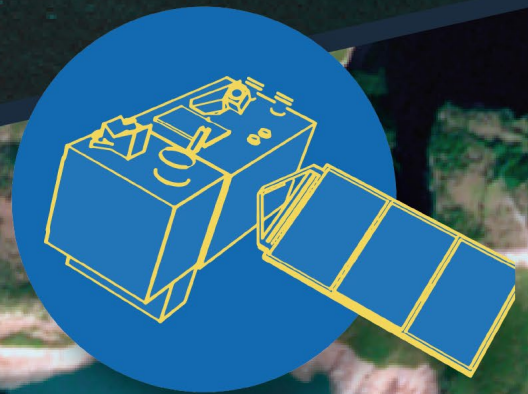
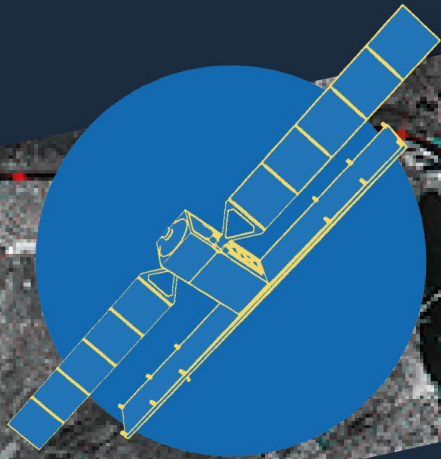


Wächter im All

Lernen mit Satellitenbildern



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in die Erdbeobachtung und Copernicus.....	3
1.1 Die Sentinel-Satelliten.....	3
1.1.1 Sentinel-1.....	4
1.1.2 Sentinel-2	6
1.1.3 Sentinel-3	8
1.1.4 Sentinel-5P.....	10
1.2 Was ist Erdbeobachtung und was macht man damit?	12
1.2.1 Die Geschichte der Erdbeobachtung.....	12
1.2.2 Auflistung relevanter Anwendungsgebiete.....	14
1.2.3 Geschichte des Sensors via Landsat.....	15
1.3 Erdbeobachtung im Schulunterricht.....	16
1.3.1 Einführung.....	16
1.3.2 Vorteile von Erdbeobachtung im Schulunterricht	16
1.4 Erdbeobachtung-Bildungsprojekte.....	18
1.4.1 Copernicus Academy.....	18
1.4.2 Cop4Schools.....	19
1.4.3 Augmented Reality	19
2. Grundlagen der Erdbeobachtung	21
2.1 Was ist Erdbeobachtung? Weit weg und doch nah dran.	21
2.2 Womit arbeitet die Erdbeobachtung?	21
2.2.1 Lange und kurze Wellen	22
2.2.2 Das elektromagnetische Spektrum.....	22
2.2.3 Was bedeutet Reflexion?.....	23
2.2.4 Was bedeutet Absorption?.....	24
2.2.5 Bilder als Zahlenraster.....	24
2.2.6 Techniken der Erdbeobachtung	25
2.3 Was ist Auflösung?	26
2.3.1 Räumliche Auflösung.....	26
2.3.2 Zeitliche Auflösung	27

2.3.3 Spektrale Auflösung	27
2.4 Warum nehmen wir die Welt farbig wahr?.....	27
2.5 Was kann ein Satellitenbild sagen?.....	28
2.5.1 Der NDVI.....	28
2.5.2 Klassifikation.....	29
2.5.3 Veränderungsanalyse.....	29
3. Copernicus – Erdbeobachtung für alle!.....	30
3.1 Services	31
3.2 Dataspace.....	34
3.3 SNAP	34
3.4 Datenverarbeitung via Dataspace-Hub	34
3.4.1 Beispiel – Change Detection	34
3.4.2 Beispiel Biologie – Fußball – Kunstrasen vs. Naturrasen.....	45
3.4.3 Beispiel Geographie – Hitze in Spanien	49
3.4.4. Beispiel Physik – Suez-Kanal.....	56
3.5 Sentinel-Daten im Informatikunterricht.....	60
3.5.1 Nutzung einer Python API.....	61
3.5.2 Öffnen der Datensätze in SNAP	67
Literaturverzeichnis.....	68
Abbildungsverzeichnis.....	69
Impressum.....	72

1. Einführung in die Erdbeobachtung und Copernicus

1.1 Die Sentinel-Satelliten

Die EU-Kommission hat in Zusammenarbeit mit der Europäischen Weltraumorganisation ESA ein Projekt entwickelt, das als Kernkomponente für das Copernicus-Programms dient. Im Zentrum dieses Projekts steht dabei die Satellitenfamilie „Sentinel“. Der Begriff „Sentinel“ bedeutet auf Deutsch „Wächter“. Die Sentinel-Satelliten bilden das Rückgrat des Copernicus-Programms der ESA und spielen eine entscheidende Rolle bei der Überwachung der Erde aus dem Weltraum. Jede Mission der Sentinel-Familie ist so konzipiert, dass sie spezifische Aspekte unseres Planeten beobachtet und wichtige Umwelt- und Klimadaten liefert.

Fast jede Mission besteht aus mehreren baugleichen Satelliten, wovon jeweils zwei Satelliten gleichzeitig im Orbit sind. Durch den Einsatz zweier Satelliten ist es möglich, häufiger den gleichen Ort aufzunehmen. Demzufolge können die Sentinel-Satelliten zusammen als ein leistungsfähiges Netzwerk von "Wächtern" im Weltraum bezeichnet werden, welches kontinuierlich Daten über unseren Planeten sammelt und so dazu beiträgt, wichtige Umwelt- und Klimafragen besser zu verstehen und zu bewältigen.

Die Sentinel-Familie besteht aus sechs Missionen, wovon Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P und Sentinel-6 eigenständige Missionen sind. Sentinel-4 und Sentinel-5 sind in dem Sinne keine (eigenen) Satelliten, sondern Messinstrumente die auf Satelliten von Eumetsat mitfliegen. In diesem Heft werden die wesentlichen Merkmale und Ziele der eigenständigen Sentinel-Missionen vorgestellt.

1.1.1 Sentinel-1

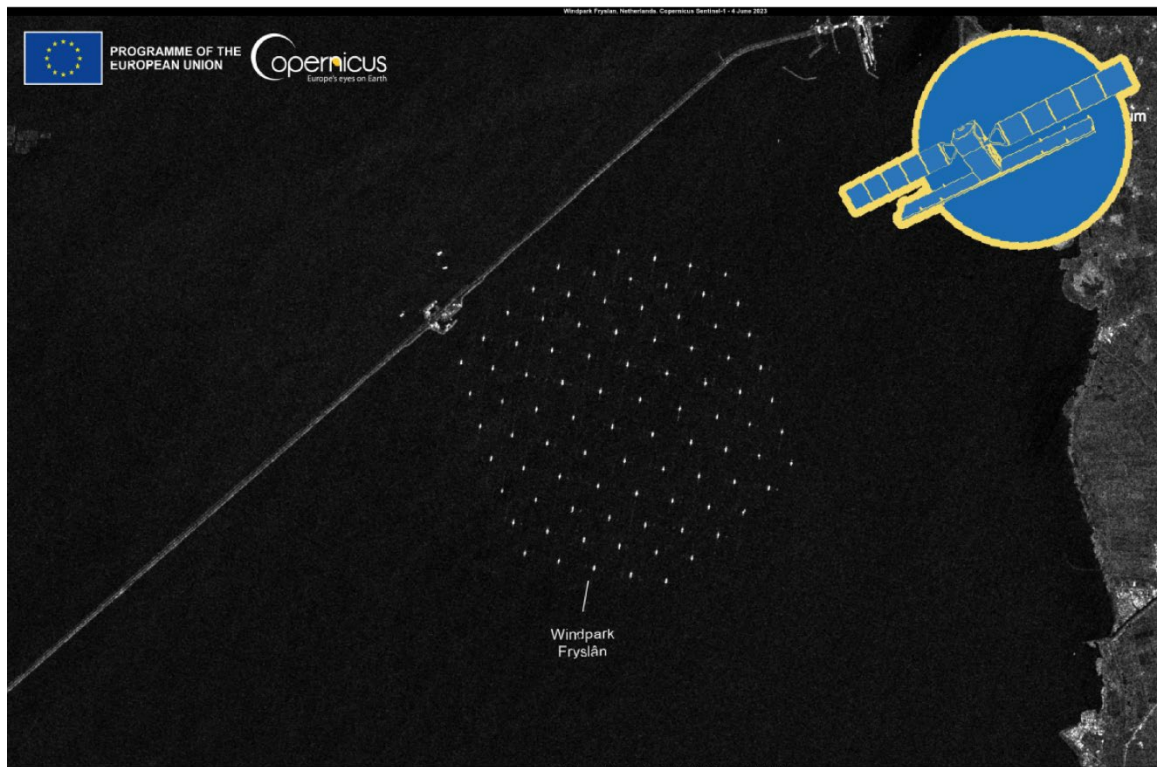


Abb. 1: Windpark Fryslân in Lake IJssel, Netherlands. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/windpark-fryslan-lake-ijssel-netherlands>)

Sentinel-1 stellt die erste von sechs Missionen dar und weist ein breites Aufgabenspektrum vor: Umwelt, Verkehr, Wirtschaft und Sicherheit. Aus einer Höhe von ungefähr 700 Kilometern werden Daten über die Land- und Wasseroberflächen geliefert. Der erste Satellit Sentinel-1A startete am 03. April 2014 in Französisch-Guyana, am 25. April 2016 folgte Sentinel-1B. Letzterer wird seit dem 05. Dezember 2024 durch Sentinel-1C ersetzt.

Das Hauptinstrument ist ein abbildendes hochauflösendes C-Band-Radar vom Typ SAR (Synthetic Aperture Radar). Dies sorgt für eine optimale Datenaufnahme unabhängig von Wolkenbedeckung und Helligkeit. Der sonnensynchrone Satellit kann zeitnahe Aufnahmen von Überschwemmungen, Ölverschmutzungen, Bodenbewegungen oder der Vegetationsdichte liefern.

Das Besondere an Sentinel-1 ist, dass er der einzige europäische Satellit ist, der auf die Unterstützung bei Naturkatastrophen ausgerichtet ist. Die gesammelten Daten werden unter anderem für die Erfassung von Überflutungen und Bodenbewegungen, Überwachung der Eisausbreitung und Erkennung von Ölverschmutzungen verwendet.

Das von dem Satelliten Sentinel-1A aufgenommene Bild zeigt den Windpark Fryslân, der als der größte Süßwasser-Windpark der Welt gilt. Die Windturbinen wurden im IJsselmeer in den Niederlanden installiert und gingen Ende 2021 in Betrieb.

1.1.2 Sentinel-2



Abb. 2: The Sau Reservoir at worrisome water levels. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/sau-reservoir-worrisome-water-levels>)

Sentinel-2 ist die zweite von sechs Missionen des Copernicus-Programms. Seine Einsatzbereiche sind, anders als bei Sentinel-1, speziell auf Vegetation ausgerichtet. Die hohe Auflösung der Satelliten ermöglicht eine optimale Erkennung von Veränderungen der Vegetation aus einer Höhe von ungefähr 786 km. Ein weiterer Aufgabenbereich umfasst die Überwachung von Gewässern.

Der erste Satellit Sentinel-2A ging am 23. Juni 2015 an den Start. Zwei Jahre später, am 07. März 2017, folgte Sentinel-2B. **Am 05. September 2024 startete Sentinel-2C, als Nachfolger von Sentinel-2A, und liefert seitdem Aufnahmen.** Zwei weitere Satelliten sollen zukünftig in den Orbit: Sentinel-2D ab 2028 und die neue Generation ab 2033. Alle Satelliten werden aus Französisch-Guyana in den Orbit geschickt.

Die Satelliten liefern Aufnahmen sowohl im sichtbaren Spektrum als auch im infraroten Spektrum. Das Hauptinstrument ist ein MSI (Multi-Spectral Instrument) und sorgt für hochauflösende Satellitenbilder. Die sonnensynchronen Satelliten helfen dabei, Erntevorhersagen zu erstellen, Waldbestände zu kartieren oder das Wachstum von Wild- und Nutzpflanzen zu bestimmen. Es werden Daten zu Oberflächenveränderungen, Wäldern, landwirtschaftlichen Flächen, Seen und Küsten bereitgestellt. So kann Sentinel-2 ebenfalls zum Risiko- und Katastrophenschutz beitragen. Außerdem können die Satelliten biophysikalische Größen beobachten, wie etwa den Chlorophyll-Gehalt und den Wassergehalt von Blättern.

Die Einsatzbereiche sind in Hinblick auf die Vegetation vielfältig. Dazu gehören Binnengewässer, Bundeswasserstraßen, Landüberwachung, Wald- und Forstwirtschaft, Meeresumwelt und Küstengewässer sowie Wetter und Klimawandel. Aber auch Sicherheit, Georessourcen und Georisiken sind Einsatzbereiche von Sentinel-2.

Das Bild ist vom 17.01.2024 und wurde von einem Sentinel-2-Satelliten aufgenommen. Es zeigt eine Satellitenaufnahme einer Region Spaniens. Zu sehen ist ein Naturreservat in Catalonien. Auffällig ist vor allem die Dürre, durch die der Wasserstand so niedrig ist, und die hohen vegetationslosen Ufer, die anzeigen, wo der Wasserstand eigentlich sein sollte.

1.1.3 Sentinel-3

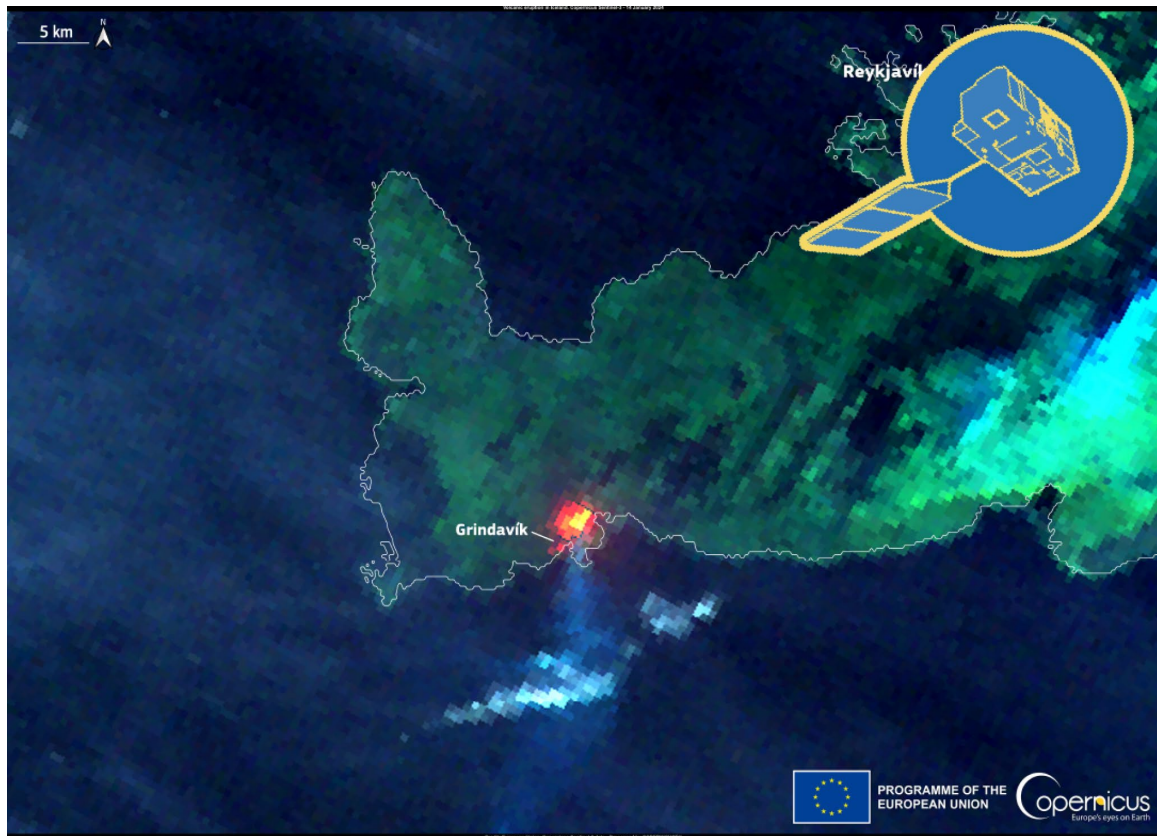


Abb. 3: Second volcanic eruption in Iceland's Reykjanes Peninsula in just a few weeks.
<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/second-volcanic-eruption-icelands-reykjanes-peninsula-just-few-weeks>

Sentinel-3, die dritte Mission der ESA, spielt als weiterer Teil des Copernicus-Programms eine große Rolle hinsichtlich der Umweltüberwachung.

Sentinel-3A startete am 16. Februar 2016. Sentinel-3B startete am 25. April 2018. Beide Satelliten gingen von dem Weltraumbahnhof Kosmodrom Plessezk, welcher im Nordwesten Russland liegt, an den Start. Der Start von Sentinel-3C ist ab 2026 geplant. Ab 2028 soll Sentinel-3D daraufhin an den Start gehen.

Sentinel-3 wurde zunächst entwickelt, um präzise Informationen über die Ozeane zu liefern. Durch die Kombination verschiedener Instrumente, welche die Farbe, die Temperatur und den Pegel der Oberfläche bestimmen können, können Erkenntnisse über Meeresströmungen, Wellenhöhen und die Nährstoffverteilung in den Ozeanen abgeleitet werden.

So gibt Sentinel-3 aber nicht nur Auskunft über die Meere, sondern stellt auch über Land wichtige Informationen zur Verfügung. Mithilfe des SLSTR-Instruments (Sea and Land Surface Temperature Radiometer) an Bord von Sentinel-3 kann die Landoberflächentemperatur mit beeindruckender Genauigkeit gemessen werden. Das SLSTR-Instrument misst die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung in

neun verschiedenen Spektralbändern. Diese Strahlung wird dann in Temperaturwerte umgewandelt, die detaillierte Temperaturkarten der Landmasse liefern.

Zusammenfassend trägt Sentinel-3 zur Früherkennung von relevanten Umweltveränderungen bei und liefert Informationen über die Landnutzung, sodass aus den bereitgestellten Daten ein besseres Verständnis der Erde ermöglicht wird, auf dessen Grundlage Maßnahmen zum Schutz der Erde entwickelt werden können.

Das Satellitenbild wurde von einem Sentinel-3-Satelliten aufgenommen und zeigt den Hotspot des Vulkanausbruchs auf Island am 14. Januar 2024, welcher nur wenige Stunden zuvor begann. So kann durch das von den Copernicus Sentinel-3-Satelliten getragene Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR) die Landoberflächentemperatur genau überwacht werden.

1.1.4 Sentinel-5P

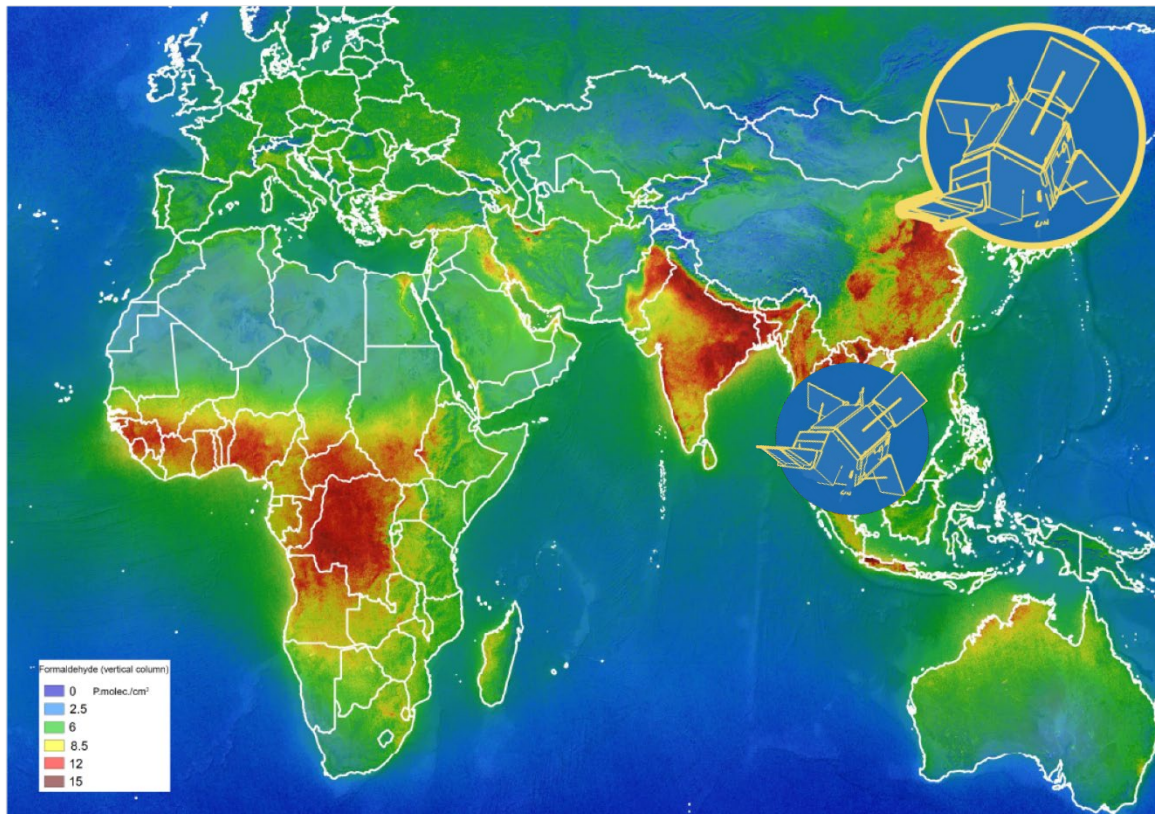


Abb. 4: Copernicus Sentinel-5P Formaldehyde 2018.

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Copernicus_Sentinel-5P_reveals_new_nasties

Sentinel-5P gehört ebenfalls den Missionen der ESA und der Sentinel-Satellitenfamilie an. Das "P" steht für Precursor, was so viel wie Vorläufer bedeutet. Während Sentinel-5P nämlich ein selbständiger Satellit ist, ist Sentinel-5, die Folgemission, ein Messinstrument an Bord eines anderen Satelliten. Sentinel-5P ging am 13.10.2017 ebenfalls von dem Weltraumbahnhof Kosmodrom Plessezk an den Start.

Im Vergleich zu den anderen Sentinel-Satelliten konzentriert sich 5P auf die Überwachung der Erdatmosphäre. So kann er Informationen über die Luftqualität, Ozon- und UV-Strahlung gewinnen und somit weiterführende Informationen über verschiedene Veränderungen vor allem im Sinne des Klimawandels liefern. Dabei wird zum Beispiel die troposphärische Konzentration von Gasen wie NO_2 (Stickstoffdioxid), welches als gesundheitsschädigend gilt, gemessen.

Die von der Copernicus Sentinel-5P-Mission zwischen Januar und August 2018 gesammelten Messungen (Abb. 4) wurden ermittelt, um Formaldehyd in der Atmosphäre aufzudecken. Dieser Luftschadstoff gelangt beispielsweise durch Waldbrände und Holzverarbeitung in die Atmosphäre. Es ist ein wichtiges Zwischengas bei der Oxidation von Methan und anderen Kohlenwasserstoffen. Während es in der Atmosphäre nur von kurzer Dauer ist, reagiert es chemisch und wird zu einer Hauptquelle für Kohlenmonoxid.

Des Weiteren übermittelt 5P Informationen über Treibhausgase wie CH₄ (Methan), welche eine sehr zentrale Rolle hinsichtlich des Klimawandels spielen. Daran anknüpfend wird auch die sich in der Stratosphäre befindende Ozonschicht und die damit einhergehende UV-Strahlung überwacht.

Ein letztes Beispiel für die Datengewinnung durch Sentinel-5P ist die Beobachtung von Vulkanausbrüchen. So können z. B. relevante Rückschlüsse auf die Verteilung und Konzentration von Vulkanasche geschlossen werden.

Zusammenfassend ist es die Aufgabe des Satelliten, klimarelevante Daten bereitzustellen und sowohl Wetter- als auch Gesundheitseinrichtungen Informationen zur Verfügung zu stellen, die für Warnungen beispielsweise hinsichtlich der Luftqualität genutzt werden können.

