



INSPIRE Workshop in Salzburg

Analyse großer offener Copernicus Satellitendatenmengen und deren Anwendungen anhand des semantischen Erdbeobachtungs-Datenwürfels in Österreich (Sen2Cube.at)

Dirk Tiede

Mitwirkende: Martin Sudmanns, Thomas Strasser, Luke McQuade, Hannah Augustin, Nimrod Kibet, Fabian Schober

Fachbereich Geoinformatik – Z_GIS , Paris Lodron Universität Salzburg



PARIS
LODRON
UNIVERSITY
SALZBURG

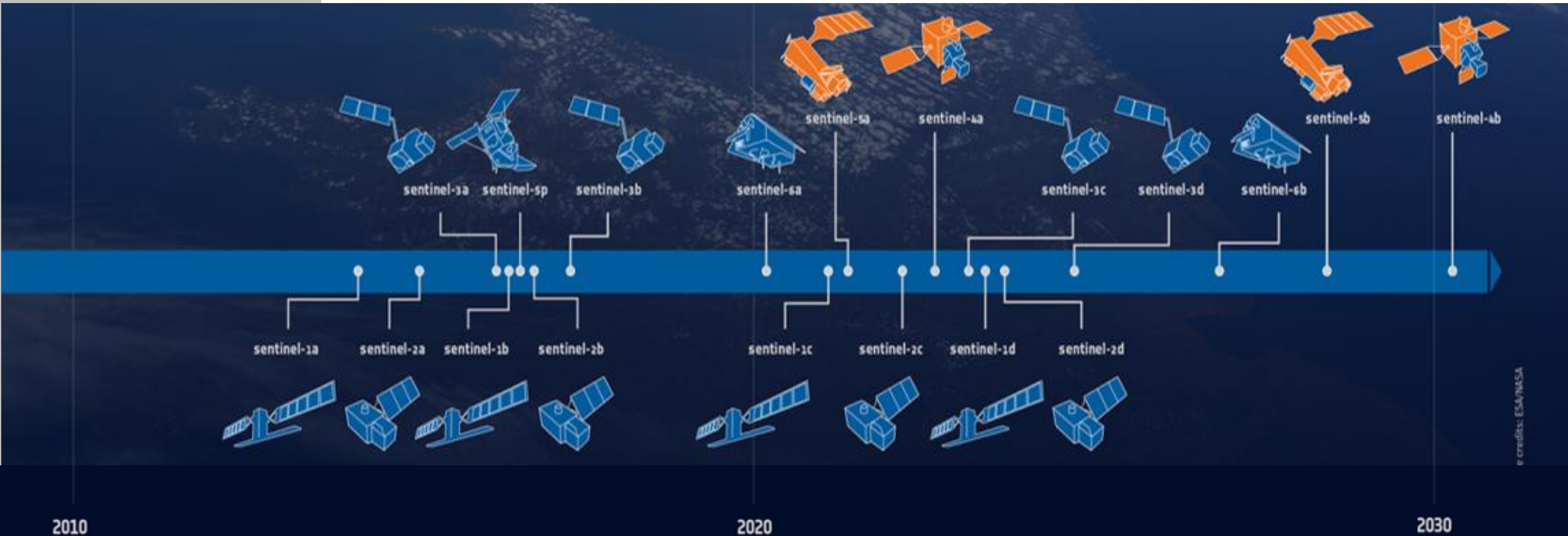
Z_GIS

European Union - Copernicus Programme

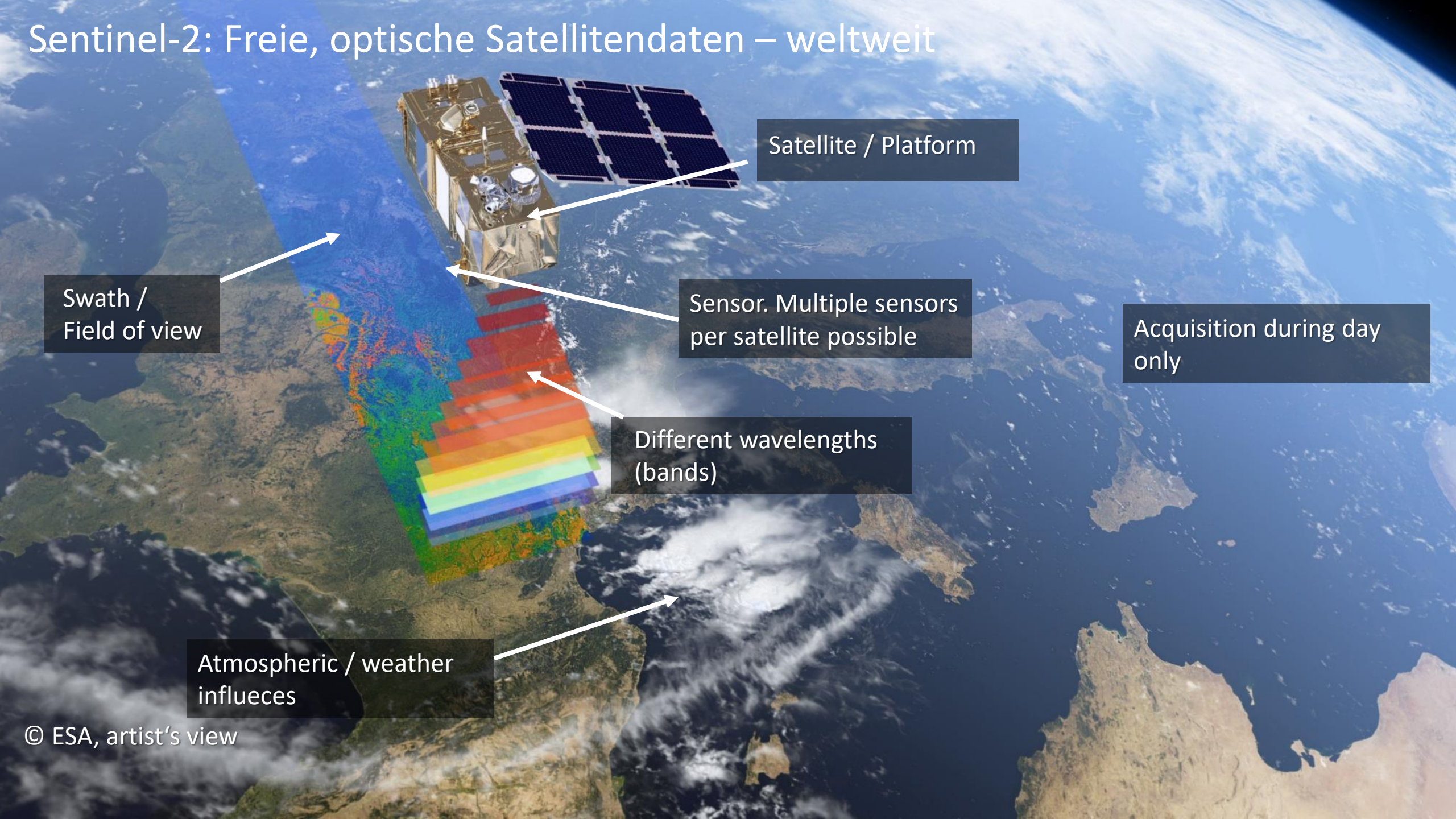


<http://www.copernicus.eu/>

➔ Weltweit größter EO-Datenprovider und einer der größten generellen Datenprovider (ca. 8 Petabyte pro Jahr, 34 PB gesamt[01/2023])



Sentinel-2: Freie, optische Satellitendaten – weltweit



Satellite / Platform

Swath /
Field of view

Sensor. Multiple sensors
per satellite possible

Acquisition during day
only

Different wavelengths
(bands)