1.2 Was ist Erdbeobachtung und was macht man damit?

Woher wissen wir so viel über Klima, Städtewachstum, Vegetationsbestände oder Klimakatastrophen? Wie können die verschiedenen Landoberflächen, wie zum Beispiel Wüsten oder Regenwälder, kartiert werden? Das alles und noch vieles mehr können wir mit Hilfe von Satelliten. Erdbeobachtung beschreibt die Erkundung der Erdoberfläche, ihrer Ökosysteme und der Atmosphäre aus dem Weltraum. Sie ist die wichtigste Aufgabe der Raumfahrt. Dabei umkreisen Fernerkundungs- bzw. Erdbeobachtungssatelliten die Erde und senden regelmäßig Bilder. Durch die Erdbeobachtung werden Daten gewonnen, die anschließend ausgewertet werden. So können mit den Daten beispielsweise digitale Karten erstellt oder das tägliche Wetter vorhergesagt werden.

Es gibt verschiedene Anwendungsgebiete in der Erdbeobachtung. Unter anderem können Veränderungen von Land- und Wasseroberflächen erkannt werden, sowie Veränderungen der Atmosphäre und des Klimas. Anhand der gewonnenen Informationen können die verschiedenen Daten ausgewertet werden, wodurch wir regelmäßig neue Informationen über die Gegebenheiten und Veränderungen der Erdoberfläche gewinnen und es können entsprechende Maßnahmen entwickelt werden. Zum Beispiel geben Erdbeobachtungssatelliten zeitnah einen genauen Überblick über das Ausmaß einer Katastrophe, wodurch gezielter bestimmt werden kann, wo dringend Hilfe benötigt wird. Des Weiteren kann auch Städtewachstum und der Anstieg der Meeresoberfläche untersucht werden. Diese gewonnenen Grundlagen können bei der Entscheidungsfindung helfen, beispielsweise einen neuen (internationalen) Klimaschutz-Vertrag aufzusetzen oder laufende Verträge zu aktualisieren.

Copernicus bietet Informationen auf Basis von satellitengestützter Erdbeobachtung und In-situ-Daten. Dabei wird die Erde mithilfe von Satelliten umflusst und Daten gesammelt. Die Daten können weltweit für Forschung und Entwicklung genutzt werden und helfen in der EU auch maßgeblich bei politischen Entscheidungen. Das Programm der EU arbeitet eng zusammen mit der Europäischen Weltraumorganisation (ESA). Das Besondere an Copernicus ist, dass es frei und offen zugänglich für alle ist.

Neben der ESA gibt es weitere Kooperationspartner. Darunter zum Beispiel die Europäische Organisation für die Nutzung meteorologischer Satelliten (EUMETSAT), das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen (ECMWF), die EU-Agenturen und Mercator Ocean.

1.2.1 Die Geschichte der Erdbeobachtung

Die Geschichte der Erdbeobachtung reicht bis in den 1. Weltkrieg zurück, als Luftbilder dank der kürzlich entwickelten Luftfahrt zum ersten Mal für militärische Zwecke

genutzt wurden. Mit den ersten Fernerkundungssystemen konnten feindliche Stellungen, Truppen und deren Stärke beobachtet werden.

Bereits im 2. Weltkrieg wurden Fernerkundungssysteme weiterentwickelt und die Technik wurde verbessert. Mithilfe von Satelliten konnten bspw. durch Luftaufnahmen von der Küste Landepositionen ausfindig gemacht werden. Durch die Nutzung von Infrarotfilm konnte so außerdem zwischen Vegetation und Tarnnetzen unterschieden werden.

In den 1960ern wurden Filme für die Erfassung von Vegetationsarten entwickelt und kurz darauf weitere Fernerkundungsverfahren: Radarsysteme zur Kartierung. Diese wurden erstmals an Flugzeugen angebracht. 1960 wurde der erste Wettersatellit im Weltraum eingesetzt: TIROS 1.

1972 wurde der erste Erkundungssatellit für Kartierung eingesetzt: Landsat 1. Der Satellit war mit einem neuen Sensortyp ausgestattet. Dieser setzte neue Maßstäbe und zeigt die bereits fortschrittliche Entwicklung von Erdbeobachtungssystemen.

Im Jahr 1998 entstand das Copernicus-Programm. Copernicus ist heute eines der wichtigsten Erdbeobachtungsprogramme der Welt.

1.2.2 Auflistung relevanter Anwendungsgebiete

Anwendungsgebiete
Landnutzungsveränderungen
Daten zu Land, Meer und Luft
Auswirkungen des globalen Klimawandels
Daten für Geodäsie, Meteorologie, Geoökologie, Umweltwissenschaften, nachhaltige Entwicklung, ...
Klima- und Atmosphärenforschung (u. A. Wettervorhersage)
Bodenbewegungen
Bevölkerungsschutz
Sicherheitsbereich
Überwachung der Meeres- und Luftverschmutzung
Katastrophenprävention
Landschaftsplanung und Stadtplanung (Flächennutzung, Straßenverkehr, Lärmkartierung)
Ressourcenmanagement
Umwelt- und Naturschutz
Und noch vieles mehr...

1.2.3 Geschichte des Sensors via Landsat

In den 1960ern wurde das Thema Luft- und Raumfahrt design langsam aufgegriffen und mehrere Wissenschaftler und Unternehmen begannen, sich damit zu beschäftigen. Virginia T. Norwood war Mitglied einer Gruppe, die für die Hughes Aircraft Company arbeitete. Einer ihrer Aufgabenbereiche war es, zu beobachten, welche neuen Projekte die NASA in Betracht zog. Sie wusste demnach, dass die NASA an satellitengestützten multispektralen Bildern der Erde arbeitete. Norwood beschaffte daraufhin Forschungs- und Entwicklungsgelder und stellte ein interdisziplinäres Team aus Experten zusammen, um selbst an multispektralen Bildern zu arbeiten.

Die NASA hatte ein Return Beam Vidicon (RBV) als Instrument für den ersten Landsat-Satelliten. Diese Technologie hat sich auf den TIROS-Wettersatelliten und den Surveyor-Missionen auf dem Mond bewährt. Das RBV ähnelte herkömmlichen Kameras. Doch einige Ingenieure der NASA sahen die Einschränkungen des RBV, wodurch Norwood und ihr Team den Auftrag erhielten, einen weltraumgestützten Scanner zu entwerfen.

Norwood entwarf daraufhin zusammen mit Jack Lansing, einem Hughes Ingenieur, den MSS-Scanner. Das MSS baut Zeile für Zeile ein Bild, während sich der Satellit vorwärts bewegt. Nach einigen Herausforderungen und Verbesserungen wurde ein funktionierender MSS-Scanner erschaffen. Die (digitalen) MSS-Daten brachten die Satellitenfernerkundung und die digitale Erdbeobachtung positiv voran.

Am 23. Juli 1972 startete Landsat 1 mit dem RBV und dem MSS. Als zwei Tage später die ersten Bilder eintrafen, waren Wissenschaftler, Ingenieure und Techniker von der Bildqualität begeistert. Der Sensor zeigte sowohl geometrisch als auch radiometrisch eine stabile Leistung.

Das Landsat Programm war die wichtigste Zusammenarbeit zwischen der NASA und dem USGS.

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/virginia-t-norwood-the-mother-of-landsat/>

1.3 Erdbeobachtung im Schulunterricht

1.3.1 Einführung

Die Integration von Erdbeobachtung in den Schulunterricht bietet einzigartige Möglichkeiten und ist aufgrund der Zukunftsrelevanz eine große Chance für Schüler*innen sich weiterzubilden. Die Einbindung von Erdbeobachtungsinhalten kann in verschiedenen Fächern für den Unterricht gewinnbringend sein. So können vor allem der Geographie- und Physikunterricht bereichert werden. Darüber hinaus eröffnet die Erdbeobachtung aber auch spannende Perspektiven in anderen MINT-Fächern wie Chemie, Mathematik und Biologie. Schüler*innen können dabei interdisziplinäre Zusammenhänge erleben und praxisnahe Anwendungen in verschiedenen Wissensbereichen, beispielsweise Wissen rund um den Klimawandel, entdecken.

1.3.2 Vorteile von Erdbeobachtung im Schulunterricht

Lehren und Lernen...

<i>... über Erdbeobachtung</i>	<i>... durch Erdbeobachtung</i>	<i>... mit Erdbeobachtung</i>
Werkzeuge und Methoden	Räumliches Denken	Exploratives Lernen
Forschung	Medienkompetenz (data literacy)	Forschendes Lernen
Fachgebiete	Kritisches Denken	Problemorientiertes Lernen
Berufliche Weiterentwicklung	Analytisches Denken	Technische Fähigkeiten
	Citizenship Formation	
Was ist alles mit Erdbeobachtung möglich?	Welche übertragbaren Fähigkeiten werden beim Einsatz von Erdbeobachtung erworben?	Wie kann Erdbeobachtung als Lerninstrument eingesetzt werden?

Das Unterrichten von Erdbeobachtung lehrt mehr als nur Erdbeobachtung!

Die vorliegende Tabelle verdeutlicht die zahlreichen Vorzüge, die sich ergeben, wenn Erdbeobachtung in den Schulunterricht integriert wird.

Durch das Lehren über Erdbeobachtung werden nicht nur Werkzeuge und Methoden vermittelt, sondern auch Einblicke in verschiedene Fachgebiete und aktuelle Forschungsergebnisse ermöglicht. Dies fördert nicht nur die Kompetenzen der Schüler*innen, sondern eröffnet auch die Vielfalt der Möglichkeiten, die mit Erdbeobachtung verbunden sind. Beim Lernen durch Erdbeobachtung werden essentielle Fähigkeiten wie räumliches Denken, Medienkompetenz und kritisches

sowie analytisches Denken entwickelt. Die Anwendung von Erdbeobachtung im Unterricht ermöglicht exploratives, forschendes und problemorientiertes Lernen. Dadurch werden nicht nur fachliche Inhalte vermittelt, sondern auch übertragbare Fähigkeiten erworben, die weit über das Spektrum der Erdbeobachtung hinausgehen.

Eine vertiefte Betrachtung der Vorteile, die sich durch die Integration von Erdbeobachtung in den Schulunterricht ergeben, offenbart weitere präzise Beispiele.

Ein herausragender Nutzen liegt in der Aktualität der Fernerkundungsdaten. Diese ermöglichen Schüler*innen, sich zeitgemäß mit aktuellen Fragestellungen auseinanderzusetzen. Der Unterricht gewinnt somit an Relevanz und Praxisbezug, da die Schüler*innen in Echtzeit mit aktuellen Entwicklungen interagieren können. Ein weiterer bedeutender Vorteil liegt in der einzigartigen Perspektive, die Erdbeobachtung aus der Vogelperspektive bietet. Dies eröffnet eine neue Dimension bei der Betrachtung von Problemstellungen und vermittelt den Lernenden eine besonders anschauliche Darstellung komplexer Zusammenhänge. Die Schüler*innen entwickeln ein vertieftes Verständnis für räumliche Zusammenhänge und lernen, Phänomene aus verschiedenen Blickwinkeln zu analysieren. Die motivierende Wirkung von Erdbeobachtung im Unterricht sollte nicht unterschätzt werden. Die Verbindung von faszinierenden Satellitenbildern mit moderner Technologie spricht die Schüler*innen emotional an und regt ihre Neugier an. Diese motivierende Komponente trägt maßgeblich dazu bei, das Interesse der Schüler*innen zu wecken und sie aktiv am Lernprozess zu beteiligen.

Praktisch zeigt sich auch die vielseitige Anwendbarkeit von Satellitenbildern. Diese lassen sich in den bereits erwähnten Fächern Geographie, Mathematik, Physik und Informatik problemorientiert einsetzen. Die interdisziplinäre Nutzung fördert ein ganzheitliches Verständnis und eröffnet den Schüler*innen die Möglichkeit, ihr Wissen in verschiedenen Kontexten anzuwenden. Nicht zuletzt fördert der Einsatz von Erdbeobachtung im Unterricht eigenständiges Arbeiten. Die Schüler*innen werden angeregt, selbstständig mit den zur Verfügung gestellten Informationen umzugehen und entwickeln dabei wichtige methodische Kompetenzen in der Informationsverarbeitung. Diese Fähigkeiten sind nicht nur für den Schulalltag, sondern auch für die spätere akademische und berufliche Entwicklung von großer Bedeutung.

Zusammenfassend wird deutlich, dass Erdbeobachtung im Schulunterricht weit über die reine Wissensvermittlung hinausgeht. Die Aktualität der Daten, die einzigartige Perspektive, die motivierende Wirkung und die vielseitige Anwendbarkeit schaffen einen reichen didaktischen Mehrwert. Der Einsatz von Erdbeobachtung im Unterricht ermöglicht somit eine umfassende und praxisnahe Bildung, die die Schüler*innen auf vielfältige Weise bereichert.

1.4 Erdbeobachtung-Bildungsprojekte

1.4.1 Copernicus Academy

Die Copernicus Academy wurde von der Europäischen Kommission ins Leben gerufen und knüpft Verbindungen zwischen europäischen Universitäten, Forschungseinrichtungen und Wirtschaftshochschulen, sowohl in den Teilnehmerländern des Programms als auch darüber hinaus. Das übergeordnete Ziel besteht darin, eine Verbindung zwischen wissenschaftlichen Einrichtungen sowie Behörden und Dienstleistern herzustellen. Dabei sollen gemeinsame Forschungsaktivitäten erleichtert und Bildungsinitiativen wie Vorträge, Schulungen, Praktika und Bildungsmaterialien entwickelt werden. Dies dient dazu, die nächste Generation von Forschern, Wissenschaftlern und Unternehmern mit den notwendigen Kompetenzen auszustatten, um Copernicus-Daten und -Informationsdienste bestmöglich nutzen zu können.

Die Copernicus Academy setzt sich zudem dafür ein, den Austausch von Ideen und bewährten Verfahren über Grenzen und Disziplinen hinweg zu intensivieren. So besteht die Mission der Copernicus Academy darin, ein breites Spektrum von Bildungsdisziplinen zu unterstützen, darunter Wissenschaft, Technologie, Ingenieurwesen, Mathematik, Geisteswissenschaften und andere Fachbereiche. Gleichzeitig strebt sie an, die Nutzung von Erdbeobachtungsdaten im Allgemeinen und insbesondere von Copernicus-Daten und -Informationen in verschiedenen öffentlichen oder privaten Institutionen oder Branchen voranzutreiben. Die Copernicus Academy fördert aktiv die Zusammenarbeit zwischen Bildungseinrichtungen und etablierten gewerblichen Betreibern oder Unternehmern, um sicherzustellen, dass Innovationen den Markt erreichen und somit den Bürger*innen Europas sowie der Zukunft der Erde zugutekommen können.

Als integraler Bestandteil der Europäischen Weltraumstrategie strebt die Copernicus Academy auch danach, neue Instrumente zu entwickeln, den Wissensaustausch zu fördern und die Zusammenarbeit auf verschiedenen Ebenen zu stärken. Dies soll dazu beitragen, das immense Potenzial der Daten und der Informationslieferung von Copernicus Sentinel zu entfalten.

Insgesamt spielt die Copernicus Academy eine wichtige Rolle bei der Gestaltung der Zukunft des Lernens und der Gesellschaft, indem sie dynamische Lernumgebungen schafft, die Schüler*innen dabei hilft, ihre Potenziale zu entfalten und zu aktiven Gestaltern ihrer eigenen Zukunft zu werden. So trägt das Bildungsprojekt dazu bei, die Lernenden auf die verschiedenen Herausforderungen der modernen Welt vorzubereiten.

1.4.2 Cop4Schools

Die Copernicus Academy setzt sich aus einer Gruppe von Mitgliedern aus der ganzen Welt zusammen. So ist auch die Arbeitsgruppe Interdisziplinäre Geoinformationssysteme des Geographischen Instituts der Ruhr-Universität Bochum Mitglied des Programms.

Die Arbeitsgruppe führt eine Vielzahl von Bildungsprojekten durch, von denen eines unter dem Namen "Cop4Schools" läuft und von Copernicus unterstützt wird. Das Herzstück dieses Projekts besteht darin, die Erdbeobachtung als integralen Bestandteil des Schulunterrichts zu etablieren. Hierbei werden Lehr- und Bildungsmaterialien entwickelt, die die Thematik der Erdbeobachtung mit verschiedenen relevanten Schulfächern verknüpfen. Das Projekt ist thematisch im Bereich des Katastrophenschutzes im Zusammenhang mit dem Klimawandel angesiedelt. Angesichts der zunehmenden Häufigkeit und Intensität verschiedener Naturereignisse aufgrund des Klimawandels sowie der entscheidenden Rolle, die die Erdbeobachtung im Bereich des Katastrophenschutzes und der Abschätzung von Katastrophenfolgen spielt, ist es folgerichtig, diese Verbindung in den entwickelten Lehrmaterialien herzustellen.

Die genannten Materialien sind auf der Website "Fernerkundung in Schulen" (<https://fis.rub.de/>) verfügbar, die von der Arbeitsgruppe ins Leben gerufen wurde. Diese Plattform bietet zudem Bildungsmaterialien zu einer Vielzahl von Themen aus weiteren Projekten, die sich dem Thema "Erdbeobachtung im Unterricht" widmen.

1.4.3 Augmented Reality

Einen interaktiven und spannenden Einblick in die Welt der Satellitensysteme bietet die Augmented-Reality-App „Satellitensysteme“. In der App stehen mehrere Module zu unterschiedlichen Themen der Erdbeobachtung zur Verfügung, die flexibel eingesetzt und bei Bedarf einzeln ergänzt werden können. Einen zentralen Überblick über die Sentinel-Missionen ermöglicht das gleichnamige Modul, in dem die Satelliten der Copernicus-Familie in einer Augmented-Reality-Umgebung dargestellt werden.

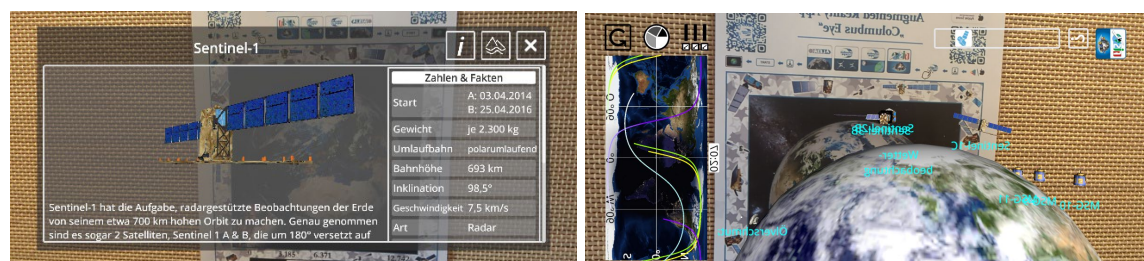


Abb. 5: Die Augmented Reality App - Satellitensysteme

Innerhalb des Moduls lassen sich Satelliten dreidimensional im Erdorbit erkunden. Durch Antippen einzelner Satelliten werden weiterführende Informationen zu ihren Aufgaben, Sensoren und Einsatzbereichen sichtbar. Ergänzend können Beispielaufnahmen eingeblendet werden, die den Zusammenhang zwischen Satellit, Messprinzip und Erdoberfläche verdeutlichen.

In der Erdsicht werden Tag- und Nachtbereiche, Orbitbahnen sowie Bodenspuren der Satelliten visualisiert. Dadurch wird der Zusammenhang zwischen den dreidimensionalen Umlaufbahnen im Raum und ihrer zweidimensionalen Darstellung auf Karten anschaulich nachvollziehbar. Zusätzliche Darstellungsoptionen ermöglichen es zudem, einzelne Satelliten gezielt ein- oder auszublenden sowie zeitliche Aspekte der Orbitbewegung zu variieren.

Die App bietet darüber hinaus weitere spannende Augmented-Reality-Anwendungen rund um das Thema Erdbeobachtung, mit denen unterschiedliche Satellitenmissionen und Messprinzipien anschaulich erkundet werden können.

QR-Code zur App „Satellitensysteme“



2. Grundlagen der Erdbeobachtung

2.1 Was ist Erdbeobachtung? Weit weg und doch nah dran.

Die Erdbeobachtung befasst sich mit der Beobachtung von Objekten aus der Ferne, wobei mit dem Objekt meistens die Oberfläche unseres Planeten Erde gemeint ist. Wie und mit welchen Mitteln und Methoden dies funktioniert, wird im Folgenden beschrieben. Abb. 5 zeigt vereinfacht die Vorgehensweise.



Abb. 6: Wie funktioniert Erdbeobachtung?

Die Strahlen des Sonnenlichts treffen in Form von elektromagnetischer Strahlung auf Objekte an der Erdoberfläche und werden von ihnen zurückgeworfen. Die zurückgeworfenen Strahlen können von Satelliten aufgenommen und gespeichert werden. Die Auswertung der Daten erfolgt am Computer.

In der Astronomie wird von der Erde aus das Weltall mit seinen Planeten, Sternen und anderen Himmelskörpern beobachtet und untersucht. Ähnlich ist es in der Erdbeobachtung: Auch sie beobachtet Objekte aus der Ferne, also ohne direkte Berührung. Doch in der Erdbeobachtung ist das Untersuchungsobjekt nicht das Weltall, sondern unsere Erde selbst!

Um die Erdoberfläche zu beobachten und zu untersuchen, werden Messgeräte (die so genannten Sensoren) an Flugzeugen und Satelliten angebracht. Sie nehmen elektromagnetische Wellen auf und speichern sie anschließend als Bilddaten ab.

2.2 Womit arbeitet die Erdbeobachtung?

Die Erdbeobachtung arbeitet mit Sonnenlicht, das von der Erdoberfläche zurückgeworfen wird. Sensoren nehmen dieses Licht auf und speichern es ab. Doch wie funktioniert das? Wir bezeichnen das Licht der Sonne oft als "Sonnenstrahlen". Eigentlich ist das nicht ganz richtig. Aufgrund von besonderen Eigenschaften müssten wir es eher als "Sonnenwellen" bezeichnen.

2.2.1 Lange und kurze Wellen

Wellen sind vom Prinzip her Schwingungen, die Energie transportieren. Ein einfaches Beispiel von einem Stein, der ins Wasser geworfen wird und Wellen schlägt, verdeutlicht dies. Das Sonnenlicht wird als elektromagnetische Welle bezeichnet. Der Unterschied zu Wellen im Wasser oder Schallwellen besteht darin, dass die elektromagnetische Welle kein Medium wie Wasser oder Luft benötigt, um sich fortzubewegen.

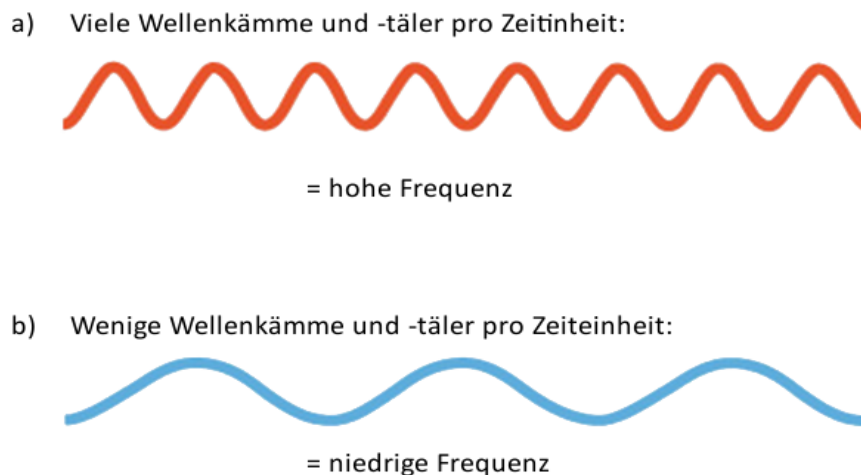


Abb. 7: Elektromagnetische Wellen mit hohen und niedrigen Frequenzen.

Wie in der Abbildung oben zu sehen ist, haben Wellen einen Wellenkamm und ein Wellental. Der Abstand von einem Kamm zum nächsten wird Wellenlänge genannt. Die Häufigkeit von Wellentälern und Wellenkämmen pro Zeiteinheit wird als Frequenz bezeichnet. Generell gilt: Je kleiner die Wellenlänge, desto höher ist die Frequenz und die Energie einer elektromagnetischen Welle.

Elektromagnetische Wellen haben noch andere Eigenschaften. Sie werden, wenn sie auf eine Oberfläche treffen, reflektiert (zurückgeworfen), absorbiert (aufgenommen) oder transmittiert (hindurch gelassen).

2.2.2 Das elektromagnetische Spektrum

Für die Beobachtung werden Messgeräte, auch Sensoren genannt, an Flugzeugen und Satelliten angebracht. Diese nehmen elektromagnetische Wellen auf und verarbeiten diese zu Bilddaten, welche später ausgewertet werden können. Inwieweit sich die elektromagnetischen Wellen voneinander unterscheiden, zeigt das anschließende Schema.