Atmospheric / weather
influences

Sentinel-2: mind. 2 Satelliten gleichzeitig



Im Moment
übergangsweise
3 Satelliten im
Orbit



0 days 00 hours 00 minutes
Sentinel-2 constellation:
summer solstice

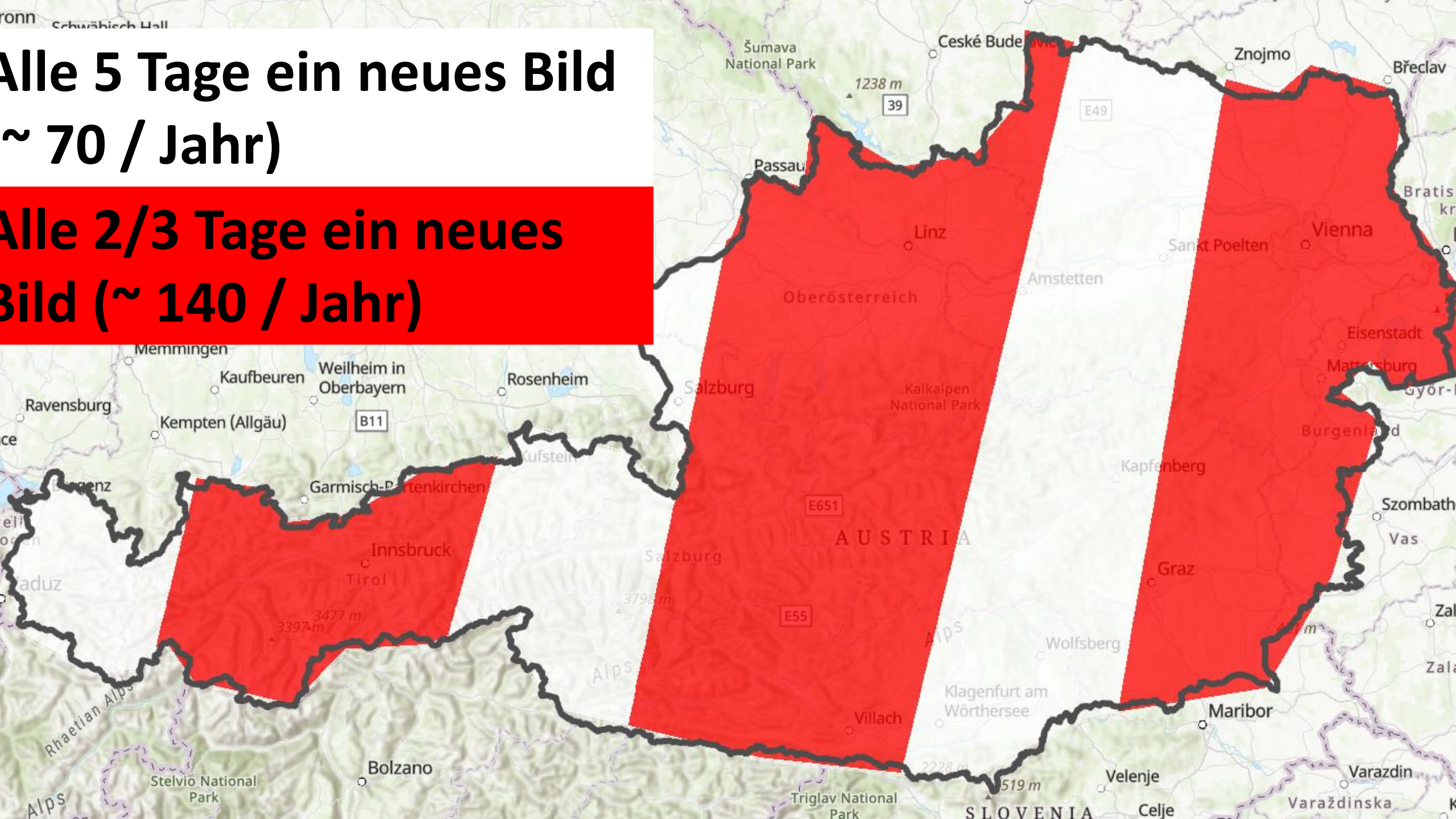


Sentinel-2

**Mindestens alle 5 Tage eine gesamte Abdeckung der Landmasse – in Richtung der Pole häufiger wegen überlappender Orbits
Achtung: Hintergrundbild ist ein wolkenfreies Mosaik berechnet aus vielen verschiedenen Überflügen**

Alle 5 Tage ein neues Bild
(~ 70 / Jahr)

Alle 2/3 Tage ein neues
Bild (~ 140 / Jahr)



**Sentinel-2
Aufnahme,
Salzburg
28.11.2025**

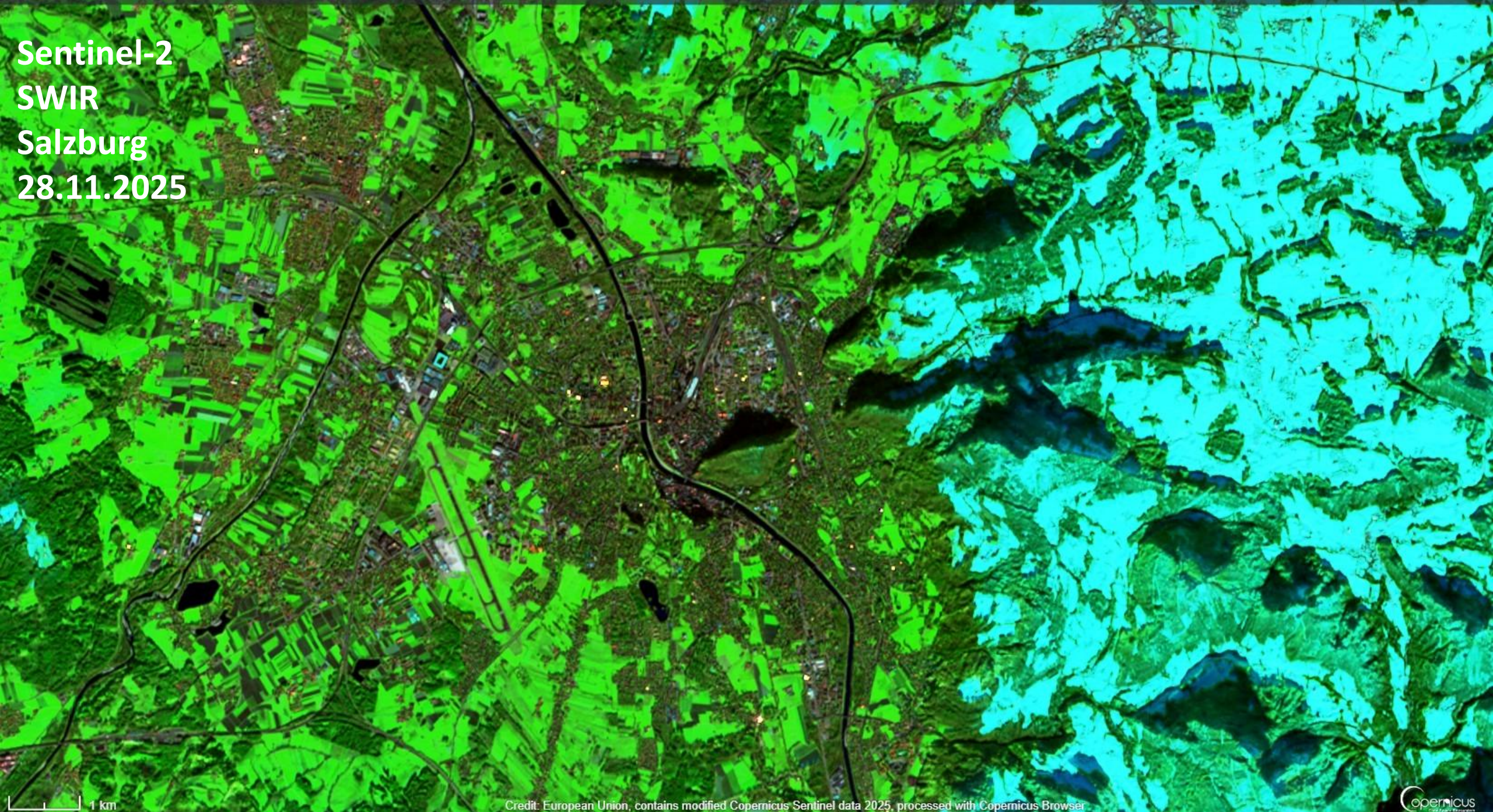


Sentinel-2
Falschfarben-Infrarot,
Salzburg
28.11.2025



1 km

Sentinel-2
SWIR
Salzburg
28.11.2025



1 km

Sentinel-2
Zoom-in

10m Auflösung

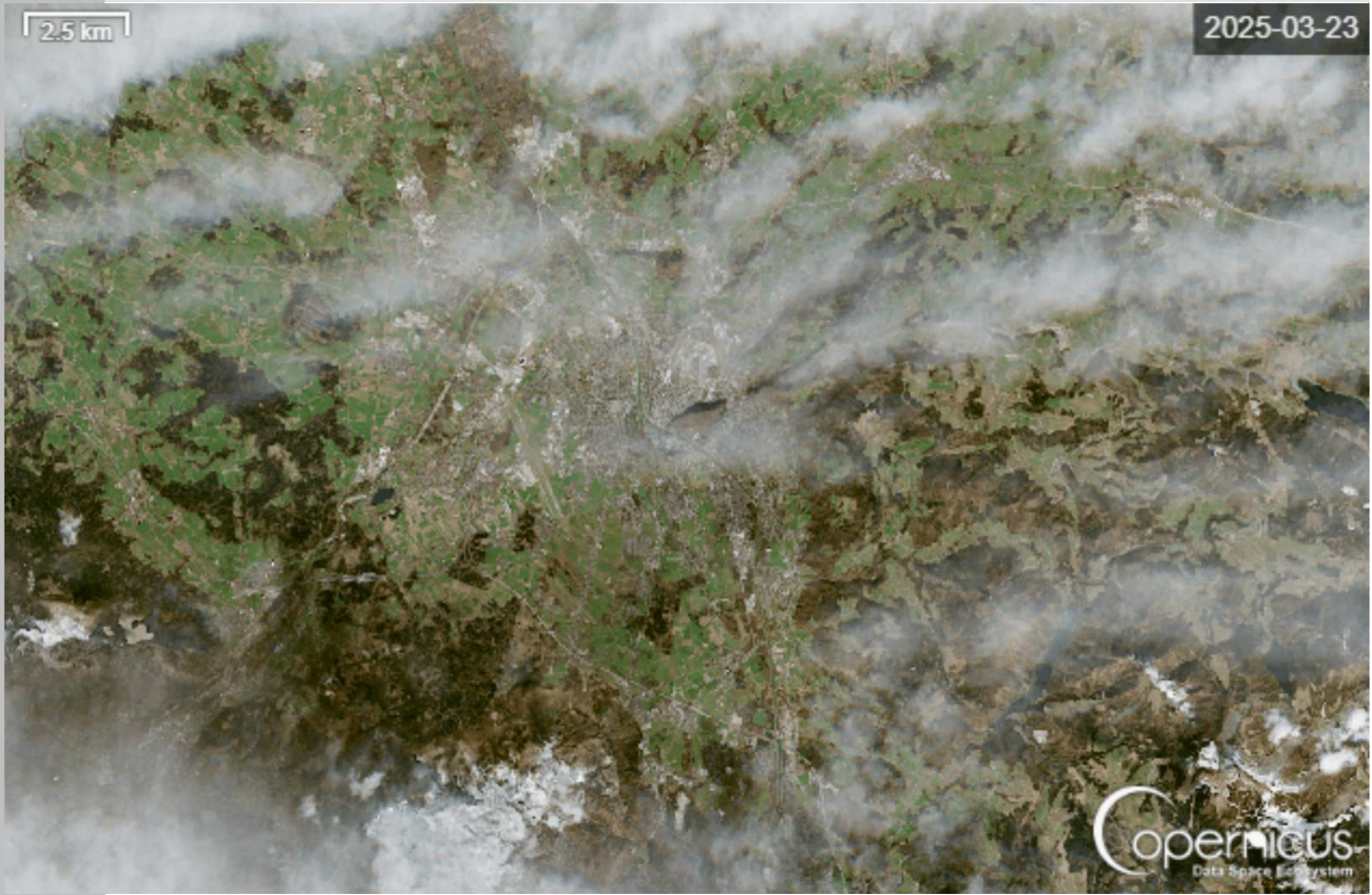


Sentinel-2
2025 - Auswahl

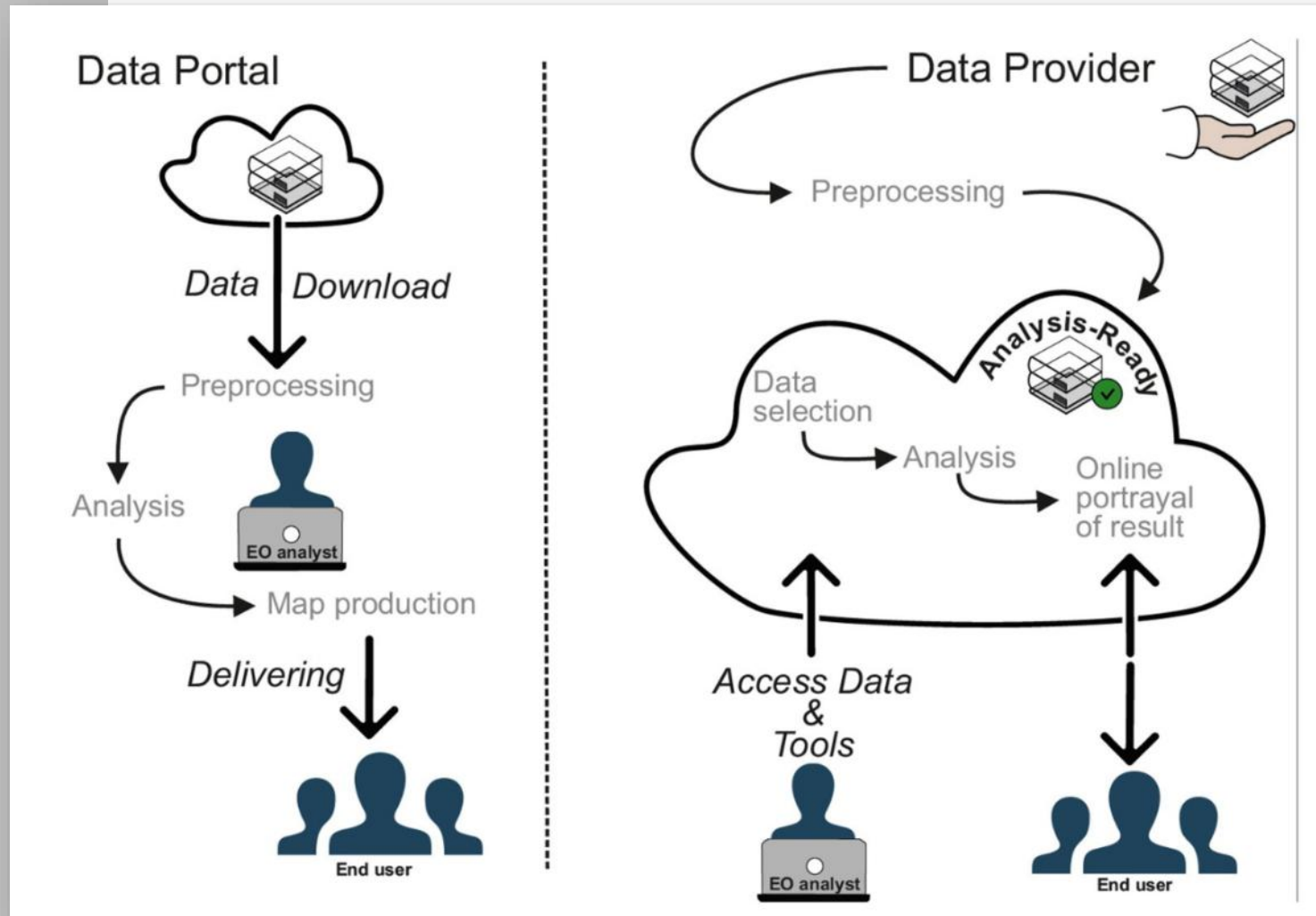


Alle Sentinel-2
Daten von
Salzburg
im Zeitraum
012025-102025

→ Wolkenbedeckung > 40%



Veränderungen in Workflows für Big EO Daten Prozessierung und Analyse



From: Sudmanns, M., Tiede, D., Lang, S., Bergstedt, H., Trost, G., Augustin, H., Baraldi, A., Blaschke, T., 2019. Big Earth data: disruptive changes in Earth observation data management and analysis? Int. J. Digit. Earth 0, 1–19.