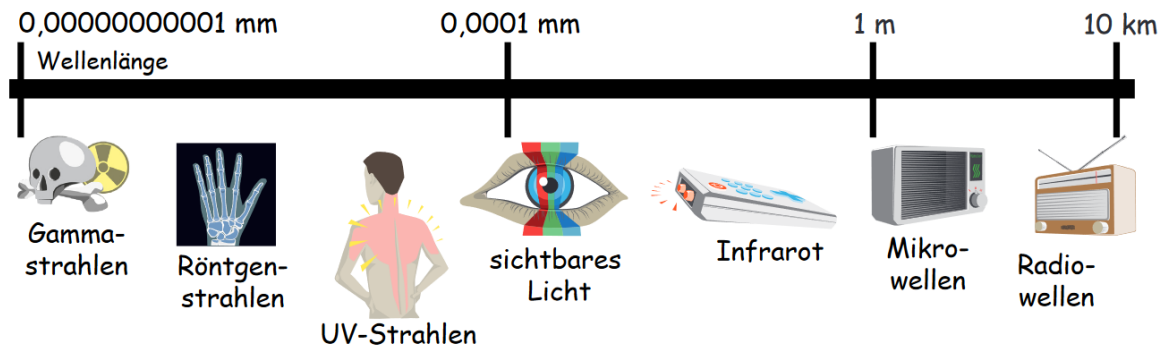


Abb. 8: Das elektromagnetische Spektrum.

Elektromagnetische Wellen wie das Sonnenlicht können reflektiert und absorbiert werden. Bei der Reflexion werden sie von einer Oberfläche zurückgeworfen, bei der Absorption von einer Oberfläche aufgenommen und in Wärmeenergie umgewandelt.

2.2.3 Was bedeutet Reflexion?

Reflexion bedeutet, dass etwas zurückgeworfen wird. Wenn beispielsweise ein Ball gegen die Wand geworfen wird und er zurückkommt, wird er sinngemäß reflektiert. Das Gleiche passiert mit dem Sonnenlicht, wenn es auf die Erdoberfläche trifft. Es wird reflektiert und kann vom Satelliten aufgenommen werden. Trifft es auf eine glatte Fläche, z.B. einen Spiegel, so gilt: Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Der Einfallswinkel ist dabei der Winkel zwischen einem auftreffenden Lichtstrahl und einer Fläche, der Ausfallswinkel der Winkel zwischen dem reflektierten Lichtstrahl und einer Fläche.

Das Prinzip der spiegelnden Reflexion wird mit der untenstehenden Abbildung verdeutlicht. In der Regel werden drei Arten bei der Reflexion von Licht unterschieden, wobei die Rauigkeit der Oberfläche des Gegenstandes entscheidend dafür ist, wie der Lichtstrahl reflektiert wird:

1. **Spiegelnde Reflexion:** Der Lichtstrahl wird in dem Winkel zurückgeworfen, in dem er auf eine glatte Fläche auftrifft.
2. **Diffuse Reflexion:** Der Lichtstrahl wird von einer angerauten Oberfläche in alle Richtungen gleichmäßig zurückgeworfen.
3. **Gemischte Reflexion:** Der Lichtstrahl wird von einer sehr rauen Fläche ungleichmäßig in alle Richtungen zurückgeworfen. Diese Art der Reflexion ist in der Natur der Normalfall.

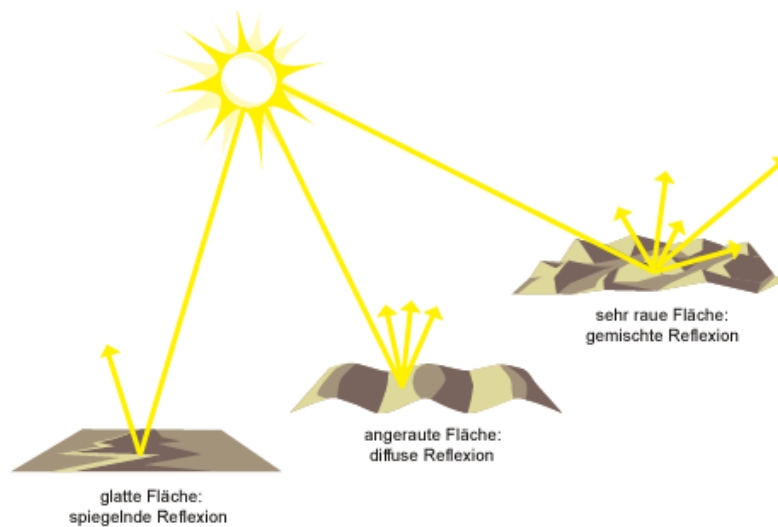


Abb. 9: Drei Arten der Lichtreflexion. Die gemischte Reflexion (rechts) ist in der Natur der Normalfall.

2.2.4 Was bedeutet Absorption?

Licht wird von Oberflächen nicht nur reflektiert, sondern auch aufgenommen. Die aufgenommene Energie des Lichts wird dabei gespeichert und langsam als Wärme wieder abgegeben. Diese Art der Energieumwandlung wird Absorption genannt.

Das kann auch auf den Alltag übertragen werden: Ein schwarzes T-Shirt absorbiert beispielsweise viel mehr Sonnenlicht als ein weißes. Dies ist der Grund dafür, dass im Sommer in einem schwarzen T-Shirt mehr geschwitzt wird als in einem weißen T-Shirt.

2.2.5 Bilder als Zahlenraster

Die Informationen werden in Bilddaten umgewandelt, welche aus unzähligen Zahlen bestehen, die in Zeilen und Spalten angeordnet sind. Man spricht dann auch von Rasterdaten.

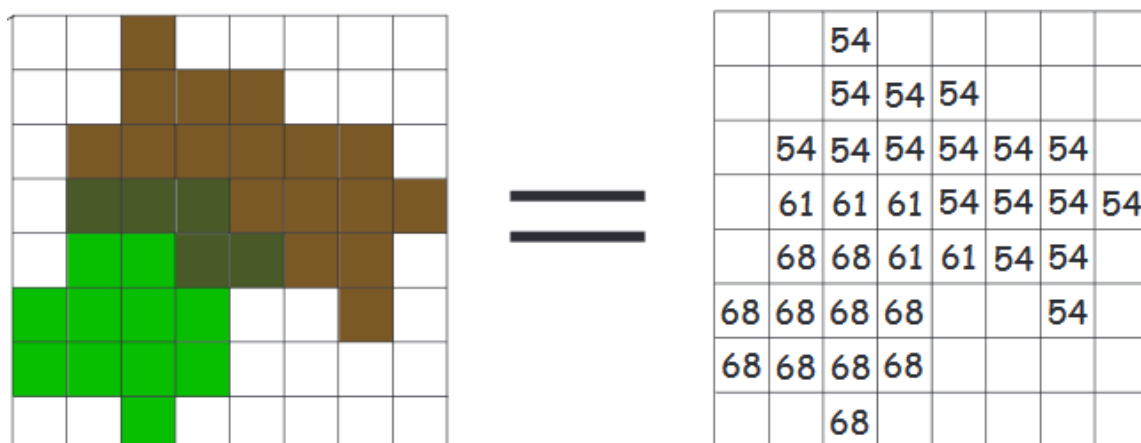


Abb. 11: Bilddaten werden vom Sensor als Zahlen gespeichert.

Die Zahlen geben die Stärke wieder, mit der das Licht reflektiert wurde. Weiße Flächen reflektieren grundlegend mit hoher Intensität und haben einen hohen Zahlenwert,

wohingegen dunkle Oberflächen mehr Licht absorbieren und somit weniger zurückstrahlen. Sie besitzen einen niedrigen Wert, der bei schwarzen Objekten bei null liegt.

2.2.6 Techniken der Erdbeobachtung

Erdbeobachtungssensoren können an Satelliten oder an Flugzeugen angebracht werden. Sie arbeiten entweder passiv mit Sonnenlicht oder mit aktiv ausgesendeten Mikrowellen.

Die Aufnahmesysteme der Erdbeobachtung können u. a. nach Art der verwendeten elektromagnetischen Strahlung unterschieden werden. Hierbei gibt es die bereits genannten Systeme, die mit den an der Erdoberfläche reflektierten Sonnenstrahlen arbeiten. Diese Aufnahmesysteme werden als passive Aufnahmesysteme bezeichnet (Siehe Abb. 10, links).



Abb. 10: Passive und aktive Aufnahmesysteme der Erdbeobachtung.

Eine andere Vorgehensweise machen sich aktive Aufnahmesysteme zunutze. Diese senden aktiv Mikrowellen in Richtung Erdoberfläche aus und nehmen anschließend den Strahlungsanteil, der von der Erdoberfläche reflektiert wurde, wieder auf (Siehe Abb. 10, rechts).

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal von Aufnahmesystemen der Erdbeobachtung ist die Transporttechnik. In der flugzeuggetragenen Erdbeobachtung wird das Aufnahmesystem an Flugzeugen befestigt. Diese Aufnahmesysteme arbeiten sehr genau und haben durch den geringen Abstand zur Erdoberfläche auch eine sehr hohe räumliche Auflösung. Allerdings können sie nur einen kleinen Teil der Erdoberfläche überfliegen, sodass sie meist für spezielle Untersuchungen zum Einsatz kommen.

2.3 Was ist Auflösung?

2.3.1 Räumliche Auflösung

Die einzelnen Rasterzellen werden Pixel genannt. Die Größe der Fläche, die in einem Pixel abgebildet werden kann, ist dabei abhängig von der Leistungsfähigkeit des Sensors. Bei einer hohen räumlichen Auflösung werden mehr Details sichtbar. Abb. 11 verdeutlicht dies.

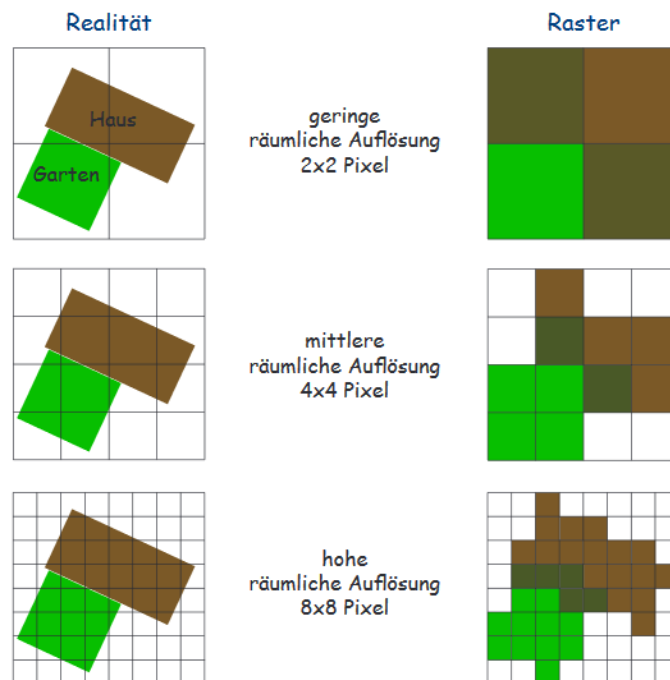
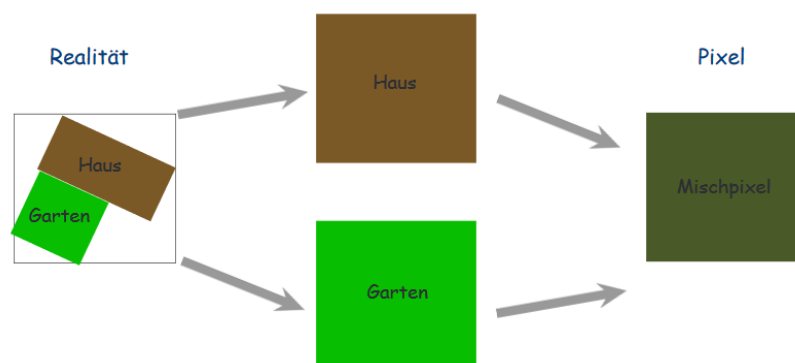


Abb. 12: Unterschiede der räumlichen Auflösung.

Fast unvermeidbar ist, dass mehrere Objekte in ein und demselben Bereich abgebildet werden müssen, und somit gemeinsam in einem Pixel vorkommen. Abb. 12 zeigt, wie sich die Farbanteile der Objekte mischen und ein Mischpixel entsteht. Je geringer die räumliche Auflösung ist, desto mehr Mischpixel entstehen und desto weniger Objekte sind voneinander unterscheidbar.

Abb. 13: Entstehung von Mischpixeln.



2.3.2 Zeitliche Auflösung

Neben der räumlichen spielt auch die zeitliche Auflösung eine wichtige Rolle. Sie gibt an, wie groß der zeitliche Abstand zwischen zwei Aufnahmen des gleichen Gebiets ist. Je nachdem, wie die Umlaufbahn des Satelliten definiert ist, kann dieser Abstand zwischen 15 Minuten und mehreren Wochen betragen. Dies ist vom Zweck des Satelliten abhängig und beeinflusst auch die räumliche Auflösung. Da sich die Landoberfläche, z. B. durch Naturkatastrophen schnell und flächendeckend verändern kann, ist auch eine hohe zeitliche Auflösung wichtig.

2.3.3 Spektrale Auflösung

Satellitensensoren arbeiten mit dem von der Erde reflektierten Licht. Welche Farbe hat Licht nun aber eigentlich? Die Antwort erhalten Sie, wenn Sie durch ein Prisma schauen. Dann fächert sich das Licht u. a. in die drei Farben Rot, Grün und Blau auf. Aus diesen drei sogenannten Hauptfarben können alle anderen Farben zusammengesetzt werden. Gelb setzt sich beispielsweise aus Grün und Rot zusammen.

2.4 Warum nehmen wir die Welt farbig wahr?

Trifft sichtbares Licht auf Farbpigmente (farbgebende Bestandteile von Oberflächen), so werden einige Wellenlängen absorbiert und andere reflektiert. Für die rote Farbe eines roten Apfels sind also Pigmente verantwortlich, die grünes und blaues Licht absorbieren und rotes Licht reflektieren. Grüne Blätter hingegen absorbieren rotes und blaues Licht, reflektieren aber grünes.

Weißer Farbpigmente reflektieren alle drei Wellenlängen gleich stark, schwarze Farbpigmente wiederum absorbieren alle drei Wellenlängen vollständig. Alle anderen Farben entstehen durch das Zusammenspiel von rotem, grünem und blauem Licht. So färben erst die Gegenstände um uns herum das eigentlich weiße Sonnenlicht ein und lassen die Welt bunt erscheinen.



Abb. 14: Reflexion und Absorption.

Nehmen Satelliten die Erdoberfläche auch farbig wahr?

Satellitensensoren sehen die Erde grau. Das liegt daran, dass sie jeden Wellenlängenbereich getrennt in sogenannten Kanälen aufnehmen. Zusätzlich zu den Kanälen des sichtbaren Lichts (Rot, Grün, Blau) besitzen die meisten Satelliten auch Sensoren im Infraroten Licht, das für Menschen nicht sichtbar ist, und manche sogar im ultravioletten Licht.

Die Anzahl der Aufnahmekanäle eines Satelliten wird spektrale Auflösung genannt. Je mehr Kanäle ein Erdbeobachtungssensor hat, desto höher ist die spektrale Auflösung eines Satelliten.

Der Satellit erstellt in jedem Kanal ein Bild, das aus verschiedenen Grautönen besteht, weshalb es auch Grauwertbild genannt wird. Reflektiert eine Fläche sehr viel rotes Licht, wie beispielsweise Tennisplätze, so erscheint diese Fläche auf dem Grauwertbild des roten Kanals ganz weiß, und auf dem des grünen Kanals eher schwarz.

2.5 Was kann ein Satellitenbild sagen?

2.5.1 Der NDVI

Durch die Besonderheit von gesunden Pflanzen, dass sie im infraroten Licht stark reflektieren, im roten jedoch fast gar nicht, lassen sie sich mit einem einfachen Index in Satellitenbildern finden und auf ihren Zustand untersuchen. Dieser Index wird NDVI (Normalisierter Differenzierter Vegetations-Index) genannt und wie folgt berechnet:

$$NDVI = \frac{\text{Infraroter Wert} - \text{Roter Wert}}{\text{Infraroter Wert} + \text{Roter Wert}}$$

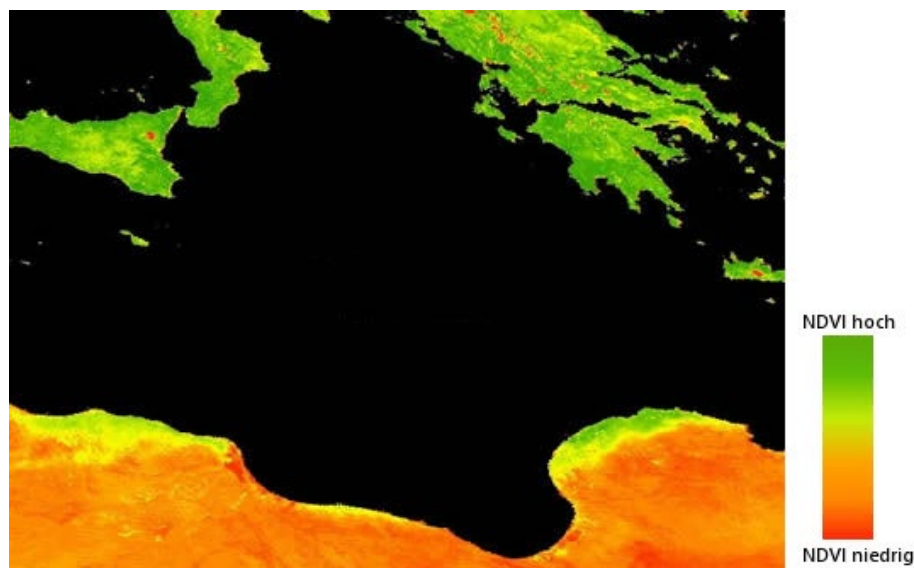


Abb. 15: NDVI-Bild vom Mittelmeer.

2.5.2 Klassifikation

Werden ähnlich gefärbte Pixel thematisch zu Klassen zusammengefasst, wird von Klassifikationen gesprochen. Abb. 15 zeigt, wie die Zuordnung von blauen Farbwerten zu Wasser und von grünen zu Vegetation die Interpretation der Bilder vereinfachen kann.

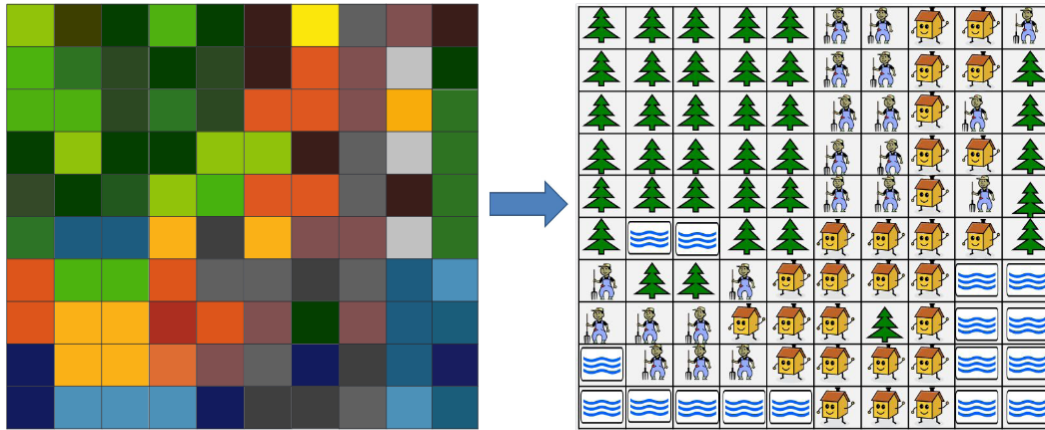


Abb. 16: Klassifikation anhand von Farbwerten.

Die Erdbeobachtungsmethode der Klassifikation ermöglicht es, die Landoberfläche vereinfacht darzustellen, indem Klassen wie Siedlung, Wasser oder Wald erstellt werden. Es wird nun von einer thematischen Karte gesprochen.

2.5.3 Veränderungsanalyse

Mit der Methode der Change Detection (Veränderungsanalyse) wird nicht nur der aktuelle Zustand der Landoberfläche vereinfacht dargestellt, sondern auch ihre zeitliche Veränderung. Die nachfolgende Abbildung zeigt zwei klassifizierte Satellitenbilder der Region Bonn/Rhein Sieg zu zwei Zeitpunkten. Das dritte Bild zeigt, wo die Veränderung stattgefunden hat.

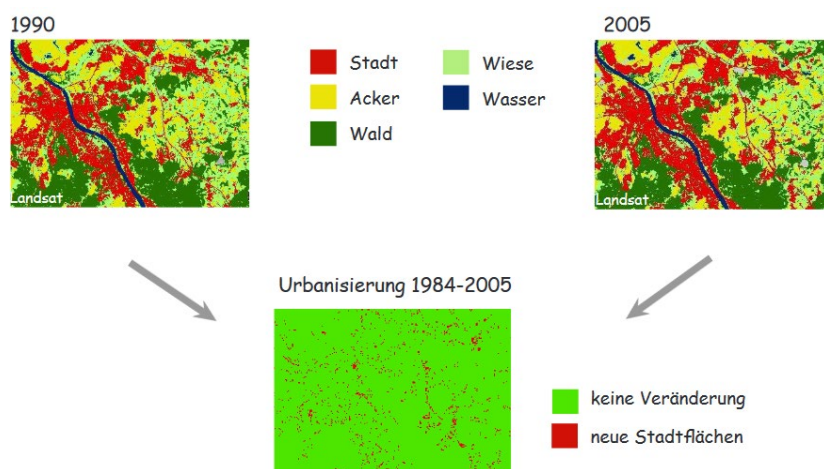


Abb. 17: Die Methode der Change Detection.

3. Copernicus – Erdbeobachtung für alle!

Copernicus ist ein europäisches Erdbeobachtungsprogramm, das eine leistungsfähige Infrastruktur für satellitengestützte Beobachtung der Erde aufbaut. Das Programm wird von der Europäischen Kommission koordiniert und verwaltet, damit die politische Vision immer aktuell bleibt und weiterentwickelt wird und alle benötigten Elemente zur Verfügung stehen. Für die technische Koordination ist die Europäische Weltraumorganisation (ESA) verantwortlich. Die gesammelten und verarbeiteten Daten sind für alle Bürgerinnen und Bürger der ganzen Welt frei zugänglich, wodurch Copernicus zur Entwicklung von neuen Anwendungen und Diensten beiträgt.

Die Kerndienste des Programms sind Landüberwachung, Überwachung der Meeresumwelt, Katastrophen- und Krisenmanagement, Überwachung der Atmosphäre, Überwachung des Klimawandels und Sicherheit. Die Dienste basieren alle auf den Satellitenbildern der Sentinel-Familie, die im Eigentum der EU stehen. "Beitragende Missionen" liefern zusätzlich Informationen, die auf Satelliten dritter Parteien basieren. Mithilfe der Dienste können die Rohdaten verarbeitet und analysiert werden, um so brauchbar für Behörden, Wissenschaftler, Unternehmen, Organisationen und Bürgerinnen und Bürger zu sein.

Mit Copernicus können gesellschaftliche Problemstellungen adressiert werden, mit denen sich die Menschheit heute und in Zukunft konfrontiert sieht. So unterstützen die Daten des Copernicus Programms die Bewältigung globaler Herausforderungen wie zum Beispiel dem Klimawandel, Naturkatastrophen oder Bevölkerungswachstum. Mit der weiteren Verarbeitung der Daten sowie des Know-Hows zu deren Nutzung setzt das Programm auch auf eine stetige Erweiterung der Anwendungsfelder durch Forschung und Wirtschaft.

Unter den folgenden Links finden sich Informationen zu Copernicus:

Offizielle Broschüre "Copernicus: Europas Blick auf die Erde":
https://www.copernicus.eu/sites/default/files/2018-10/Copernicus_brochure_DE_web_Oct2017.pdf

Copernicus in Deutschland: <https://www.d-copernicus.de/>

Sentinel-Online: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>

Copernicus für das Umweltmonitoring:

https://www.d-copernicus.de/fileadmin/Content/pdf/Tutorial_Copernicus_online.pdf

3.1 Services

Atmosphäre (engl.: Atmosphere Monitoring Service): Seit Juni 2015 werden unter diesem Service regelmäßig Daten über die Zusammensetzung der Atmosphäre geliefert. Treibhausgase, reaktive Gase, Ozon und Aerosole sind Bestandteile der Atmosphäre, über die Daten geliefert werden. Es werden sowohl die vergangene, die gegenwärtige als auch die zukünftige Situation beschrieben. Der Atmosphere Monitoring Service fokussiert sich dabei auf die fünf Hauptbereiche - Luftqualität und atmosphärische Zusammensetzung, Ozonschicht und ultraviolette Strahlung, Emissionen, Sonneneinstrahlung, klimatische Einflüsse. Ein wichtiger Kooperationspartner ist das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersage (European Centre for Medium-Range Weather Forecast - ECMWF).