<https://doi.org/10.1080/17538947.2019.1585976>

• Big EO Data: Analyse Plattformen



Große EO-Datenanalyseplattformen:

- Werden häufig von großen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen bereitgestellt und umfassen Sammlungen von Petabytes an offenen Daten.
- Einfache Nutzung vorkonfigurierter Plattformen, ohne dass man sich mit komplexen Datenstrukturen, Software- oder Hardwareanforderungen auseinandersetzen muss.

ABER:

- **Abhängigkeit von einer bestimmten Plattform**, ihren Daten und Funktionalitäten sowie der damit einhergehende Kontrollverlust können die Vielfalt der Nutzer einschränken – und damit Forschung & Entwicklung sowie die Nachhaltigkeit von Geschäftsmodellen begrenzen.
- Wir plädieren daher für die **zusätzliche Möglichkeit „lokaler“ Lösungen, um große EO-Datenanalysen zu nutzen** und zu ihnen beizutragen.
- Dies ermöglicht neue (andere) Analysen und Forschungsentwicklungen, die mit groß angelegten Systemen sonst nicht machbar wären.



Sudmanns, M., Augustin, H., Killough, B., Giuliani, G., Tiede, D., Leith, A., Yuan, F., Lewis, A., 2022. Think global, cube local: an Earth Observation Data Cube's contribution to the Digital Earth vision. Big Earth Data 00, 1–29. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2099236>



Unser Ansatz:

- **EO-Daten einfacher zugänglich zu machen und Cloud-basierte Analysen** von Terrabyte an Daten auch programmierfrei zu ermöglichen
- Entwicklung und Hochskalierung von innovativen Methoden unabhängig von großen Plattformen, unsere Hauptentwicklung:
semantische EO Data Cubes und deren Einbindung in geoinformatische Infrastrukturen (Webservices, mobile Apps, GIS-Systeme etc.)
- Verwendung der neuen Methoden, um neue Forschungsthemen damit zu bearbeiten (z.B. die Erfassung von landwirtschaftlichen Parametern, Vegetationsdynamik...)
- Hauptimplementierung: Sen2Cube.at für Österreich



Article

Semantic Earth Observation Data Cubes

Hannah Augustin ^{1,*}, Martin Sudmanns ¹, Dirk Tiede ¹, Stefan Lang ¹ and Andrea Baraldi ²

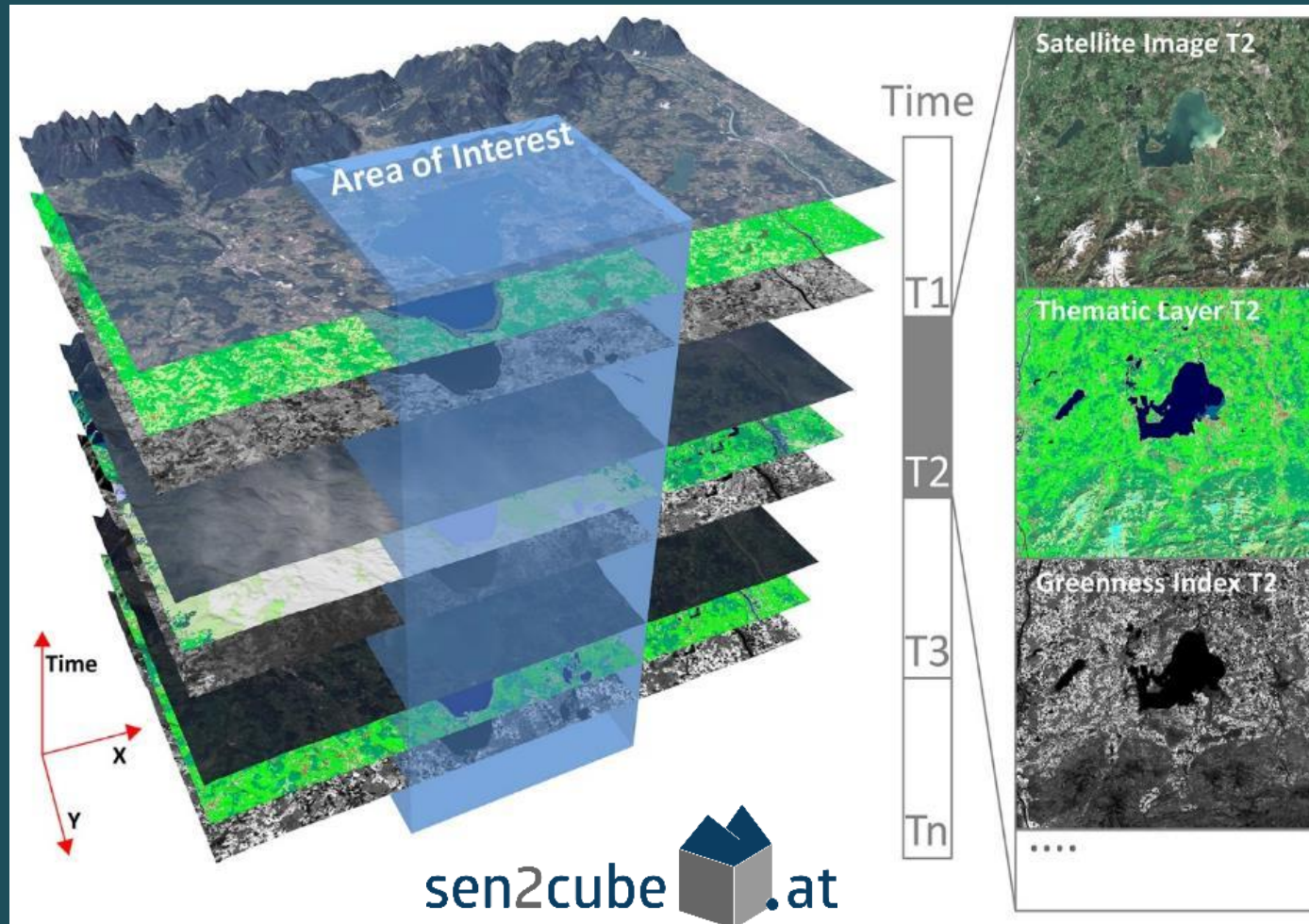
¹ Interfaculty Department of Geoinformatics—Z_GIS, University of Salzburg, 5020 Salzburg, Austria