Katalog des Atmosphere Monitoring Service:

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_AtmosphereMonitoring_Feb2017.pdf

Meeresumwelt (engl.: Marine Environment Monitoring Service): Seit Mai 2015 werden regelmäßig Daten über den physikalischen und biogeochemischen Zustand, die Variabilität und Dynamik des Ozeans und der Meeresökosysteme geliefert. Die gewonnenen Daten können unter anderem zur Sicherheit auf See beitragen, indem zum Beispiel Strömungen und Winde analysiert und vorausberechnet werden. Weitere Anwendungsgebiete sind der Schutz der lebenden Meeresressourcen und die Anwendungen in der Küsten- und Meeresumwelt. Durch jährliche Zustandsberichte über den Ozean können Trends zur Gesundheit der Ozeane aufgrund des Klimawandels prognostiziert werden. Der Kooperationspartner für diesen Dienst ist Mercator-Océan.

Katalog des Marine Environment Monitoring Service:

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_MarineMonitoring_Feb2017.pdf

Landüberwachung (engl.: Land Monitoring Service): Seit 2012 werden Daten zu bspw. Bodenbedeckung, Landnutzung, Vegetationszustand und Wasserkreislauf gesammelt. Die Daten können bei der Raumplanung helfen, aber auch die Landwirtschaft, Wasserwirtschaft und den Naturschutz unterstützen. Der Landüberwachungsdienst besteht aus fünf Hauptkomponenten: Die systematische Überwachung biophysikalischer Parameter (bspw. Bodenfeuchte), die Kartierung der Bodenbedeckung und Bodennutzung (bspw. Stadt- vs. Landwirtschaftliche Flächen), Thematische Krisenherdkartierung, Bilder und Referenzdaten (bspw. zur Hydrographie und Höhenprofilen). Eine weitere Komponente wird aktuell aufgebaut, dabei handelt es sich um eine neue europäische Bodenbewegungsaktivität (bspw.

Erdrutschungen). Die Komponente misst Bodenverschiebungen und die Verformung der Infrastruktur. Ein wichtiger Kooperationspartner ist die Europäische Umweltagentur.

Katalog des Land Monitoring Service:

<https://www.copernicus.eu/sites/default/files/Copernicus%20Land%20Monitoring%20Service%20factsheet%20status%20October%202018.pdf>

Klimawandel (engl.: Copernicus Climate Change Service, C3S): Der Service sammelt Informationen über das vergangene, gegenwärtige und zukünftige Klima. Ziel ist es, die Anpassungs- und Schadensminimierungspolitik der EU zu unterstützen. Die gesammelten Daten werden zum Beispiel für die Bewertung der Auswirkung des Klimawandels auf die Biodiversität in bestimmten Regionen, das Risikomanagement für Rohstoffhandel oder für nachhaltiges Wassermanagement genutzt. Der Klimawandel-Service ist für das Globale Rahmenwerk für Klimadienste (Global Framework for Climate Services - GFCS) ein wichtiger Dienst. Die Klimadaten und weitere Informationen werden auf dem Klimadatenspeicher (Climate Data Store - CDS) zur Verfügung gestellt und allen Nutzer*innen zugänglich gemacht. Der Service ist ein ergänzendes Angebot zu den bereits vorhanden meteorologischen und ökologischen Dienstleistungen der EU.

Das Europäische Zentrum für mittelfristige Wettervorhersagen (ECMWF) setzt als Kooperationspartner den C3S um.

Klimadatenspeicher (engl.: Climate Data Store, CDS):
<https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home>

Sicherheit (seit 2015): Drei Bereiche kennzeichnen den Sicherheitsservice (engl.: Security Service). Die Grenzüberwachung, die maritime Überwachung und die Unterstützung der EU-Außenpolitik. Die Grenzüberwachung arbeitet auf die Ziele hin, dass die Zahl der illegalen unerkannten Einwanderer sinkt, die Todesopfer illegaler Einwanderer auf See zu senken, die innere Sicherheit der EU zu erhöhen und die grenzüberschreitende Kriminalität zu bekämpfen. Bei der maritimen Überwachung bestehen die Aufgabenbereiche darin, die europäische Seeverkehrssicherheit zu unterstützen. Das betrifft unter anderem die Sicherheit der Schifffahrt, aber auch die Unterstützung der Fischereikontrolle und die Bekämpfung der Meeresverschmutzung. Der letzte Bereich ist die Unterstützung der Außenpolitik, mit der bewirkt werden soll, Drittländer in Krisensituationen zu unterstützen und eine globale und überregionale Bedrohung zu verhindern.

Kooperationspartner sind die Europäische Kommission FRONTEX (Europäische Küstenwache), die Europäische Agentur für die Sicherheit des Seeverkehrs (European

Maritime Safety Agency - EMSA) und das Satellitenzentrum der Europäischen Union (European Union Satellite Centre - EU SATCen).

Katalog des Security Service:

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Security_October2017.pdf

Katastrophen- und Krisenmanagement (engl.: Emergency Management Service, EMS): Unter diesem Service können autorisierte Nutzer*innen Karten und Analysen zu Krisen anfordern. Es liegen Daten zu allen Zeitpunkten einer Krise bereit (vor, während und nach einer Krise). Diese Daten basieren auf Satellitenbilddaufnahmen, die nach einer Katastrophe erstellt werden und Informationen zum Beispiel über die räumliche Ausdehnung enthalten. Die Daten können außerdem zur Analyse von Vulnerabilität und Risiko herangezogen werden. Es kann sich um Katastrophen durch Hochwasser, Erdbeben, Waldbrände oder auch humanitäre Krisen handeln. Durch die Aufnahmen kann die Lage besser dargestellt werden und das Krisenmanagement bei der Entscheidungsfindung unterstützt werden. Nach einer Krise kann der Fortschritt bei Wiederaufbaumaßnahmen verfolgt und analysiert werden. Produkte des EMS können beim gemeinsamen Melde- und Lagezentrum von Bund und Ländern (GLMZ) angefordert werden.

Katalog des Emergency Management Service:

https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_Security_October2017.pdf

<https://emergency.copernicus.eu/>

3.2 Dataspace

Das Copernicus Dataspace Ecosystem ist ein frei zugängliches System, das unter anderem Zugang zu Daten der Sentinel-Missionen ermöglicht. Der Browser ist einfach zu bedienen. Es lassen sich Satellitendaten suchen, visualisieren und herunterladen.

Services sind "Explore Data", "Analyse" und "Ecosystem": *Explore Data* gewährt Zugang zu einer großen Auswahl an Erdbeobachtungsdaten der Sentinel-Missionen. Der *Analyse*-Service liefert eine Datenanalyse der Umwelt. Er gewährt Zugang zu einer Reihe von hochqualitativen datenverarbeitenden Tools. Nutzer*innen haben bspw. über Webservices wie openEO und SentinelHub Zugriff zu Datensätzen der Erdbeobachtung. Produktkataloge ermöglichen außerdem, nach bestimmten Datensätzen zu filtern. Das *Ecosystem* vereint Tools und Ressourcen, um das volle Potenzial dieser Daten auszunutzen. Dadurch kann ein wachsendes Ecosystem geschaffen werden, das die Wirkung von Erdbeobachtungsdaten erhöht.

Offizielle Seite: <https://dataspace.copernicus.eu/>

Youtube-Video (auf der offiziellen Seite): <https://youtu.be/Am93Xi0PZ5o>

3.3 SNAP

SNAP (ESA Sentinel Application Platform) ist ein von Copernicus kostenfrei bereitgestelltes Programm, welches von Brockmann Consult, Skywatch, Sensar und C-S entwickelt wurde. Mit dem Programm und den Toolboxes können Erdbeobachtungsdaten verarbeitet und analysiert werden. SNAP kann von jedem gebührenfrei heruntergeladen und genutzt werden.

Informationsseite der ESA: <https://earth.esa.int/eogateway/tools/snap>

Link zum Download: <https://step.esa.int/main/download/snap-download/>

3.4 Datenverarbeitung via Dataspace-Hub

3.4.1 Beispiel – Change Detection

1. Geh auf <https://dataspace.copernicus.eu/> und halte den Mauszeiger oben in der Mitte über *Explore Data*. Klicke auf *Copernicus Browser* im pop-up Menü.

2. Registriere dich oder logge dich im Copernicus Browser ein (es ist kostenlos und werbefrei!)
3. Klicke in der linken oberen Ecke auf den *SUCHEN*-Tab, um zum Download-Bereich zu kommen.
4. Klicke in der oberen rechten Ecke in das *Go to Place*-Feld und tippe *Zhoukou* ein. (Das Zh wird übrigens wie ein weiches sch ausgesprochen)
5. Klicke auf *Zhoukou, China*. Das Fenster sollte sich nun nach China bewegen. Zoom auf Zhoukou, bis die Stadt gut zu sehen ist.
6. Aktiviere im Menü Links unter *Datensets Sentinel-2*, im Untermenü *MSI* (Multi-Spectral Instrument), und dann *L2A* für ein atmosphärenkorrigiertes Bild. Schieb den Wolkenbedeckungsregler auf *10%*.
7. Da ein möglichst langer Zeitraum zwischen den beiden Zeitabschnitten für den Vergleich benötigt wird, um die Veränderungen besser zu sehen, müssen zwei Zeiträume nacheinander abgesucht werden. Die ältesten verwertbaren Daten für Zhoukou wurden im April 2017 aufgenommen. Wähle als Zeitraum den 01.-30. April 2017, also *Von 2017-04-01 Bis 2017-04-30* aus und klicke auf *Suche*.

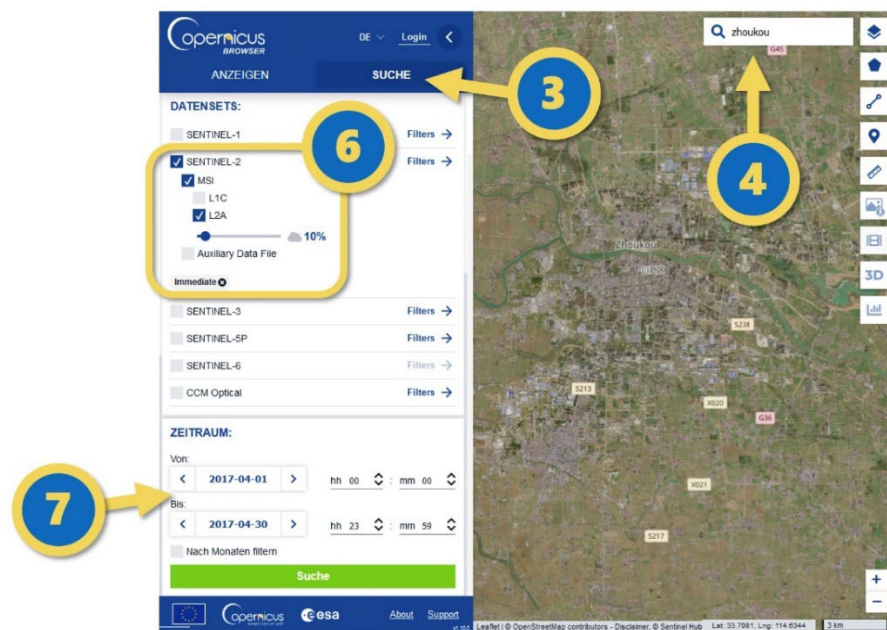


Abb. 18: Auswählen des zu untersuchenden Ortes.

8. Eine Liste von Ergebnissen der Suche sollte angezeigt werden, die sich nahe Zhoukou überschneiden. Klicke auf eine der Szenen, um die Details genauer anzusehen. Die Bezeichnungen der Szenen unterscheiden sich nur minimal, da sie aus dem gleichen Aufnahmestreifen stammen. Lade dann die Szene *S2A_MSIL2A_20170428T030541_N0500_R075_T50SKC_20231114T174920.SAFE* herunter.

9. Wiederhole die Suche Von 2024-04-01 Bis 2024-04-30. Fang mit dem Bis-Datum an, da sich kein Von-Datum nach dem Bis-Datum einstellen lässt.
10. Lade die Szene herunter, die wolkenfrei ist und sich mit der letzten heruntergeladenen Szene überschneidet:
S2B_MSIL2A_20240426T030519_N0510_R075_T50SKC_20240426T062656.SAFE

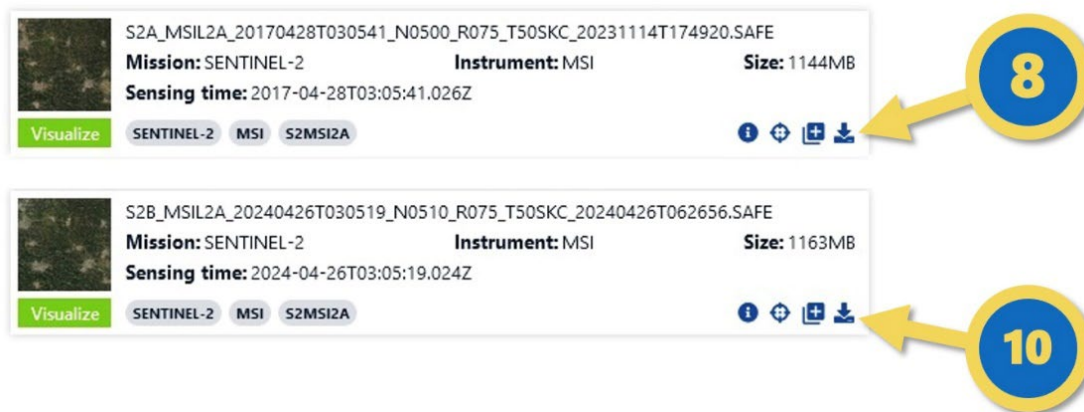


Abb. 19: Auswählen der Szenen.

11. Entzippe die beiden Dateien in deinen Arbeitsordner.

Erkunde die Bilder in SNAP und schneide sie zu (*Subsets*):

12. Starte SNAP.
13. Klicke auf das Ordner-Symbol, um die Dateien zu öffnen. Navigiere zum Ordner, in dem sie entpackt wurden, und innerhalb der .SAFE-Ordner jeweils auf *MTD_MSIL2A.xml*.

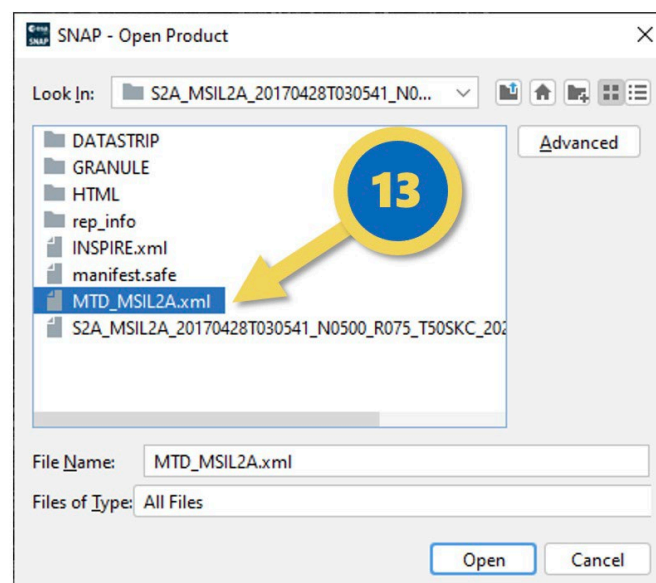


Abb. 20: Öffnen der Dateien.

14. Rechtsklicke auf jeden der Szenennamen und wähle *open RGB Image Window*. Stelle sicher, dass als Profil *Sentinel 2 MSI Natural Colors* eingestellt ist und für Red *B4*, Green *B3*, Blue *B2* eingestellt sind. Klicke dann auf OK.

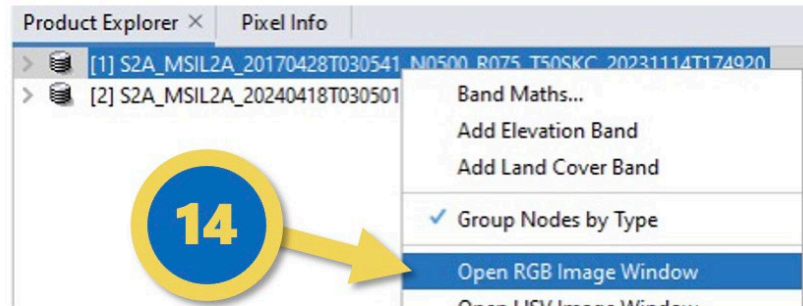


Abb. 21: Öffnen der Dateien.

15. Erkunde die beiden Bilder nebeneinander, indem du ganz oben auf *Tile Horizontally* in der Symbolleiste oben klickst. → *symbols*
16. Da die Szene in ihrer vollen Größe zu klassifizieren sehr lange benötigen würde, um zu prozessieren, muss ein *Subset* ausgewählt werden. Klicke dazu in der Menü-Leiste auf *Raster* und dann *Subset*.
17. Im Tab *Spatial Subset* können die Ausmaße des Subsets festgelegt werden. Da die beiden Szenen sich vollständig überlappen, können hier die gleichen Einstellungen für beide Szenen verwendet werden. Als *Reference Band* ist *B1* eingestellt. Stelle als *Pixel coordinates* folgendes *Subset* ein:

Scene start X: 4490

Scene start Y: 1000

Scene end X: 5489

Scene end Y: 1999

Dies schneidet die Szene auf eine ländliche Region zu, die zur Verwaltungseinheit von Zhoukou gehört. Hier gehen mehrere Kleinstädte ineinander über.

In 2010 hatte die abgebildete Region etwa 340.000 EW.

(https://www.citypopulation.de/de/china/townships/zhoukou/411627__t%C3%A0ik%C4%81ng_xi%C3%A0n/)

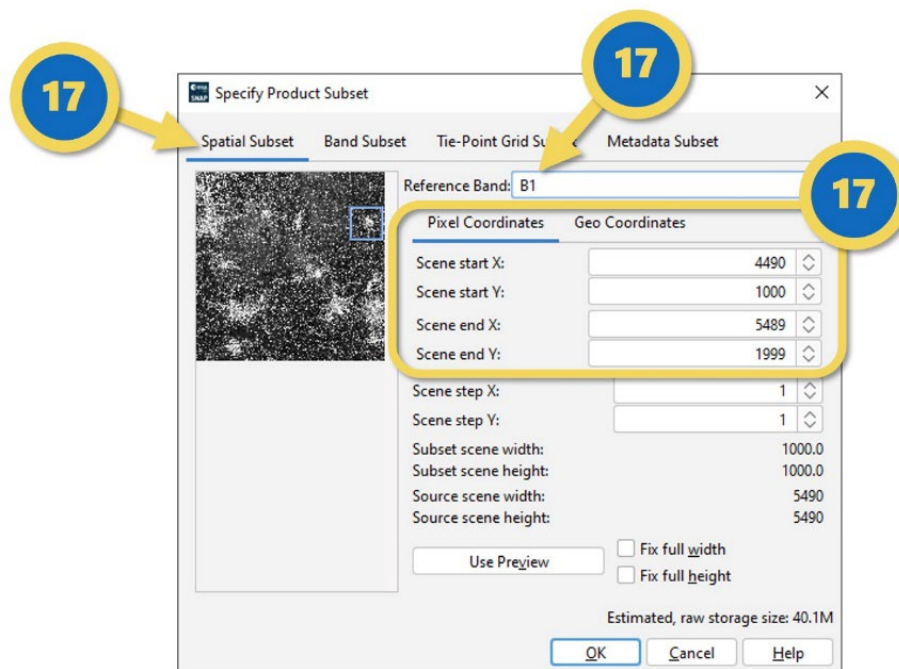


Abb. 22 Einstellungen des Spatial Subsets.

18. Im Tab *Band Subset* können die Daten ausgewählt werden. Für die Klassifikation werden nur die Reflektanzen benötigt, und auch davon nicht alle. Für dieses Beispiel werden die Bänder 2-8 und 11-12 benutzt, also das sichtbare und nahe Infrarot-Licht in 10 und 20 m Auflösung. Klick *Select none* und wähle dann *B2-B8* und *B11-B12* wieder aus.

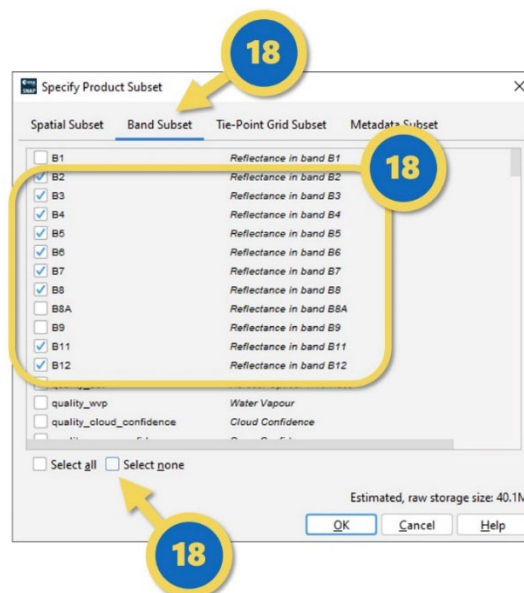


Abb. 23: Klassifikation des Band Subsets.

19. Die Angaben in den Tabs *Tie-Point Grid Subset* werden hier nicht benötigt und können ebenfalls deaktiviert werden. Das *Metadata Subset* kann nicht

verändert werden. Klicke auf OK. Das *Subset* erscheint im *Product Explorer*. Wiederhole das gleiche für die Szene von 2024.

20. Gängige Klassifikationsalgorithmen sind für Bänder mit gleicher Auflösung und Ausdehnung gemacht. Da einige unserer Bänder 10 m und andere 20 m Auflösung haben, müssen die 10 m Bänder *resampled* werden. Gehe dazu auf *Raster, Geometric, Resampling*.

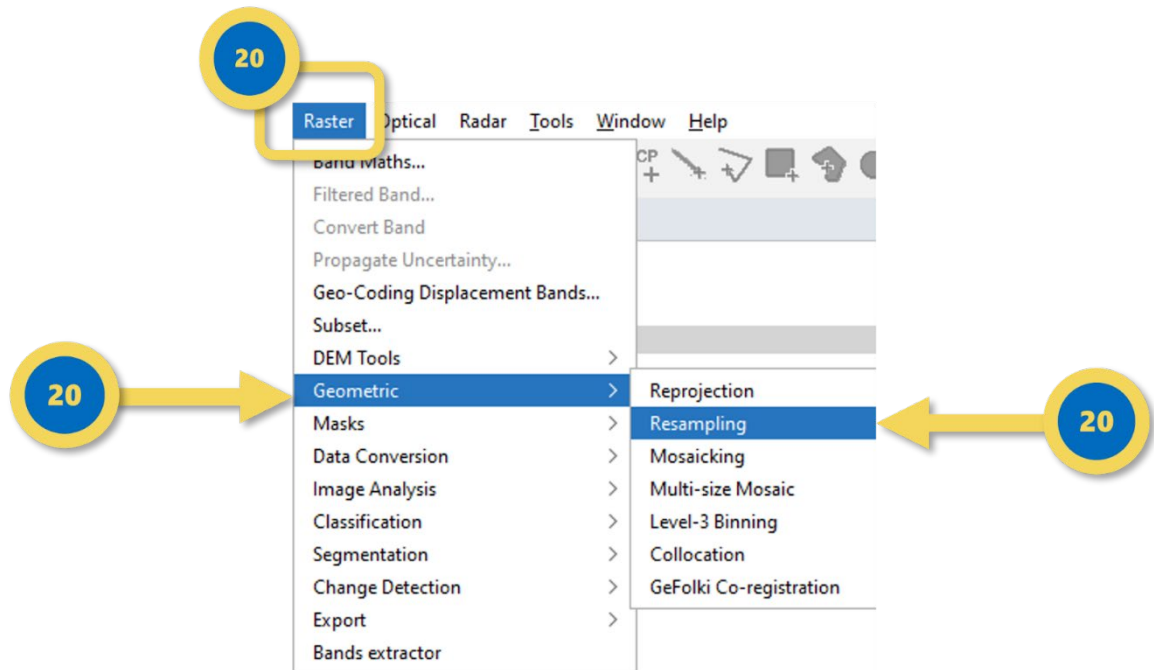


Abb. 24: Resampling.