² Italian Space Agency (ASI), 00133 Rome, Italy

* Correspondence: hannah.augustin@sbg.ac.at; Tel.: +43-662-8044-7574

Sen2Cube.at – Komponenten einer semantischen EO Data Cube Architektur

2 Data Cube Technologie:
Eigene räumliche und zeitliche Kriterien



1 Alle Bilder (hier Sentinel-2): **Jedes Pixel semantisch angereichert** (vollautomatisch, keine Training Samples) + zusätzliche Geodaten (e.g. DEM)

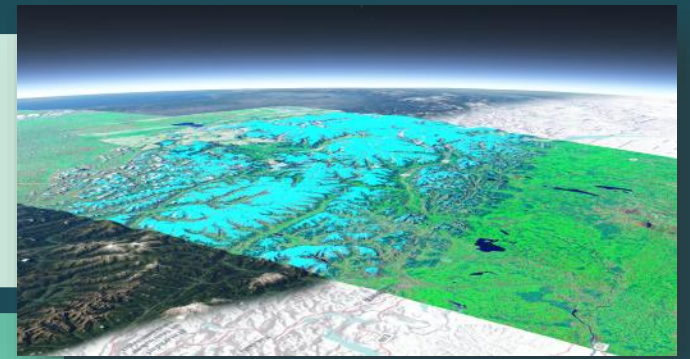
3 Web-basierte inference engine:
High-level semantische (auch programmierfreie) Abfragen

Überblick



Semantic enrichment

automatic
worldwide applicable
different granularities



Generic factbase

data cube
scalable Docker infrastructure
applicationagnostic, generic factbase



Knowledgebase and inference engine

web-based **graphical inference engine** translates semantic models from the **knowledgebase** into data cube queries against the **factbase**



Semantic querying

semantic querying language
application specific visual models
custom output

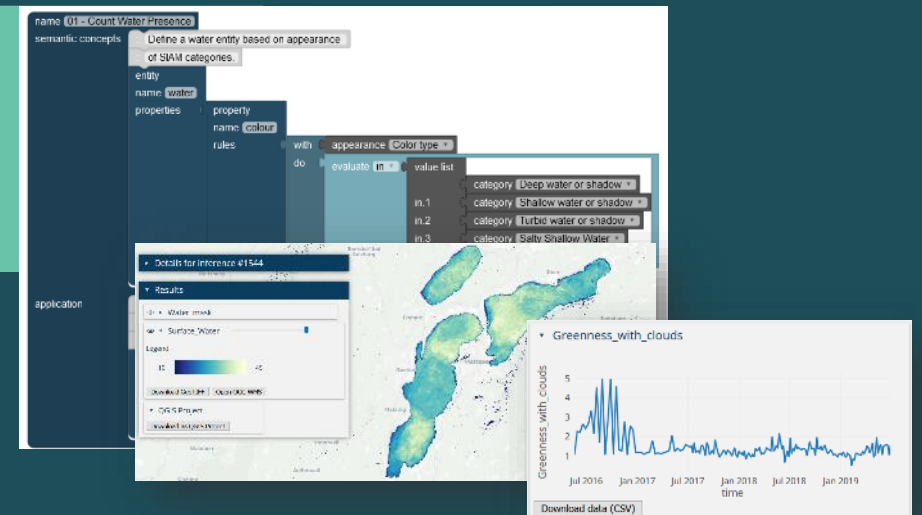
SCBIR

cloud-free
composite

phenology
through time

vegetation
loss

...