21. Wähle in den *I/O-Parameters* das *Subset* von 2017 aus. Der aktuelle Schritt wird an den Namen des *Target Product* angehängt, du kannst ihn aber auch kürzen, bspw. zu *S2A_MSIL2A_20170428T030541_Zhoukou_20m*
22. Wähle in den *Resampling Parameters* unter *Define size of resampled product* neben *By reference band from source product B5* aus.
23. Wähle unter *Define resampling Algorithm* die *Downsampling Method Mean* aus. Klicke *Run*. Wiederhole das *Resampling* für das *Subset* von 2024.
24. Die Klassifikationsalgorithmen funktionieren nur für Szenen in der geographischen Lat/Lon-Projektion. Klicke auf *Raster, Geometric, Reprojection*. Abb. 23 über Resampling.
25. Wähle unter *I/O-Parameters* als *Source Product* das *resampelte Subset* aus. Auch hier wird der Prozessierungsschritt am Ende angehängt, was du bei Bedarf ändern kannst. Deaktiviere die Box *Save as*.
26. Stelle unter *Reprojection Parameters* à *Custom CRS* sicher, dass „*Geographic Lat/Lon (WGS 84)*“ eingestellt ist. Alle anderen Einstellungen können ebenfalls belassen werden. Klicke *Run*. Wiederhole die *Reprojection* für das *Subset* von 2024.
27. Öffne dann beide als *True Color Image* in *SNAP*.

28. Durch die Reprojektion sind die beiden Szenen nun „schief“. Bei der Klassifikation würden die leeren Ecken aber trotzdem mitklassifiziert. Um das zu verhindern, können sie abgeschnitten werden. Führe erneut mit beiden Szenen den *Subset*-Schritt durch, aber mit den Pixel *coordinates*:
- Scene start X*: 50
Scene start Y: 50
Scene end X: 1149
Scene end Y: 949
- Bands* und Metadaten bleiben diesmal gleich.
29. Wenn du beide Szenen erfolgreich zugeschnitten, *resampled*, *reprojected* und noch einmal zugeschnitten hast, speichere beide Szenen. Öffne die beiden Szenen als *True Color RGB*. Markiere alle anderen Versionen der Szenen im *Product Explorer*, klicke rechts darauf und *Close [X] products*. Sie brauchen nicht gespeichert zu werden. Dies gibt Arbeitsspeicher frei, der in den folgenden Schritten benötigt wird.

Klassifikation:

SNAP hat verschiedene Klassifikationsmethoden zur Auswahl. Es gibt die unüberwachte Klassifikation, bei der die Software selbst entscheidet, was zusammengehört, oder die überwachte Klassifikation, bei der Nutzer*innen vorgeben, was zusammengehört. Der Nachteil der unüberwachten Klassifikation ist, dass diese nicht vergleichbar ist. Zwischen den zwei Szenen können so grob unterschiedliche Klassifikationsergebnisse entstehen. Für den Vergleich zweier Zeitschnitte braucht es daher meist eine überwachte Klassifikation.

30. Für die überwachte Klassifikation braucht die Software Beispiele, was in welche Oberflächenklasse gehört, bspw. bebaute Fläche, Brachfläche, Vegetation und Wasser. Im Echtfarben-Satellitenbild sind diese nicht immer einfach zu unterscheiden. Alternativ zum Echtfarbenbild kannst du dir auch andere Spektralfarben zu Nutze machen, indem du bei der RGB-Anzeige ein anderes Profil auswählst, z.B. *Healthy Vegetation*, bei dem Pflanzen rot leuchten.

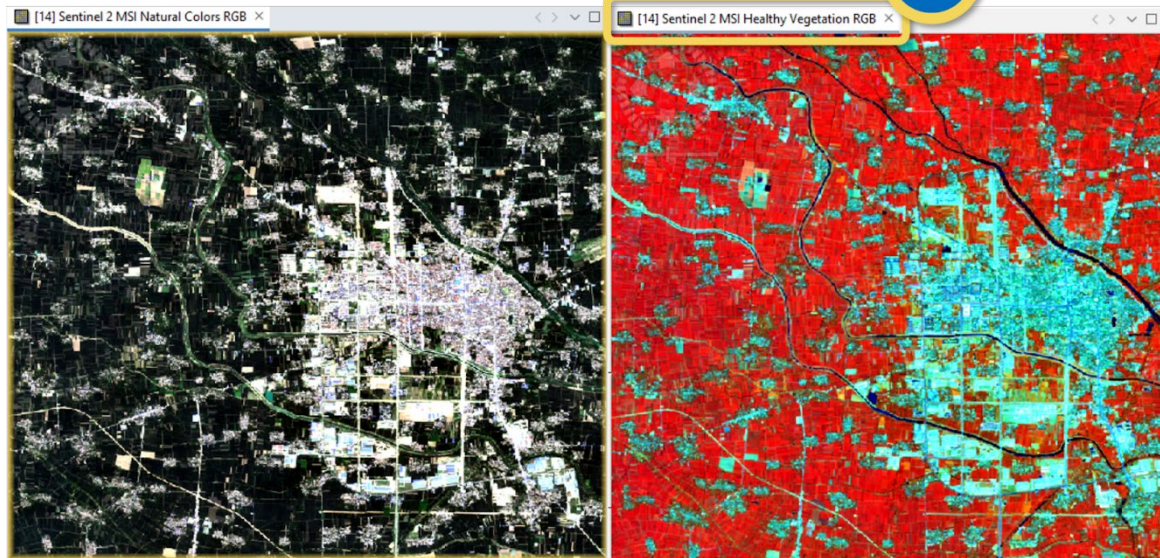


Abb. 25: Spektralfarbenbild.

31. Die Beispiele sollten keine Pixel einer anderen Klasse enthalten. Diese Beispiele werden als Vektoren angelegt. Klicke dazu in der Symbolleiste oben auf *New Vector Data Container* und gib ihm einen Namen.
32. Benutze die *Polygon-Buttons*, (à symbols) um für jede Klasse nacheinander kleine Beispielbereiche zu markieren. Ein paar hundert Pixel pro Klasse reichen schon. Fang erst eine neue Klasse an, wenn du mit deiner Auswahl für die vorherige Klasse zufrieden bist, denn das Umschalten zwischen Klassen ist in *SNAP* kompliziert.
33. Achte bei jeder Klasse darauf, dass du nur Beispielflächen benutzt, bei denen du dir absolut sicher bist, dass sie korrekt sind. Achte außerdem darauf, dass die Bereiche „rein“ bleiben, du also keine Bäume im Stadtviertel, keine Straßen in den Feldern, keine Boote im Wasser, und kein Grün in den Brachflächen aufnimmst.

Jeder Pixel zählt!

Tipps:

In China werden rote und blaue Dächer als glückbringend angesehen. Nimm sie in deine Stadt-Klasse mit auf, aber achte dabei auf dazwischenstehende Bäume. Große Industrieflächen eignen sich auch gut für die Stadtflächen.

34. Wenn du einige Beispielbereiche für alle vier Klassen hast (5-6 kleine Polygone pro Klasse reichen!), speichere die, indem du mit rechts darauf klickst und dann *Save Product* wählst.

35. Erstelle neue Beispielgebiete in der anderen Szene. Achte darauf, dass es die gleichen Klassen sind und sie in der gleichen Reihenfolge angelegt werden. Die Polygone selbst können mehr oder weniger an den gleichen Stellen sein, wie in der ersten Szene, aber nur, wenn sich dort wirklich nichts verändert hat.
36. Wenn beide Szenen mit ihren Beispielbereichen gespeichert sind, klicke auf *Raster, Classification, Supervised Classification, Random Forest Classifier*.

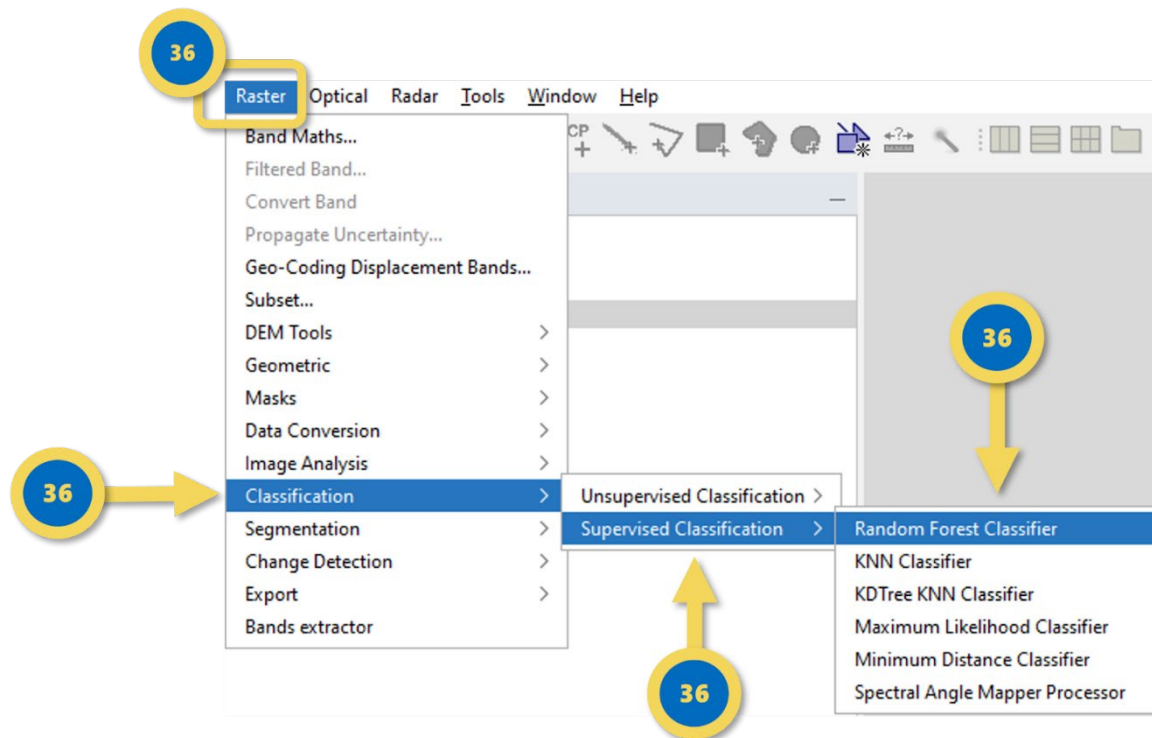


Abb. 26: Find classification.

37. Wähle im Fenster, das sich öffnet, über das große Plus die Szene, die du klassifizieren willst und navigiere zum reprojizierten Subset von 2017.
38. Gehe in den Tab zum Random Forest Classifier. Im Bereich *Classifier* kann die Number of training samples auf 1000 heruntergesetzt werden.
39. Wähle unter Vector Training alle Klassen aus, indem du die erste anklickst und dann mit gedrückter Shift-Taste auf die unterste Klasse klickst. Wiederhole das gleich bei der Feature Selection für die Bänder 2-12.

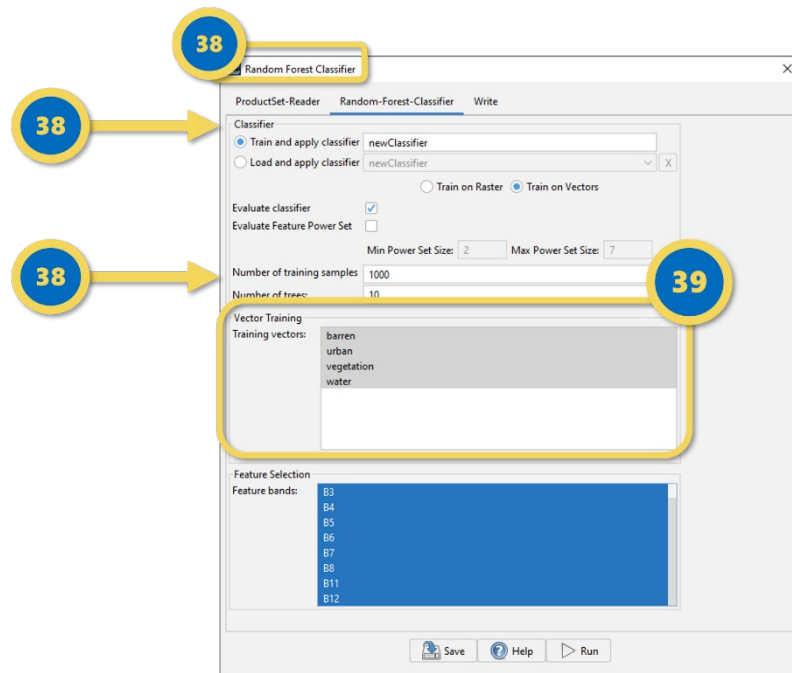


Abb. 27: Random Forest Classifier.

40. Geh auf den *Write-Tab* und kontrolliere, dass das *Target Product* einen auffindbaren Namen hat und in den richtigen Ordner (in dem auch die anderen Daten bereits liegen) geschrieben wird. Klick dann *Run*.
41. Wiederhole den gleichen Prozess für die andere Szene mit Beispielgebieten von 2024. Öffne dann bei beiden Dateien die *Labeled Classes* durch einen Doppelklick auf das Band im *Product Explorer*.
42. Unterhalb des *Product Explorers* sollte sich die *Colour Manipulation* befinden. Falls nicht, füge diese hinzu, indem du im Menü ganz oben unter *View* → *Tool Windows* → *Color Manipulation* klickst.
43. In der *Colour Manipulation* kannst du nun jeder Klasse eine passende Farbe geben, indem du auf das Farbfeld klickst. Du kannst eine der vorausgewählten Farben benutzen, oder auf *More* klicken und dir weitere Farben aussuchen, z. B. für Felder im RGB-Tab das Grün mit dem Color Code *00B400*.

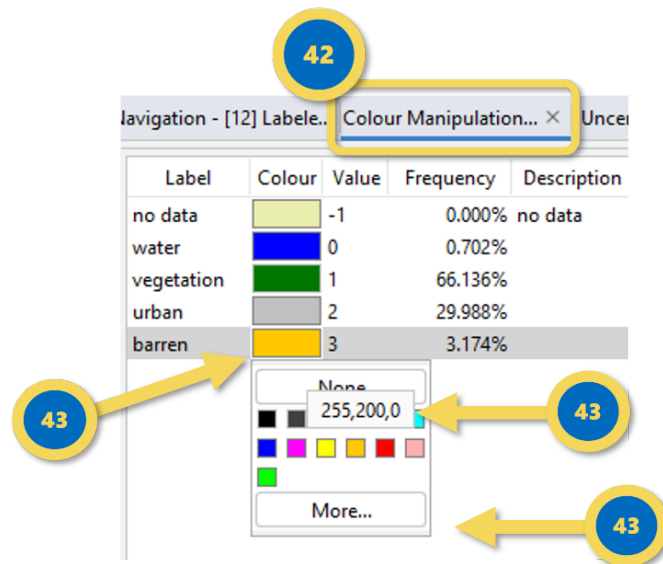


Abb. 28: Colour Manipulation.

44. Gib in beiden Szenen den gleichen Klassen die gleichen Farben.
45. Vergleiche die *Frequency* zwischen den beiden Szenen. Wie haben sich die Gesamtflächen der Felder und der Stadt in den 7 Jahren verändert?
46. Vergleiche die urbane Fläche zwischen 2017 und 2024 miteinander.

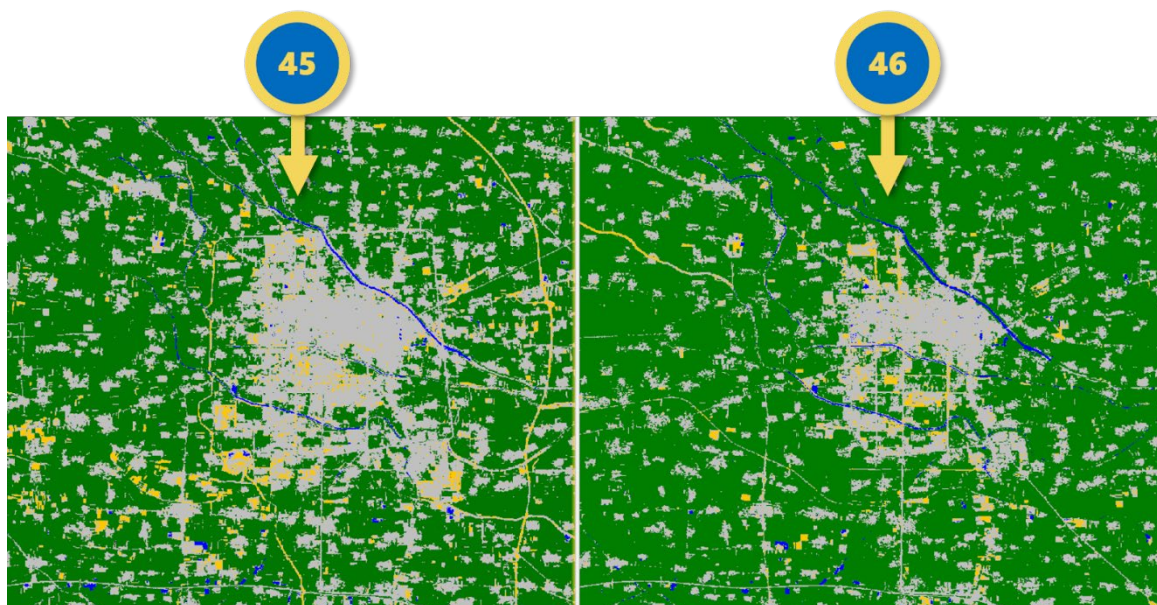






Abb. 29: Results.

Klassifikationsergebnis in unserem Beispiel:

Klasse	Farbe	Häufigkeit 2017	Häufigkeit 2024
Wasser		0,75%	0,7%
Vegetation		77,7%	66,1%
Urban		19,9%	30%
Brache		1,7%	3,2%

Zwischen April 2017 und 2024 wurden etwa 10% der untersuchten Fläche zugebaut. Die bebaute Fläche wuchs damit auf das eineinhalbfache. Gleichzeitig nahm die bepflanzte Fläche 11,5% weniger Platz im Untersuchungsgebiet ein. Der Anteil der Brachflächen verdoppelte sich fast von 1,7 auf 3,2%. Bei genauerem Hinsehen zeigt sich, dass in 2024 auch zahlreiche Felder im Südwesten der Szene brach liegen, die möglicherweise derzeit abgeerntet oder frisch bepflanzt sind, im Gegensatz zu den Brachflächen im Stadtbereich oder entlang langer, dünner Strecken, die vermutlich Baustellen sind. Der Anteil und die Verteilung der Wasserflächen hat sich nur geringfügig verändert und ist wahrscheinlich auf unterschiedliche Wasserstände in den Fließgewässern zurückzuführen.

Insgesamt wurden zwischen 2017 und 2024 etwa 10% des Untersuchungsgebiets von bepflanzter zu bebauter Fläche umgewandelt.

Hinweis: Für eine exakte wissenschaftliche Untersuchung wären hier noch weitere statistische Auswertungen notwendig, die jedoch ein eigenes Tutorial erfordern würden.

3.4.2 Beispiel Biologie – Fußball – Kunstrasen vs. Naturrasen

Der NDVI gibt uns Informationen darüber, wie gesund Pflanzen in einem Bereich sind. Diese Eigenschaften geben nicht zuletzt Informationen darüber preis, ob Pflanzen gesund sind oder nicht, sondern auch, ob sich im Interessengebiet tatsächlich echte Pflanzen befinden. Nicht immer ist dies ganz deutlich – manche Fußballfelder bestehen nicht aus Naturrasen sondern aus Kunstrasen, einem aus Kunststoff bestehenden, strapazierfähigen Ersatz-Material. In einem Echtfarben-Satellitenbild lässt sich der Unterschied jedoch kaum erkennen, da auch der Kunstrasen grün eingefärbt ist – und häufig ist er sogar deutlich grüner als der echte Rasen. Nutzt man jedoch den Vegetationsindex NDVI, wird deutlich, dass Naturrasen Licht im nahen Infrarot-Bereich stärker reflektiert als sein Ersatzprodukt.

Datenbeschaffung:

Sentinel-2 erfasst mit 13 Bändern das sichtbare- sowie das nahinfrarot- und infrarot-Spektrum. Mit Daten des Sentinel-2 Satelliten und genauer dessen rot- und nahinfrarot-Bandes kann der NDVI berechnet werden.

Dieser Vergleich von Echtfarben und NDVI lässt sich direkt im Dataspace Copernicus Browser durchführen. Hierzu nutzen wir die Datenabfrage und die interne Analyse der Online-Software.



Abb. 30: Echtfarben vs. NDVI-Bild.

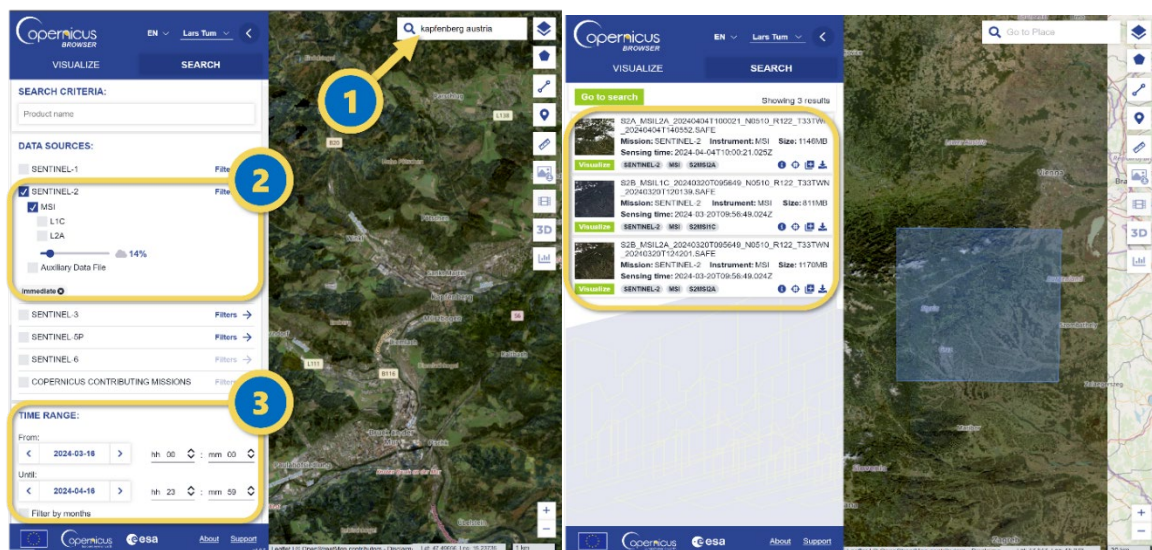


Abb. 31: Dataspace Copernicus Browser Satellitenbild-Abfrage.

1. Navigiere zu browser.dataspace.copernicus.eu und logge dich ein beziehungsweise registriere dich kostenlos auf der Seite, um alle Funktionen nutzen zu können.
2. Klicke auf das Suchfeld oben rechts und gib „Kapfenberg Austria“ ein
3. Klicke auf SEARCH, um die Satellitenabfrage zu spezifizieren

4. Wähle Sentinel-2 aus sowie eine geringe Wolkenbedeckung (ca. 15%). Wähle eine angemessen lange Time Range, um genügend Tage/Satelliten-Aufnahmen mit geringer Wolkenbedeckung zur Verfügung zu haben (Abb. 30).
5. Klicke auf Suchen
6. Wähle eins der Ergebnisse aus, indem du auf „Visualize“ klickst oder passe deine Suchkriterien ggf. an.
7. Sobald das Satellitenbild visualisiert wurde (dies kann etwas dauern), wähle unter „Layers“ NDVI aus.
8. Klicke auf „Add to“ und schließlich auf „Add to Compare“
9. Führe Schritt 7 und 8 auch für den Layer „True Color“ aus.

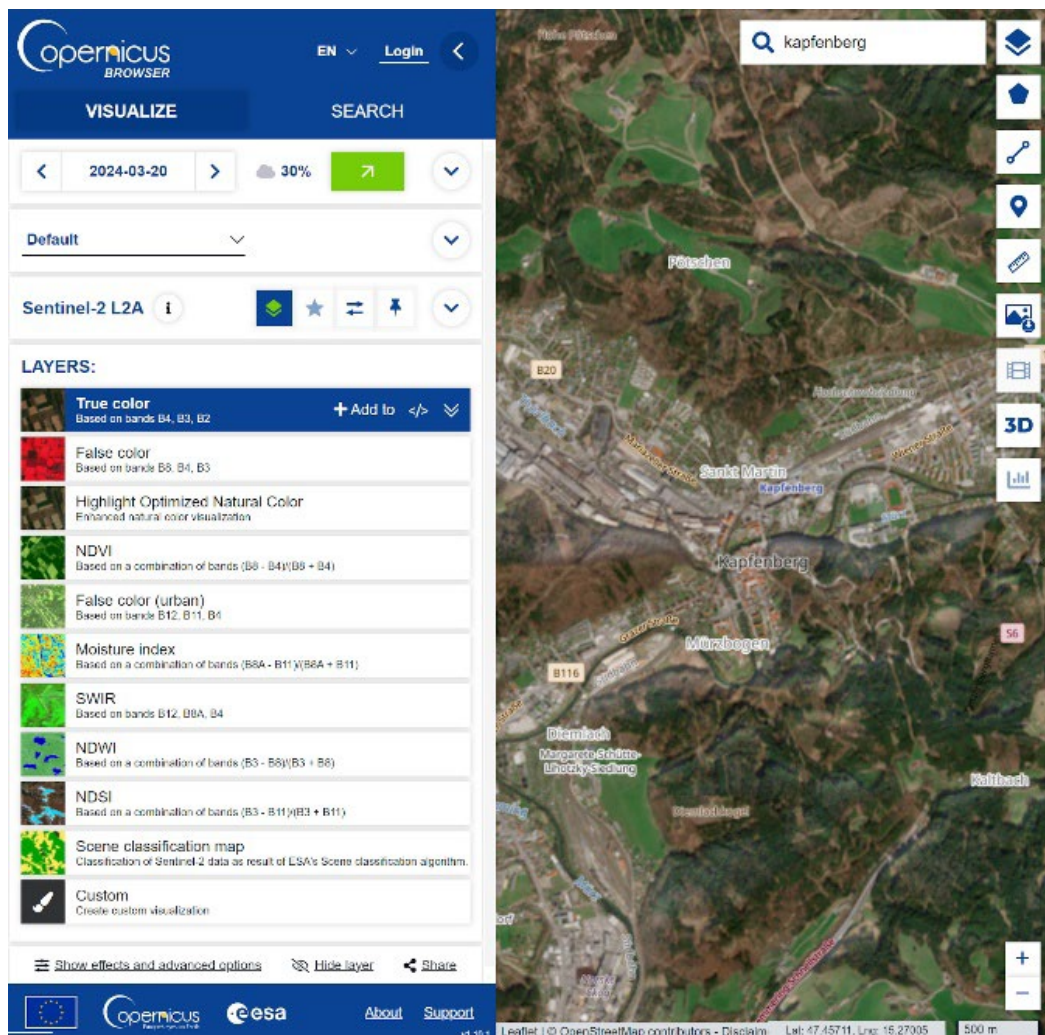


Abb. 32: Layerauswahl Dataspace Copernicus Browser.

10. Klicke nun auf das „Compare Panel“, den Button mit zwei horizontalen Pfeilen.
11. Nun kannst du mithilfe der Schieberegler die Ansicht so einstellen, dass du den NDVI direkt im Vergleich zu dem True Color Image betrachten kannst.

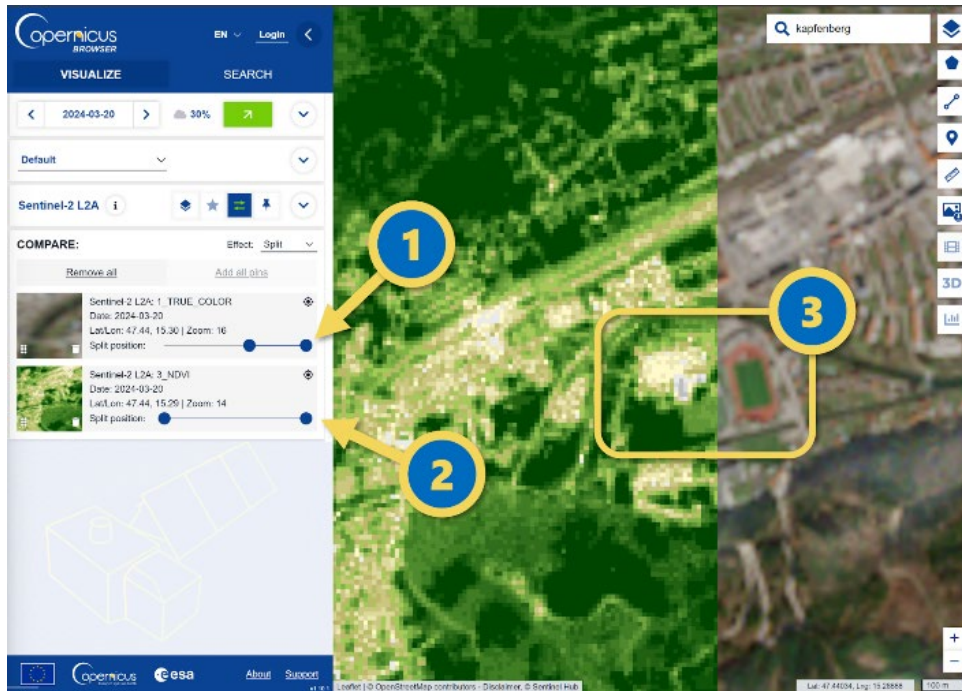


Abb. 33: Vergleichsansicht Dataspace Copernicus Browser.

12. Klicke auf das Symbol mit dem Bild und dem Pfeil, um das dargestellte Bild herunterzuladen.

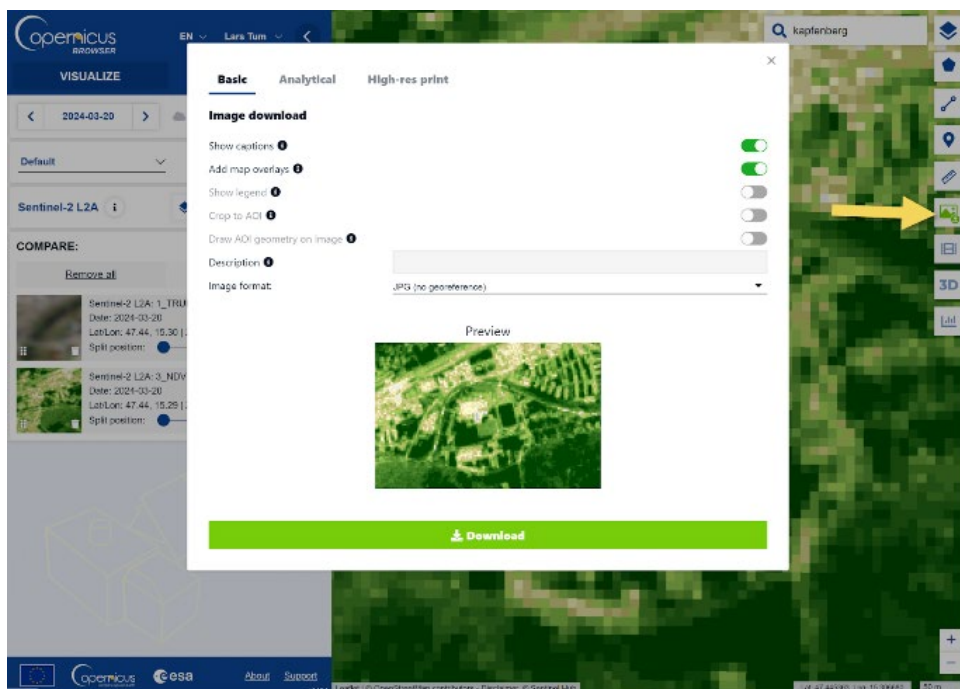


Abb. 34: Download-Funktion Dataspace Copernicus Browser.

3.4.3 Beispiel Geographie – Hitze in Spanien

Lade die Daten vom Copernicus Browser herunter:

1. Geh auf <https://dataspace.copernicus.eu/> und halte den Mauszeiger oben in der Mitte über *Explore Data*. Klicke auf *Copernicus Browser* im pop-up Menü.
2. Registriere dich oder logge dich im Copernicus Browser ein (es ist kostenlos und werbefrei!)
3. Klicke in der linken oberen Ecke auf den *SUCHEN*-Tab, um zum Download-Bereich zu kommen.
4. Klicke in der oberen rechten Ecke in das *Go to Place*-Feld und tippe *Madrid* ein.
5. Klicke auf eine der Madrid-Optionen in Spanien. Das Fenster sollte sich nun nach Spanien bewegen. Zoome näher in die Mitte des Landes, bis Madrid den Großteil des Bildschirms einnimmt.
6. Aktiviere im Menü Links unter *Datensets Sentinel-3*, im Untermenü *SLSTR* (dies ist der thermale Infrarotsensor), und dann *Level-2 LST* für die Landoberflächentemperatur (Land Surface Temperature)
7. Um die Suche weiter einzugrenzen, klicke auf die „Filter“ neben Sentinel-3 und aktiviere „*Non Time Critical*“ und „*Descending*“, um nur Tagesbilder zu bekommen.

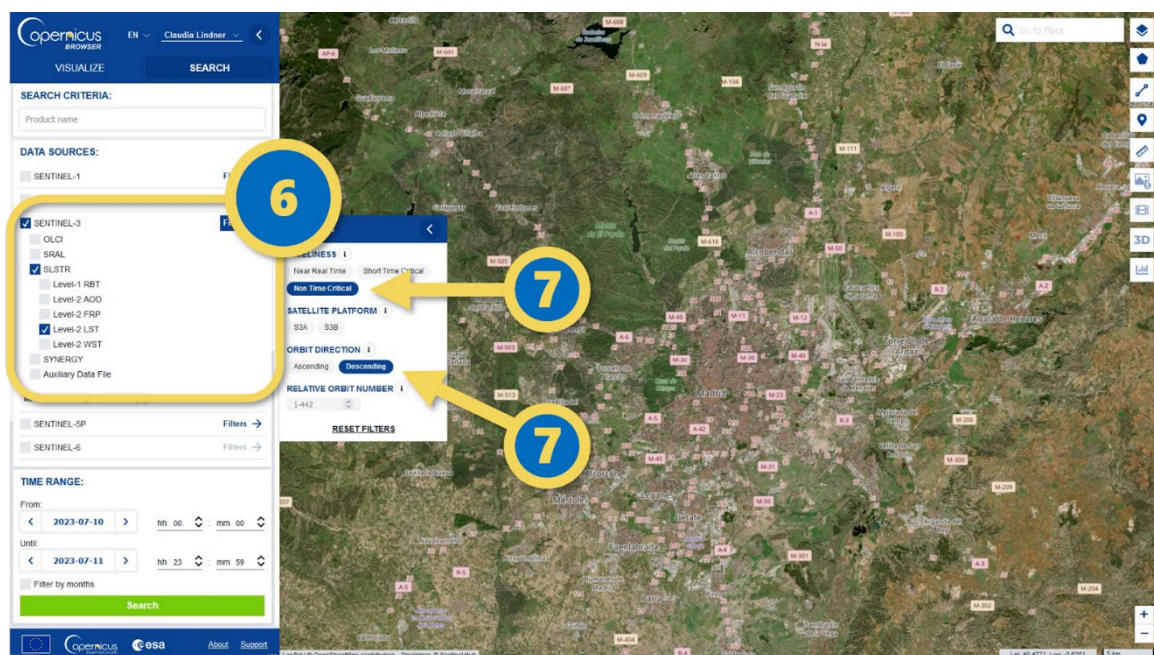


Abb. 35: Auswahl der Datensätze und Filter Tagesbilder.

8. Wähle den Zeitraum vom 10.-11. Juli 2023, also *Von 2023-07-10 Bis 2023-09-11* aus und klicke auf *Suche*.

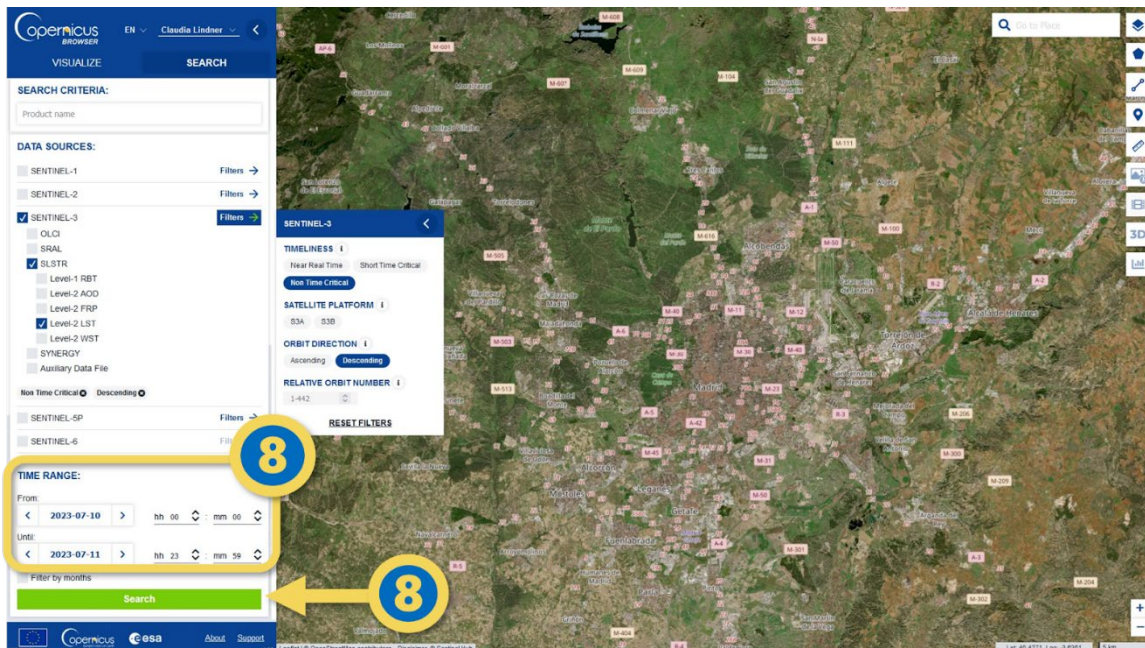


Abb. 36: Auswahl des Zeitraumes.

9. Eine Liste von Ergebnissen der Suche sollte angezeigt werden, die sich mit dem Ort im Zoom überschneiden. Wenn du nun heraus zoomst, kannst du die Abdeckung der Szenen genauer sehen. Einige Szenen decken Spanien besser ab als andere. Die Grenzen zwischen einzelnen Szenen schneiden Spanien mitten durch. Wenn Spanien nicht komplett abgedeckt wird, zoome ein wenig nach Norden oder Süden und wiederhole die Suche.
10. Klicke auf eine der Szenen an einer Stelle, an der es keine Überlappung mit anderen Szenen gibt und schau dir das Vorschaubild an. Versuche zu erkennen, was abgebildet ist und was die Farben bedeuten. Wenn du genau hinschaust, erkennst du einige Wolken im Bild vom 11. Juli.
11. Lade die beiden Szenen herunter: `S3B_SL_2_LST___20230710T103317...` und `S3B_SL_2_LST___20230710T103017...`



Abb. 37: Herunterladen der Szenen.

12. Entzippe die beiden Dateien in deinen Arbeitsordner.

Erkunde die Bilder in SNAP:

13. Starte SNAP.

14. Klicke auf das Ordner-Symbol, um die Dateien zu öffnen. Navigiere zum Ordner, in dem sie entpackt wurden und klicke innerhalb der *.SEN3-Ordner* jeweils auf *xfdumanifest.xml*.

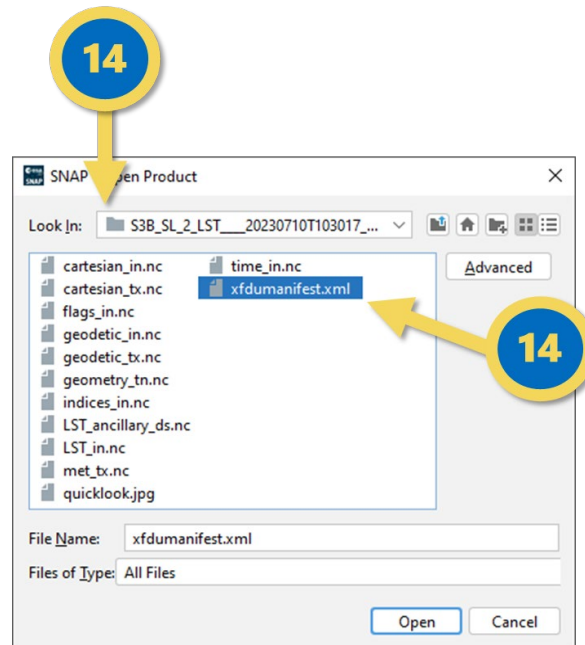


Abb. 38: Öffnen der Dateien.

15. Klick auf das kleine + neben dem Dateinamen, um die Inhalte anzusehen. Klick dann auf das kleine + neben *Bands*. Doppelklicke auf *LST*, um das Bild zu öffnen.

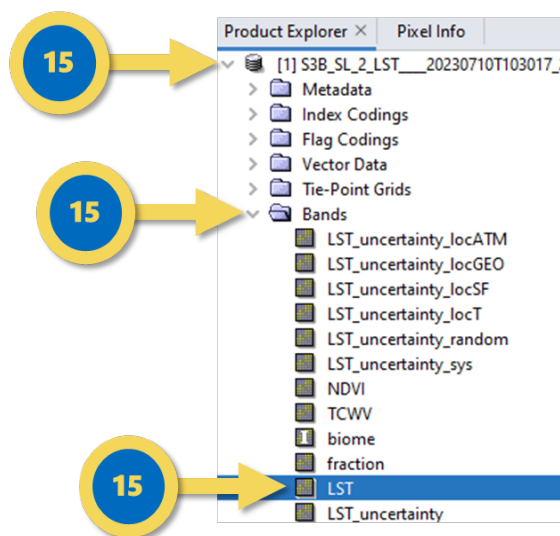


Abb. 39: Öffnen des Bildes.

16. Das Bild erscheint in schwarz-weiss und deckt nur die Hälfte unseres Untersuchungsgebiets ab, das wird in Kürze behandelt.
17. Unterhalb des *Product Explorer* sollte sich ein *Tab Colour Manipulation* befinden. Falls nicht, kannst du diese im *View Tab* ganz oben aktivieren. In der *Colour Manipulation* kannst du zwischen vielen verschiedenen Paletten wählen. Suche eine heraus, die zur Temperatur passt, z. B. *5_colors*.
18. Sieh dir die Spannweite der Werte an. Es fällt auf, dass sie alle um etwa 300 herum verteilt sind. Das liegt daran, dass die *LST* in Kelvin dargestellt wird, also ab dem absoluten Nullpunkt bei $-273,15^{\circ}$ Celsius. Auch das wird nun angepasst.

Füge die Ausschnitte zusammen und passe das Mosaik an:

19. Klicke auf den *Raster* Tab oben, dann halte die Maus über *Geometric* und klicke dann auf *Mosaicking* im letzten Untermenü.

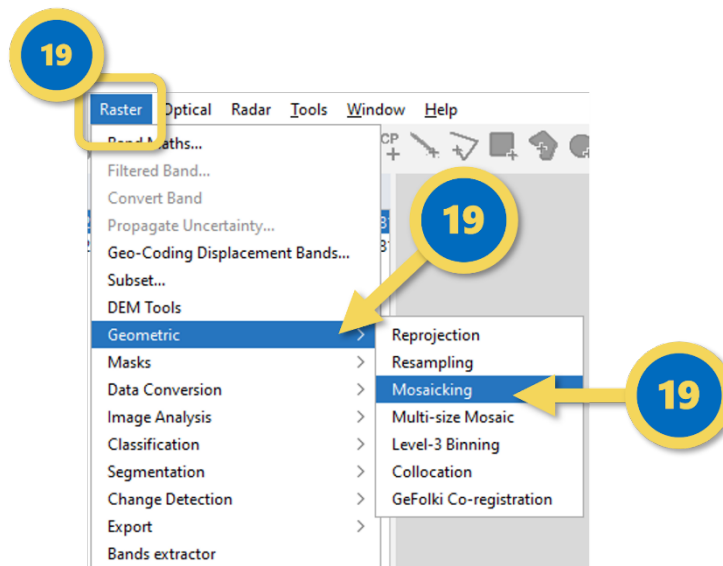


Abb. 40: Auswahl des Rasters.

20. Im *I/O Parameters Tab* kannst du die beiden Szenen hinzufügen, indem du auf das kleine + klickst und dann das gleiche wiederholst, wie um sie zu öffnen.
21. Stell sicher, dass das *Update Target Product* NICHT aktiviert ist. Gib dem neuen Mosaik einen aussagekräftigen Namen, an dem du später erkennst, was dort zu sehen ist und wann die Aufnahme wie gemacht wurde, z. B. *IberianPeninsula_S3_LST_20230710T2023103317*
22. Um den Ordner auszuwählen, in den das Mosaik gespeichert wird, klicke auf die 3 Punkte rechts und navigier zu dem Ordner, in dem auch die beiden Rohszenen liegen.
23. Geh zum *Map Projection Definition Tab* und dort zum *Coordinate Reference System (CRS)*. Ändere die Projektion auf *UTM / WGS 84 (Automatic)*.

24. Etwas tiefer findest du die *Mosaic Bounds*. Für dieses Beispiel ist nur die Iberische Halbinsel von Interesse, also kann das Mosaik darauf zugeschnitten werden. Auf der Karte im *Tab* kannst du über den Button mit dem Pfeil auf die Lupe auf das Ausmaß der aktuellen Szenen zoomen.
25. Zieh entweder die roten Grenzen so, dass sie nur das Untersuchungsgebiet umschließen, oder gib in die Felder ein, z. B.:
 West: -10° East: 3.5°
 North: 44.5° South: 35.5°
 Die Pixel Size kann bei 1000 m bleiben.

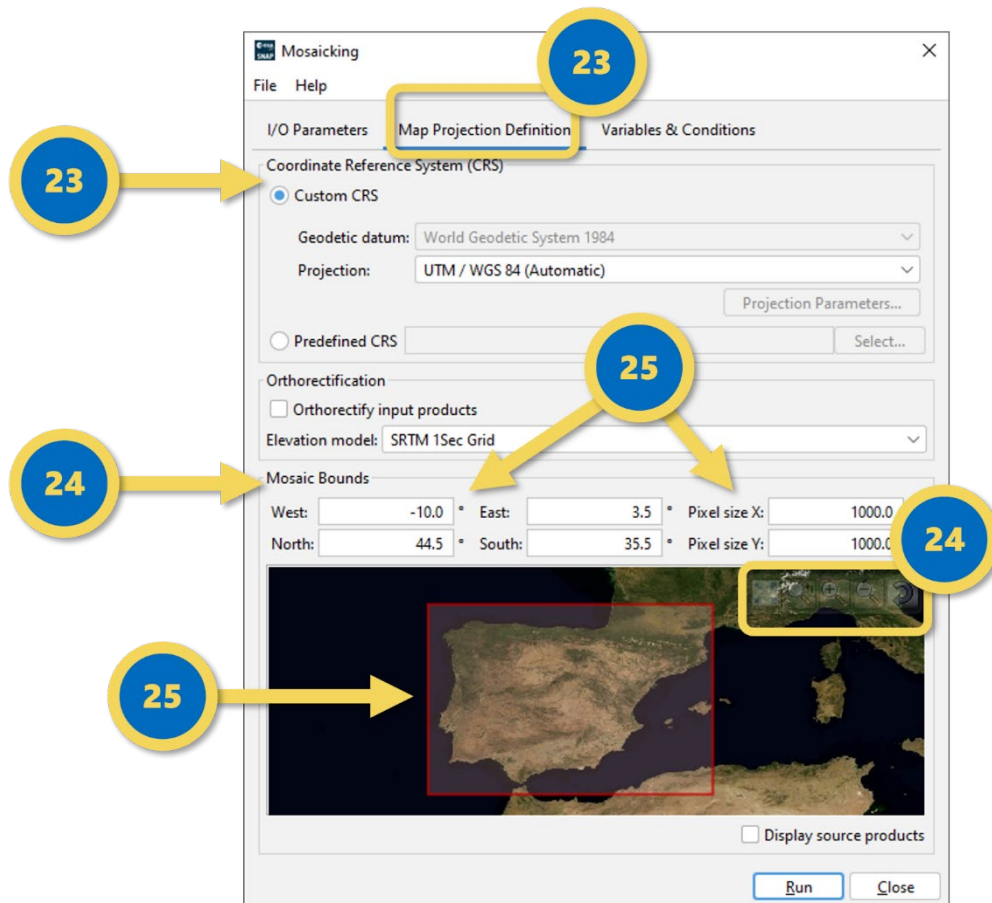


Abb. 41: Mosaicking.

26. Wechsle zum *Variables & Conditions* Tab. Öffne den *Variables Band choser*, indem du auf das kleine Dokument-Symbol klickst.
27. Für dieses Beispiel werden nur die LST und der NDVI gebraucht, allerdings muss die LST noch auf Celsius umgerechnet werden. Aktiviere daher nur den NDVI von allen Boxen und klicke dann OK.
28. Um die LST anzupassen, klicke auf das kleine + unter *Variables*.
29. Eine neue Variable wird hinzugefügt. Klicke in das Namens-Feld und benenne die Variable um, z. B. in *LSTinCelsius*.
30. Doppel-klick auf das Feld daneben unter *Expression*. Ein neues Fenster erscheint. Tippe in das Expression field: *LST – 273.15* und klicke dann OK.

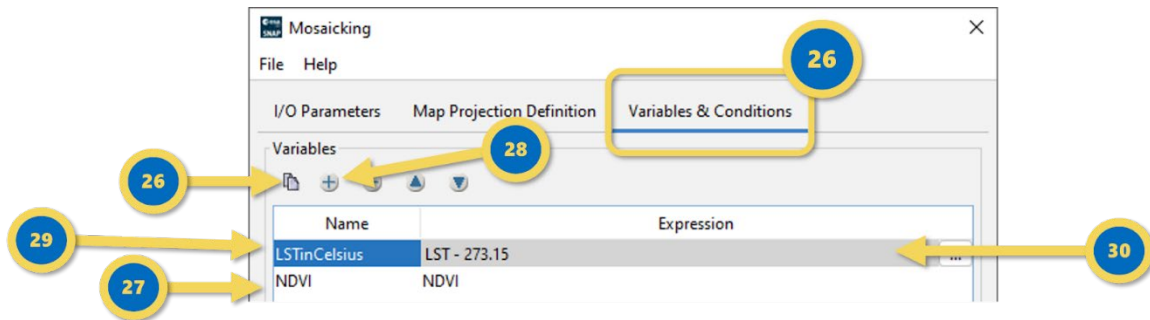


Abb. 42: Mosaicking.

31. Klicke *Run*.
32. Da nur ein Ausschnitt der beiden Szenen und nur zwei Bänder ausgewählt wurden, sollte die Verarbeitung nur wenige Sekunden dauern. Klicke im Fenster, das darüber informiert, dass die Verarbeitung abgeschlossen und die Datei in SNAP geöffnet wurde, mit *OK* weg.

Visualisiere die Daten:

33. Öffne das LST-Bild im Mosaik. Es sollte sich als schwarz-weiß-Bild öffnen. Stell erneut eine angemessene Farbpalette ein, z. B. *5_colors*.
34. Es gibt kein fertiges Temperatur-Farbschema in SNAP, aber die vorhandenen Schemata können angepasst werden. Wechsle dazu von der *Basic* in die *Sliders* Einstellung.
35. Die kleinen Dreiecke können an andere Stelle gezogen, mit Rechtsklick umgefärbt, oder entfernt werden. Mit einem Klick in die Werte unterhalb können diese auch per Tastatur angepasst werden. Passe die Farbpalette an, wie du es sinnvoll findest, z. B. wie im folgenden Bild:

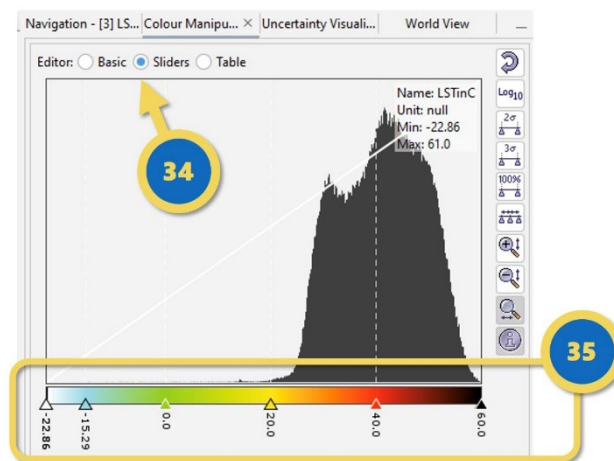


Abb. 43: Anpassung der Schemata.

36. Öffne das NDVI-Bild. Auch dieses ist zunächst schwarz-weiß. Die *meris_veg_index*-Palette eignet sich gut für den NDVI. Wähle sie unter *Basic* aus und wechsle dann zu *Sliders*.

37. Ein hoher NDVI (0,6-0,8) zeigt dichte Wälder an, mittlere Werte (0,2-0,3) schwach bewachsene Flächen wie Gras- und Buschland bzw. kranke Vegetation, sehr niedrige Werte (0-0,1) zeigen unbewachsene Flächen wie Steine, nackten Boden oder bebaute Flächen und negative Werte (< 0) zeigen Wasserflächen an.

Passe die *Slider* dementsprechend an und achte dabei darauf, dass im Englischen Punkt statt Komma gesetzt wird, z. B. wie im folgenden Bild:

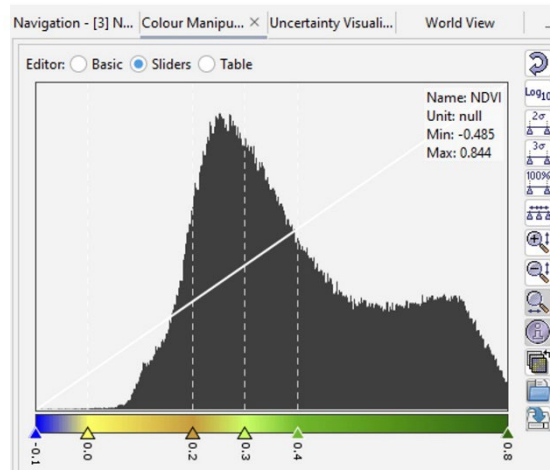


Abb. 44: NDVI-Werte.

38. Klicke auf das *Tile horizontally*, horizontal aufteilen, Symbol in der Symbolleiste:

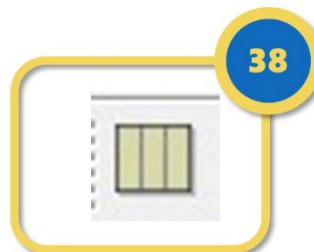


Abb. 45: Symbol 'Tile horizontally'.

Jetzt kannst du die beiden Bilder nebeneinander vergleichen und die Auswirkung erkennen, die die Vegetation auf die Bodentemperatur hat.

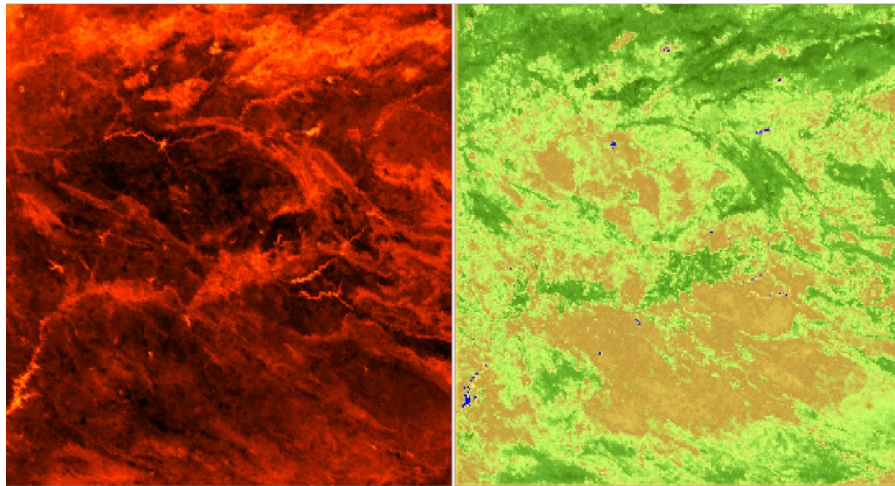


Abb. 46: Satellitenbilder, Vegetation und Bodentemperatur im Vergleich.

39. Finde oder aktiviere den *Navigation Tab* in der Nähe der *Colour Manipulation*. Hier kannst du die Ansichten und den Mauszeiger synchronisieren.

3.4.4. Beispiel Physik – Suez-Kanal

1. Geh auf <https://dataspace.copernicus.eu/> und halte den Mauszeiger oben in der Mitte über *Explore Data*. Klicke auf *Copernicus Browser* im pop-up Menü.
2. Registriere dich oder logge dich im Copernicus Browser ein (es ist kostenlos und werbefrei!)
3. Klicke in der oberen rechten Ecke in das *Go to Place*-Feld und tippe *Suez* ein.
4. Klicke auf *Suez, Ägypten*. Das Fenster sollte sich nun nach Ägypten bewegen.

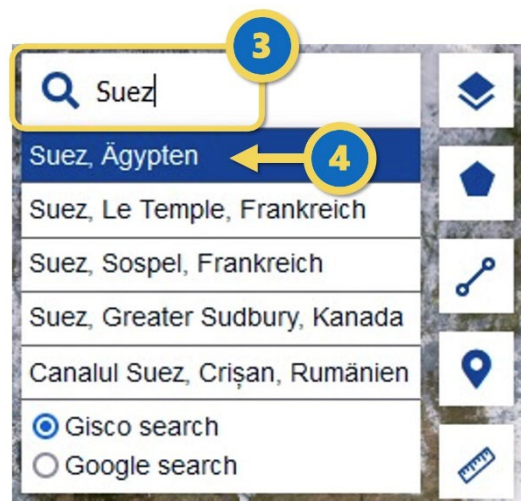


Abb. 47: Auswahl des Interessengebietes Suez, Ägypten.

5. Aktiviere im Menü Links unter Datensets Sentinel-1 und im Untermenü C-SAR Level-1 GRD.

VISUALIZE **SEARCH**

SEARCH CRITERIA:

Product name

DATA SOURCES:

☒ SENTINEL-1

☒ C-SAR

☐ Level-0 RAW

☐ Level-1 SLC

☒ Level-1 GRD

☐ Level-1 GRD COG

☐ Level-2 OCN

☐ ETAD

☐ Auxiliary Data File

Immediate

SENTINEL-2 Filters →

SENTINEL-3 Filters →

SENTINEL-5P Filters →

SENTINEL-6 Filters →

Abb. 48: Aktivieren der Datensets.

- Wähle als Zeitraum den 21. bis 27. März 2021, also *Von 2021-03-21 Bis 2021-03-27* aus und klicke auf *Suche*.

TIME RANGE:

From: hh 00 mm 00

Until: hh 23 mm 59

March 2021

Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
28	1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	1	2	3

Filter by months

Search

Abb. 49: Auswahl des Zeitraumes.

- Fünf Ergebnisse sollten angezeigt werden. Lade nur die mit den Aufnahmezeitpunkten *2021-03-27T03:44:10.127Z* und *2021-03-27T03:44:49.598Z* herunter (erstes und letztes in der Liste).



Abb. 50: Herunterladen der Aufnahmezeitpunkte.

8. Entzippe die beiden Dateien in deinen Arbeitsordner.
9. Starte SNAP.
10. Klicke auf das Ordner-Symbol, um die Dateien zu öffnen. Navigiere zum Ordner, in dem sie entpackt wurden, und innerhalb der Dateien jeweils auf *manifest.safe*.

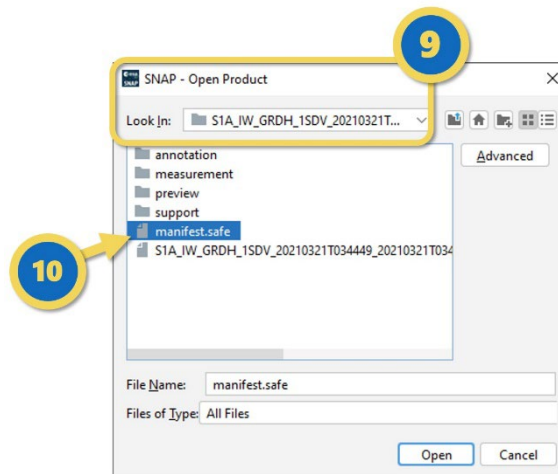


Abb. 51: Öffnen der Datei auf SNAP.

11. In den Einstellungen für die *Collocation*, wähle als *Master* die erste Datei vom 21. März aus und als *Slave* die andere Datei vom 27. März.

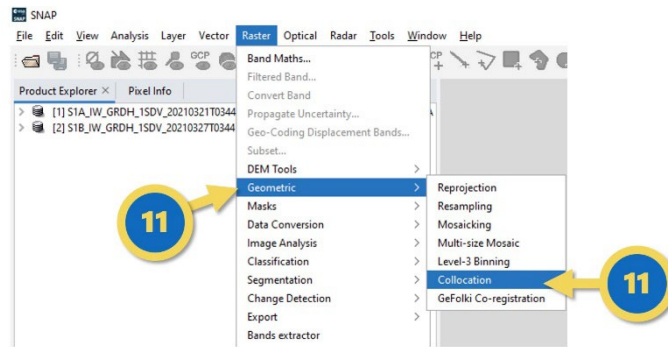


Abb. 52: Auswählen der Datei.

12. Benenne das *Target Product* um, zum Beispiel in *S1_EgyptMarch2021_comparison*.
13. Wähle einen Ordner aus, in dem das Zielprodukt gespeichert werden soll, zum Beispiel den Ordner, in dem die entpackten Dateien liegen.
14. Passe die Umbenennung der *Source Product Components* an, zum Beispiel, in dem nach $\{ORIGINAL_NAME\}$ das jeweilige Datum und *vorher* oder *nachher* steht.
15. Lass alle anderen Einstellungen, wie sie sind, und klicke auf *Run*.

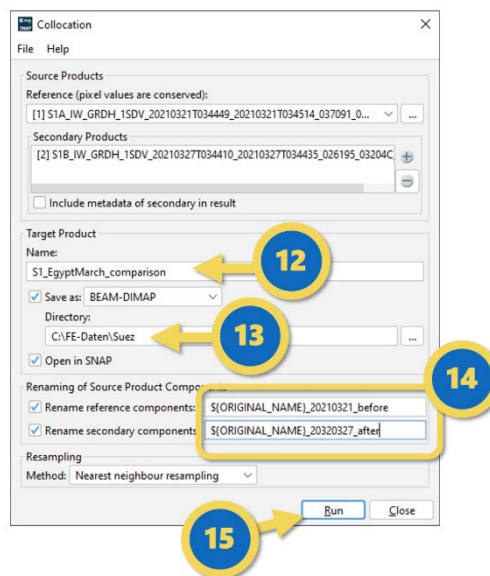


Abb. 53: Einstellungen für die Collocation.

16. Nachdem die neue Datei im *Product Explorer* erschienen ist, mach einen Rechtsklick darauf und klicke dann auf *Open RGB image Window*.

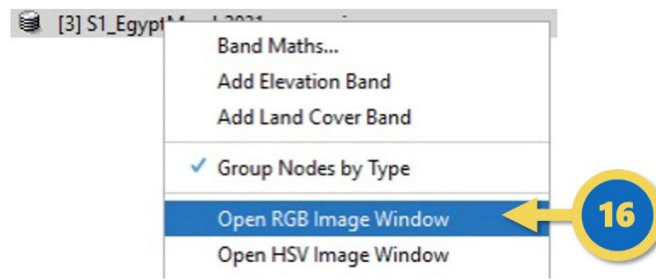


Abb. 54: Öffnen der Datei.

17. Wähle im RGB-Fenster die *Intensity_VH* einmal (auf Rot) für das frühere Datum und zweimal! (auf grün und blau) für das spätere Datum aus.

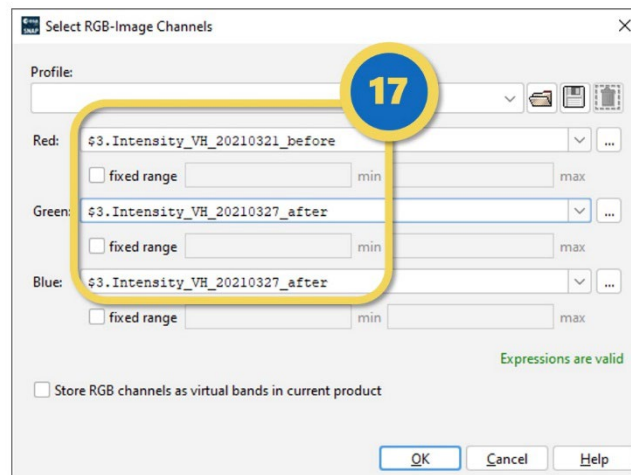


Abb. 55: *Intensity_VH* Einstellungen.

18. Klicke auf OK.
19. Zoome im Bild auf den rechten, schwarzen Bereich.
20. In diesem schwarzen Bereich, dem Roten Meer, sind nun viele helle Schiffe zu erkennen. Die roten waren am 21. März dort, die türkisen am 27. Am 27. Steckt ein einzelnes Schiff schief im Suez-Kanal, durch den die Schiffe sonst in regelmäßigen Abständen fahren. Darum hat sich am 27. Ein langer Stau vor dem Kanal gebildet.

3.5 Sentinel-Daten im Informatikunterricht

Im Zuge der Globalisierung nimmt die Erdbeobachtung immer mehr an Bedeutung zu. Jeden Tag sammeln Satelliten immense Datenmengen, um Informationen für verschiedenste Anwendungsgebiete zu sammeln. Allein im Rahmen des Copernicus-Programms werden täglich etwa 12 TB Daten produziert. Damit ist das Copernicus-Programm der drittgrößte Datenanbieter der Welt. Um diese Datenmengen

verwalten und verarbeiten zu können, braucht es Informatiker und Informatikerinnen aus den verschiedensten Vertiefungsrichtungen.

Dieses Kapitel dient als Leitfaden für die Vermittlung verschiedener theoretischer und praktischer Grundlagen aus dem Bereich der Programmierung. So wird den Schüler*innen unter anderem die Bedeutung der Begriffe Integrated Development Enviroment (IDE), Interface und Application Programming Interface (API) vermittelt. Die Schüler*innen generieren GeoJSON-Dateien und vergegenwärtigen sich ihrer Funktion und ihrem Aufbau. Darüber hinaus erlernen sie die Programmierung einer Python API mit Hilfe einer IDE, um Satellitendaten von den Copernicus-Servern abzufragen und herunterzuladen.

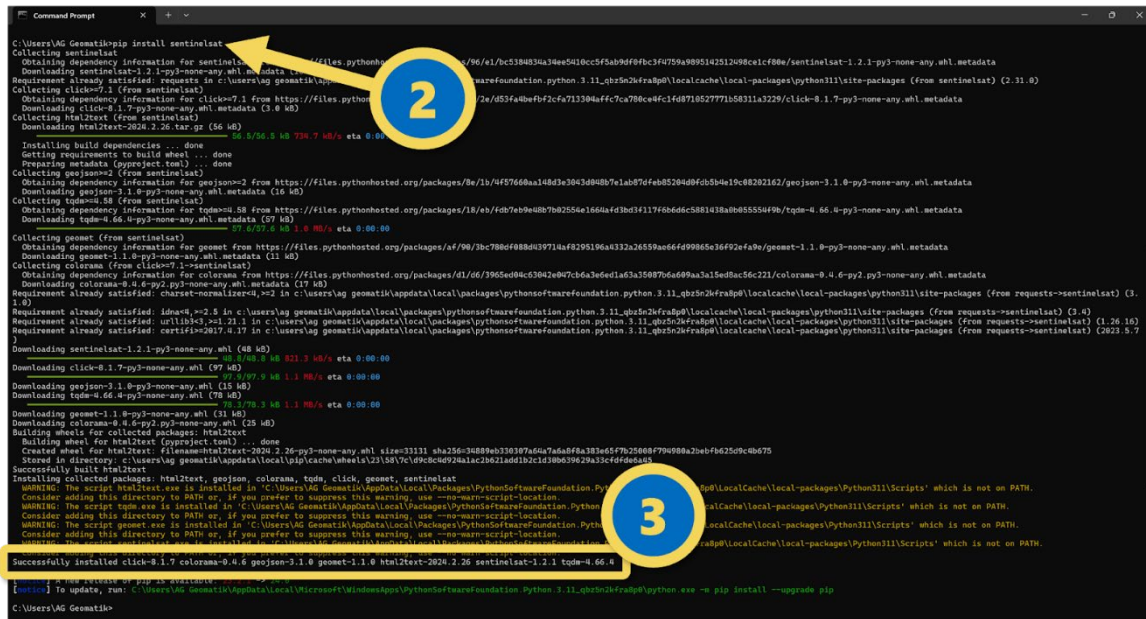
Insbesondere beim Anwendersegment ist eine möglichst weit automatisierte Datenverarbeitung der Datenmassen gefragt. Um dies zu ermöglichen, werden unter anderem sogenannte APIs verwendet. Eine API stellt eine Programmierschnittstelle dar, mit welcher es möglich ist, Daten zwischen Programmen oder ganzen Modulen standardisiert auszutauschen. Um die Programmierung solcher APIs zu vereinfachen, werden IDEs verwendet. Sie zeichnen sich durch eine Nutzeroberfläche aus, welche alle notwendigen Tools und Funktionen für die Programmierung in verschiedensten Sprachen beinhaltet. Zu diesen Funktionen und Tools gehören zum Beispiel die Quelltextformatierung oder ein Debugger.

Weitere Lehrmaterialien für das Fach Informatik finden Sie auch auf den Webseiten <http://www.esero.de/> und <http://fis.rub.de/>. FIS bietet unter anderem ein interaktives Lernmodul zum Thema Spalten und Zeilen bei Rasterdaten, dem Binärcode und der Bittiefe eines Bildes.

ESERO Germany bietet eine Vielzahl verschiedener Unterrichtsmaterialien für den Informatikunterricht an. Die Zielgruppe reicht dabei von der Altersgruppe 8 bis 20. Die Inhalte erstrecken sich von der computerlosen Konzeptvermittlung zur Navigation eines Roboters bis hin zur Programmierung einer Messstation basierend auf einem ARDUINO mit C++. Mit Hilfe der QR-Codes gelangen Sie direkt zu den Lehrmaterialien.

3.5.1 Nutzung einer Python API

Damit die Programmierung der Python API funktioniert, muss Python mit der Version 2.7 oder 3.4 und höher auf dem PC installiert sein. Bei der Installation muss die Option, das Paketverwaltungsprogramm „pip“ zu verwenden, aktiviert sein. Des Weiteren muss „Sentinelsat“ mit Hilfe von „pip“ über die Eingabeaufforderung (cmd.exe) installiert werden. Mehr Informationen zu Sentinelsat, der Installation und weiterführende Syntax finden Sie unter <https://sentinelsat.readthedocs.io/>.



```
C:\Users\AG Geomatics> pip install sentinelat
Collecting sentinelat
  Obtaining dependency information for sentinelat from https://files.pythonhosted.org/packages/4f/96/e1/3c5384834a4ee5410cc5f5ab9d9f8bc3f4759a9895142512098c1cf88e/sentinelat-1.2.1-py3-none-any.whl.metadata
  Downloading sentinelat-1.2.1-py3-none-any.whl.metadata (11 kB)
Requirement already satisfied: requests in c:\users\ag geomatics\appdata\local\packages\pythonsoftwarefoundation.python.3.11_qbz5n2kfra8p0\localcache\local-packages\python311\site-packages (from sentinelat) (2.31.0)
Collecting click==7.1 (from sentinelat)
  Obtaining dependency information for click==7.1 from https://files.pythonhosted.org/packages/2a/d5/3f44be4fb72cf4713304affc7ca780ce4fc1fd871852777150311a3229/click-8.1.7-py3-none-any.whl.metadata
  Downloading click-8.1.7-py3-none-any.whl.metadata (3.0 kB)
Collecting tqdm==4.6 (from sentinelat)
  Downloading tqdm-4.6.0-py3-none-any.whl.metadata (57 kB)
Collecting html2text==2020.2.26.tar.gz (56 kB)
  Downloading html2text-2020.2.26.tar.gz (56 kB)
  Installing build dependencies ... done
  Getting requirements to build wheel ... done
  Preparing metadata (pyproject.toml) ... done
Collecting geojson==2 (from sentinelat)
  Obtaining dependency information for geojson==2 from https://files.pythonhosted.org/packages/8e/1b/4f57666a148d3e3043d948b7e1ab87dfe85294d8fcb54e19c88282162/geojson-3.1.0-py3-none-any.whl.metadata
  Downloading geojson-3.1.0-py3-none-any.whl.metadata (10 kB)
Collecting tqdm==4.6 (from sentinelat)
  Obtaining dependency information for tqdm==4.6 from https://files.pythonhosted.org/packages/18/eb/fdb7eb9e48b7b02556e1664af43bd3f117f6b6dc5881438a0b85554f96/tqdm-4.66.0-py3-none-any.whl.metadata
  Downloading tqdm-4.66.0-py3-none-any.whl.metadata (57 kB)
Collecting geopandas (from sentinelat)
  Obtaining dependency information for geopandas from https://files.pythonhosted.org/packages/af/90/3bc788d488d439714af8295196a4332a26559ae6df99865e36f92efaf9/geopandas-1.1.0-py3-none-any.whl.metadata
  Downloading geopandas-1.1.0-py3-none-any.whl.metadata (11 kB)
Collecting colorama (from sentinelat)
  Obtaining dependency information for colorama from https://files.pythonhosted.org/packages/d1/d6/7365e094c53042e047cb6a3e6ed1a63a35087b6d699aa3a15ed8ac56c221/colorama-0.4.6-py2.py3-none-any.whl.metadata
  Downloading colorama-0.4.6-py2.py3-none-any.whl.metadata (17 kB)
Requirement already satisfied: charset-normalizer<4, >=2 in c:\users\ag geomatics\appdata\local\packages\pythonsoftwarefoundation.python.3.11_qbz5n2kfra8p0\localcache\local-packages\python311\site-packages (from requests->sentinelat) (3.1.0)
Requirement already satisfied: idna<=3.2, >=2.1 in c:\users\ag geomatics\appdata\local\packages\pythonsoftwarefoundation.python.3.11_qbz5n2kfra8p0\localcache\local-packages\python311\site-packages (from requests->sentinelat) (3.4)
Requirement already satisfied: urllib3<3, >=2.1 in c:\users\ag geomatics\appdata\local\packages\pythonsoftwarefoundation.python.3.11_qbz5n2kfra8p0\localcache\local-packages\python311\site-packages (from requests->sentinelat) (1.26.16)
Requirement already satisfied: certifi<=2021.10.8 in c:\users\ag geomatics\appdata\local\packages\pythonsoftwarefoundation.python.3.11_qbz5n2kfra8p0\localcache\local-packages\python311\site-packages (from requests->sentinelat) (2021.10.8)
  Downloading sentinelat-1.2.1-py3-none-any.whl (48 kB)
  Downloading click-8.1.7-py3-none-any.whl (97 kB)
  Downloading geojson-3.1.0-py3-none-any.whl (15 kB)
  Downloading tqdm-4.66.0-py3-none-any.whl (20 kB)
  Downloading geopandas-1.1.0-py3-none-any.whl (33 kB)
  Downloading colorama-0.4.6-py2.py3-none-any.whl (25 kB)
Building wheels for collected packages: html2text
  Building wheel for html2text (pyproject.toml) ... done
  Created wheel for html2text: filename=html2text-2020.2.26-py3-none-any.whl size=31111 sha256=3d889eb136107a6da7a6a8fa33e65f7b2568f794988a29ebf642509c4b675
  Stored in directory: c:\users\ag geomatics\appdata\local\packages\pythonsoftwarefoundation.python.3.11_qbz5n2kfra8p0\localcache\local-packages\python311\site-packages\html2text-2020.2.26-py3-none-any.whl
Successfully built html2text
Installing collected packages: html2text, geojson, colorama, tqdm, click, geopandas, sentinelat
  WARNING: The script html2text.exe is installed in 'C:\Users\AG Geomatics\AppData\Local\Packages\PythonSoftwareFoundation.Python.3.11_qbz5n2kfra8p0\LocalCache\local-packages\Python311\Scripts' which is not on PATH.
  Consider adding this directory to PATH or, if you prefer to suppress this warning, use --no-warn-script-location.
  WARNING: The script tqdm.exe is installed in 'C:\Users\AG Geomatics\AppData\Local\Packages\PythonSoftwareFoundation.Python.3.11_qbz5n2kfra8p0\LocalCache\local-packages\Python311\Scripts' which is not on PATH.
  Consider adding this directory to PATH or, if you prefer to suppress this warning, use --no-warn-script-location.
  WARNING: The script geopandas.exe is installed in 'C:\Users\AG Geomatics\AppData\Local\Packages\PythonSoftwareFoundation.Python.3.11_qbz5n2kfra8p0\LocalCache\local-packages\Python311\Scripts' which is not on PATH.
  Consider adding this directory to PATH or, if you prefer to suppress this warning, use --no-warn-script-location.
Successfully installed click-8.1.7 colorama-0.4.6 geopandas-1.1.0 html2text-2020.2.26 sentinelat-1.2.1 tqdm-4.66.0
```

Abb. 56: Eingabeaufforderung zum Programmieren.

1. Öffnen Sie die Eingabeaufforderung.
2. Nutzen Sie „pip“ um innerhalb der Eingabeaufforderung „SentinelSat“ zu installieren. Der Befehl lautet:
pip install sentinelat
Drücken Sie nach der Eingabe Enter.
Prüfen Sie im Folgenden, ob das Modul erfolgreich installiert wurde.

Um einen Untersuchungsraum zu spezifizieren, können GeoJSON-Dateien verwendet werden. Es handelt sich dabei um ein Format, mit welchem es möglich ist, geographische Lage- und Flächendaten mit Hilfe der JavaScript Object Notation (JSON) festzuhalten. Eine Möglichkeit, den Code nicht selbst schreiben zu müssen, bietet die Website www.geojson.io.

3. Besuchen Sie die Website www.geojson.io
4. Wählen Sie eines der Zeichentools aus und zeichnen ein Polygon über Ihr Interessensgebiet. In diesem Fall wurden die Sundarbans in Bangladesch ausgesucht.
5. Markieren Sie den gesamten Code, welcher im rechten Fenster erstellt wurde.
6. Fügen Sie den Text in einen beliebigen Editor ein und speichern die Datei mit der Dateiendung *.geojson* .

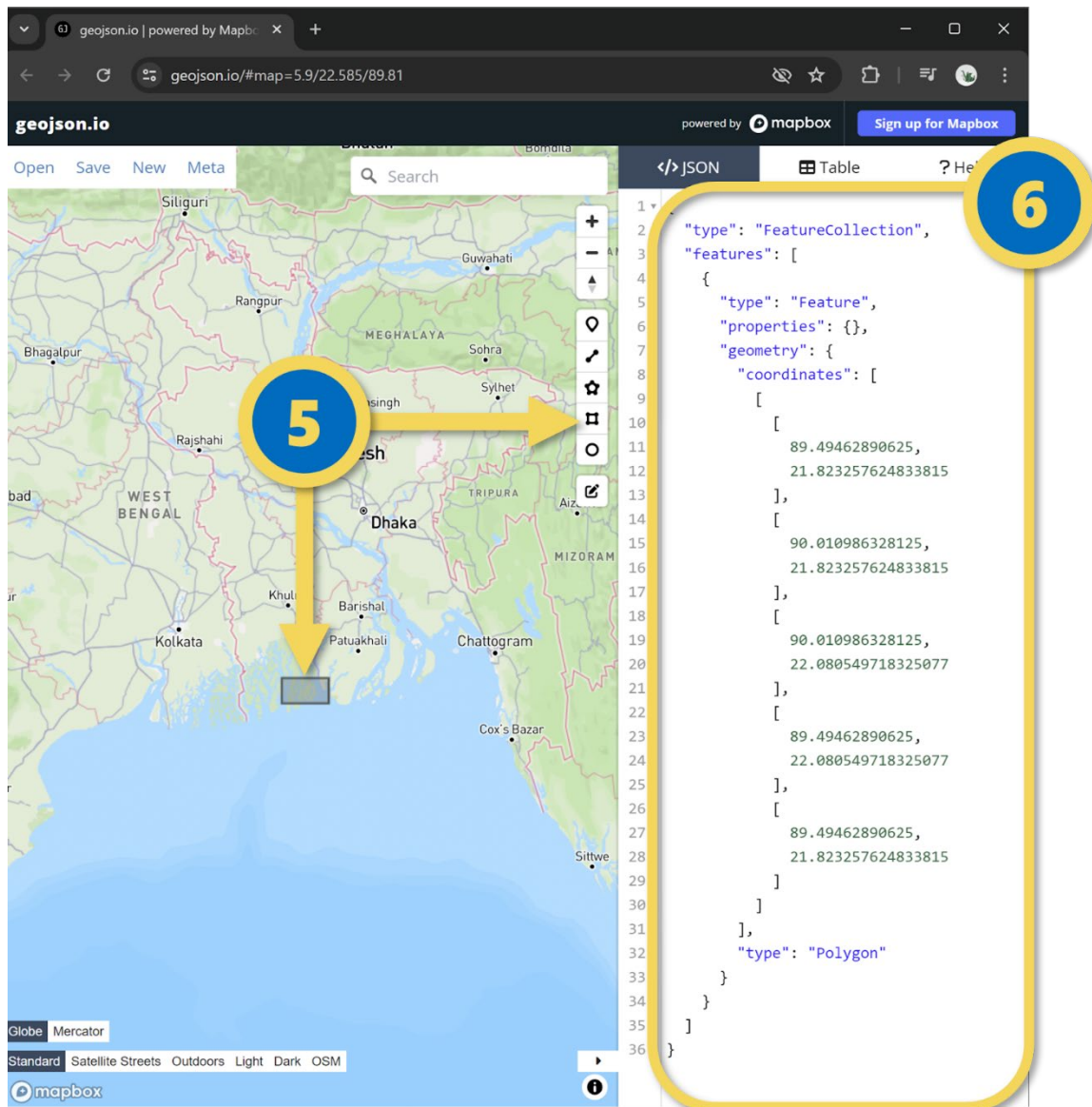


Abb. 57: Auswahl des Interessengebietes auf www.geojson.io.

Alle folgenden Schritte finden nun innerhalb der IDE statt. In diesem Fall wurde PyCharm Community verwendet. Visual Studio Code funktioniert ebenfalls gut, benötigt jedoch die Installation des Python Interpreters.

7. Öffnen Sie eine geeignete IDE und legen ein neues Projekt an.

PyCharm legt automatisch alle relevanten Python-Dateien in dem Projektordner an. Sollte es dennoch Probleme mit dem Interpreter geben, kann der Python-Pfad unter *File* → *Settings* → *Project* → *Project Interpreter* angepasst werden.

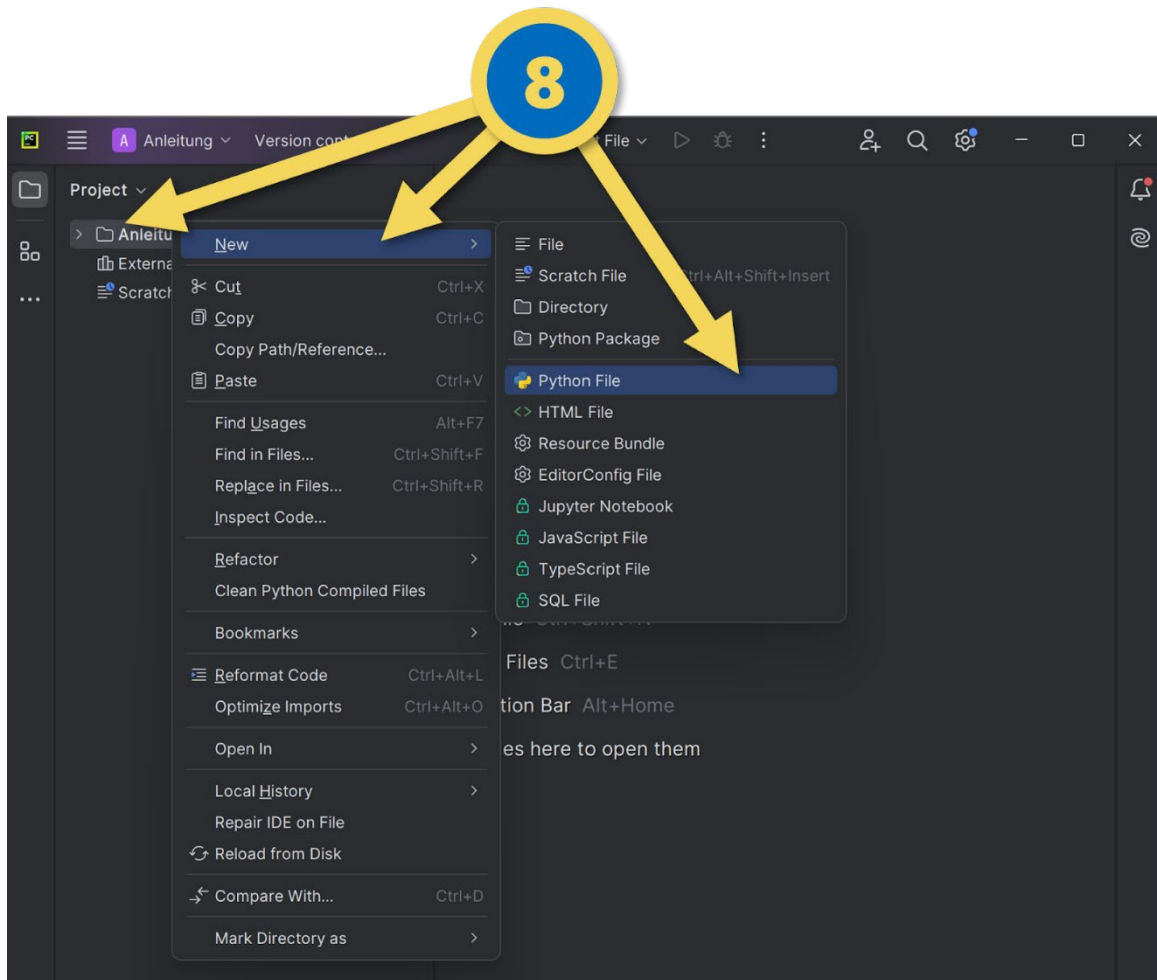


Abb. 58: Anlegen der Python-Dateien in PyCharm Community.

8. Fügen Sie Ihrem Projekt ein neues Skript hinzu. Dies können Sie mit einem Rechtsklick auf das Projekt *New Python File* erledigen. Vergeben Sie einen Namen und speichern das Projekt ab.
9. Importieren Sie alle notwendigen Bibliotheken:

```
from sentinelsat.sentinel import SentinelAPI, read_geojson, geojson_to_wkt
from datetime import date
```

10. Verbinden Sie sich mit dem Copernicus-Server, indem Sie Ihre Zugangsdaten angeben:

```
api=SentinelAPI('Username','Password','https://scihub.copernicus.eu/dhus')
```

Um später auf die Zugangsdaten verweisen zu können, ist es sinnvoll mit Variablen zu arbeiten. Da die Passwörter innerhalb dieses Skriptes sichtbar sind, bietet es sich an, eine gewisse Anzahl an Accounts für die Schüler*innen vorzubereiten.

11. Kopieren Sie die eben erstellte GeoJSON-Datei auf jene Ebene im Ordnerpfad, auf welcher auch das Python Skript liegt.
12. Verweisen Sie nun im Skript auf die GeoJSON-Datei:

```
footprint = geojson_to_wkt(read_geojson('Sunderban.geojson'))
```

Im Folgenden soll ein Filter geschrieben werden, welcher nur diejenigen Satellitenbilder herausfiltert, welche bestimmte Kriterien erfüllen. Zu diesen Kriterien sollen das Untersuchungsgebiet (footprint), das Aufnahmedatum, der Satellit, der Bewölkungsgrad und die Verarbeitungsstufe gehören. Dabei möchten wir uns auf Daten des Sentinel-2-Satelliten konzentrieren, welche bereits vorverarbeitet wurden. Das heißt, es wurden bereits atmosphärische Korrekturen am Bild vorgenommen.

13. Der Code für die anzuwendende Query zum Filtern der Daten kann dann beispielsweise wie folgt aussehen:

```
products = api.query(footprint,  
                    date=("20191101", date(2019, 11, 15)),  
                    platformname='Sentinel-2',  
                    processinglevel='Level-2A',  
                    cloudcoverpercentage=(0, 5))
```

14. Soll die Anzahl der gefundenen Produkte in der Konsole wiedergegeben werden, kann dieser Filter ebenfalls verwendet werden. Der Code hierzu sieht wie folgt aus:

```
print('Gefundene Produkte: ' + str(api.count(footprint,  
                                             date=("20191113", date(2019, 11, 15)),  
                                             platformname='Sentinel-2',  
                                             processinglevel='Level-2A',  
                                             cloudcoverpercentage=(0, 5))))
```

15. Des Weiteren kann die Größe aller gefundenen Produkte, oder deren Metadaten in Form einer GeoJSON ausgegeben werden. Der Code hierfür lautet wie folgt:

```
# getting information about product size  
print(str(api.get_products_size(products)) + ' GB')  
# getting geometric metadata from results  
print(api.to_geojson(products))
```

16. Sollen anschließend alle gefundenen Produkte an einem bestimmten Speicherort heruntergeladen werden, kann folgender Befehl entsprechend angepasst verwendet werden:

```
api.download_all(products, directory_path='C:/Users/Public/Downloads')
```

17. Soll nur ein bestimmtes Produkt heruntergeladen werden, kann dessen UUID innerhalb der geometrischen Metadaten gefunden werden. Der Befehl, genau dieses Produkt herunterzuladen, lautet beispielsweise:

```
api.download('b063bb06-1b64-4dc5-9e0f-af5838725d29')
```

18. Führen Sie Ihr Skript mit der gewünschten Download-Art aus.

Das gesamte Skript sieht dann wie folgt aus:

```

from sentinelsat.sentinel import SentinelAPI, read_geojson, geojson_to_wkt
from datetime import date

#connect to the API
api=SentinelAPI('Username', 'Password','https://scihub.copernicus.eu/dhus')

#define Area of Interest (AOI)

footprint = geojson_to_wkt(read_geojson('Sunderban.geojson'))

#set up query to filter data
products = api.query(footprint,
                      date=("20191101", date(2019, 11, 15)),
                      platformname='Sentinel-2',
                      processinglevel='Level-2A',
                      cloudcoverpercentage=(0, 5))

#getting information about the results
#getting number of results
print('Gefundene Produkte: ' + str(api.count(footprint,
                      date=("20191113", date(2019, 11, 15)),
                      platformname='Sentinel-2',
                      processinglevel='Level-2A',
                      cloudcoverpercentage=(0, 5))))

# getting information about product size
print(str(api.get_products_size(products)) + ' GB')
# getting geometric metadata from results
print(api.to_geojson(products))

#Download
api.download_all(products, directory_path='C:/Users/Public/Downloads')
#Download via UUID
api.download('b063bb06-1b64-4dc5-9e0f-af5838725d29')

```

3.5.2 Öffnen der Datensätze in SNAP

SNAP ist die Sentinel Applications Platform von Copernicus, die unter <https://step.esa.int/main/download/snap-download/> kostenfrei heruntergeladen und installiert werden kann.

Sobald Sie ein oder mehrere Produkte heruntergeladen haben, können die Daten in der Software „SNAP“ betrachtet und verarbeitet werden. Im Folgenden soll das Satellitenbild innerhalb von SNAP betrachtet werden. Weitere Verarbeitungsschritte finden Sie unter anderem auf der Webseite: <https://step.esa.int/main/doc/tutorials/> oder in den vorangegangenen Kapiteln.

1. Öffnen Sie die Software SNAP.
2. Wählen Sie *File* → *Open Product...* und öffnen das ZIP-Verzeichnis vom Datensatz.
3. Machen Sie innerhalb des *Product Explorers* einen Rechtsklick auf den Datensatz und wählen *Open RGB Image Window*.

Literaturverzeichnis

Copernicus (Hg.): Copernicus Academy.

<https://www.copernicus.eu/en/opportunities/education/copernicus-academy>

Copernicus (Hg.): Copernicus Programme.

<https://sentiwiki.copernicus.eu/web/copernicus-programme>

Copernicus (Hg.): Die Sentinel-Satellitenfamilie. <https://www.d-copernicus.de/daten/satelliten/daten-sentinels/>

Geographisches Institut (Hg.): Copernicus4Schools - The great disaster challenge.

<https://www.geographie.ruhr-uni-bochum.de/izgw/projekte.html.de>

NASA (Hg.): Virginia T. Norwood: The Mother of Landsat.

<https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/virginia-t-norwood-the-mother-of-landsat/>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Windpark Fryslân in Lake IJssel, Netherlands.

(<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/windpark-fryslan-lake-ijssel-netherlands>)

Abb. 2: The Sau Reservoir at worrisome water levels.

(<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/sau-reservoir-worrisome-water-levels>)

Abb. 3: Second volcanic eruption in Iceland's Reykjanes Peninsula in just a few weeks. (<https://www.copernicus.eu/en/media/image-day-gallery/second-volcanic-eruption-icelands-reykjanes-peninsula-just-few-weeks>)

Abb. 4: Copernicus Sentinel-5P Formaldehyde 2018.

https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Copernicus_Sentinel-5P_reveals_new_nasties

Abb. 5: Die Augmented Reality APP – Satellitensysteme.

Abb. 6: Wie funktioniert Erdbeobachtung?

Abb. 7: Elektromagnetische Wellen mit hohen und niedrigen Frequenzen.

Abb. 8: Das elektromagnetische Spektrum.

Abb. 9: Drei Arten der Lichtreflexion. Die gemischte Reflexion (rechts) ist in der Natur der Normalfall.

Abb. 10: Bilddaten werden vom Sensor als Zahlen gespeichert.

Abb. 11: Passive und aktive Aufnahmesysteme der Erdbeobachtung.

Abb. 12: Unterschiede der räumlichen Auflösung.

Abb. 13: Entstehung von Mischpixeln.

Abb. 14: Reflexion und Absorption.

Abb. 15: NDVI-Bild vom Mittelmeer.

Abb. 16: Klassifikation anhand von Farbwerten.

Abb. 17: Die Methode der Change Detection.

Abb. 18: Auswählen des zu untersuchenden Ortes.

Abb. 19: Auswählen der Szenen.

Abb. 20: Öffnen der Dateien.

Abb. 21: Öffnen der Dateien.

Abb. 22: Einstellungen des Spatial Subsets.

Abb. 23: Klassifikation des Band Subsets.

Abb. 24: Resampling.

Abb. 25: Spektralfarbenbild.

Abb. 26: Find classification.

Abb. 27: Random Forest Classifier.

Abb. 28: Colour Manipulation.

Abb. 29: Results.

Abb. 30: Echtfarben vs. NDVI-Bild.

Abb. 31: Dataspace Copernicus Browser Satellitenbild-Abfrage.

Abb. 32: Layerauswahl Dataspace Copernicus Browser.

Abb. 33: Vergleichsansicht Dataspace Copernicus Browser.

Abb. 34: Download-Funktion Dataspace Copernicus Browser.

Abb. 35: Auswahl der Datensätze und Filter Tagesbilder.

Abb. 36: Auswahl des Zeitraumes.

Abb. 37: Herunterladen der Szenen.

Abb. 38: Öffnen der Dateien.

Abb. 39: Öffnen des Bildes.

Abb. 40: Auswahl des Rasters.

Abb. 41: Mosaicking.

Abb. 41: Mosaicking.

Abb. 43: Anpassung der Schemata.

Abb. 44: NDVI-Werte.

Abb. 45: Symbol 'Tile horizontally' .

Abb. 46: Satellitenbilder, Vegetation und Bodentemperatur im Vergleich.

Abb. 47: Auswahl des Interessengebietes Suez, Ägypten.

Abb. 48: Aktivieren der Datensets.

Abb. 49: Auswahl des Zeitraumes.

Abb. 50: Herunterladen der Aufnahmezeitpunkte.

Abb. 51: Öffnen der Datei auf SNAP.

Abb. 52: Auswählen der Datei.

Abb. 53: Einstellungen für die Collocation.

Abb. 54: Öffnen der Datei.

Abb. 55: Intensity_VH Einstellungen.

Abb. 56: Eingabeaufforderung zum Programmieren.

Abb. 57: Auswahl des Interessengebietes auf www.geojson.io.

Abb. 58: Anlegen der Python-Dateien in PyCharm Community.

Impressum

Autoren und Autorinnen:

Isabella Holovaciuc, Dr. Henryk Hodam, Claudia Lindner, Lars Tum, Franziska Tuschen

Fakultät für Geowissenschaften

Geographisches Institut der Ruhr-Universität Bochum

AG Interdisziplinäre Geoinformationswissenschaften

Universitätsstraße 150

44801 Bochum

Kontakt

Jun.-Prof. Dr. Andreas Rienow

Telefon: +49 234 32-24791

E-Mail: andreas.rienow@ruhr-uni-bochum.de

Dr. Henryk Hodam

Telefon: +49 (0)234 32-23415

E-Mail: henryk.hodam@ruhr-uni-bochum.de