SIAM (Satellite Image Automatic Mapper) "multi-spectral colour naming"



- Vollautomatisch, basiert auf physik. Modell



- Keine Parameter, keine Training Samples



- Near real-time (< 3 min. pro Sentinel-2 Bild)



- Skalierbar, parallelisiert



- Multi-Sensor Unterstützung (mindestens TOA Kalibrierung)



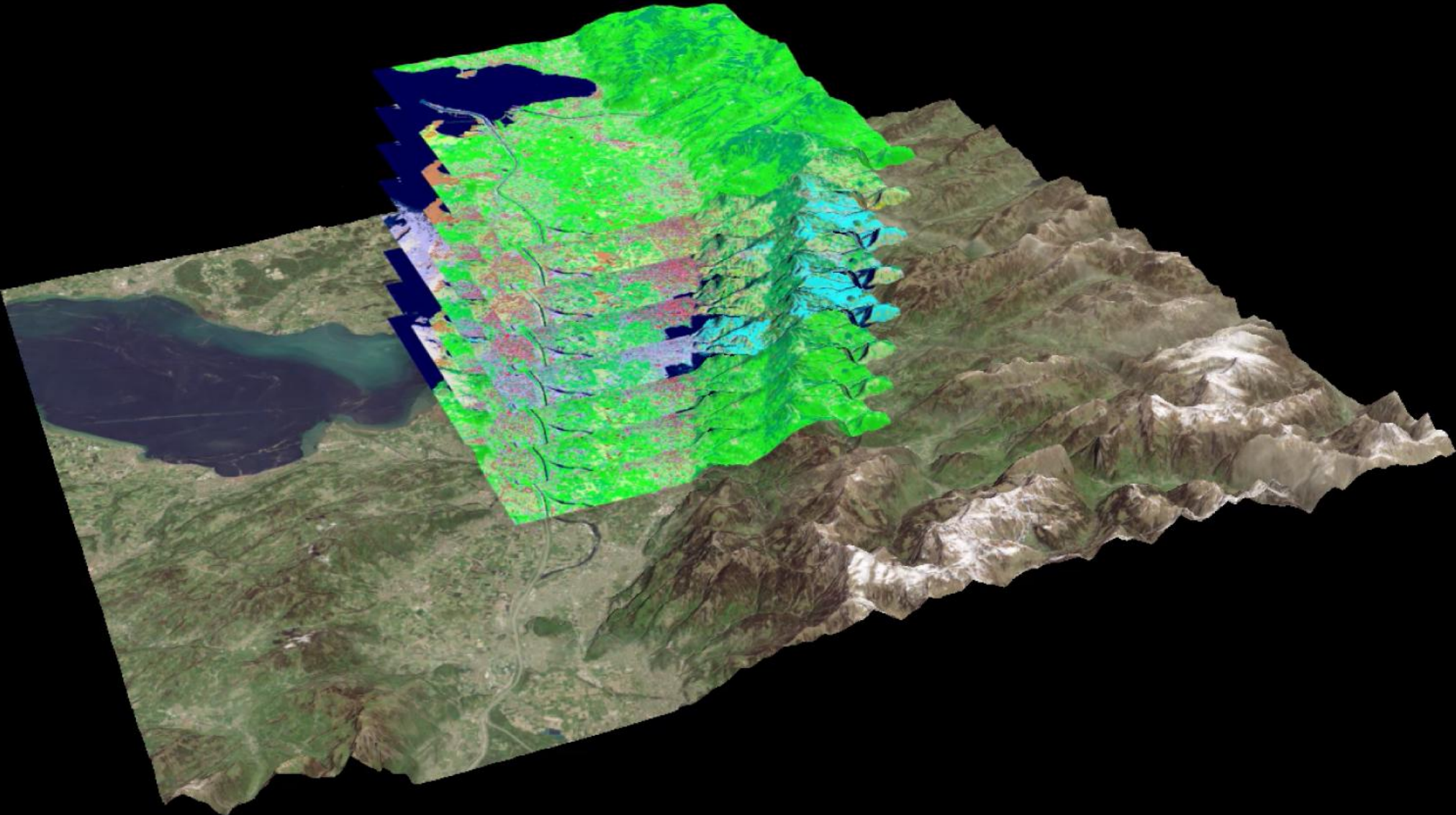
SIAM spectral categorization

Sentinel-2 scene
(Austrian/German border)
27 August 2016

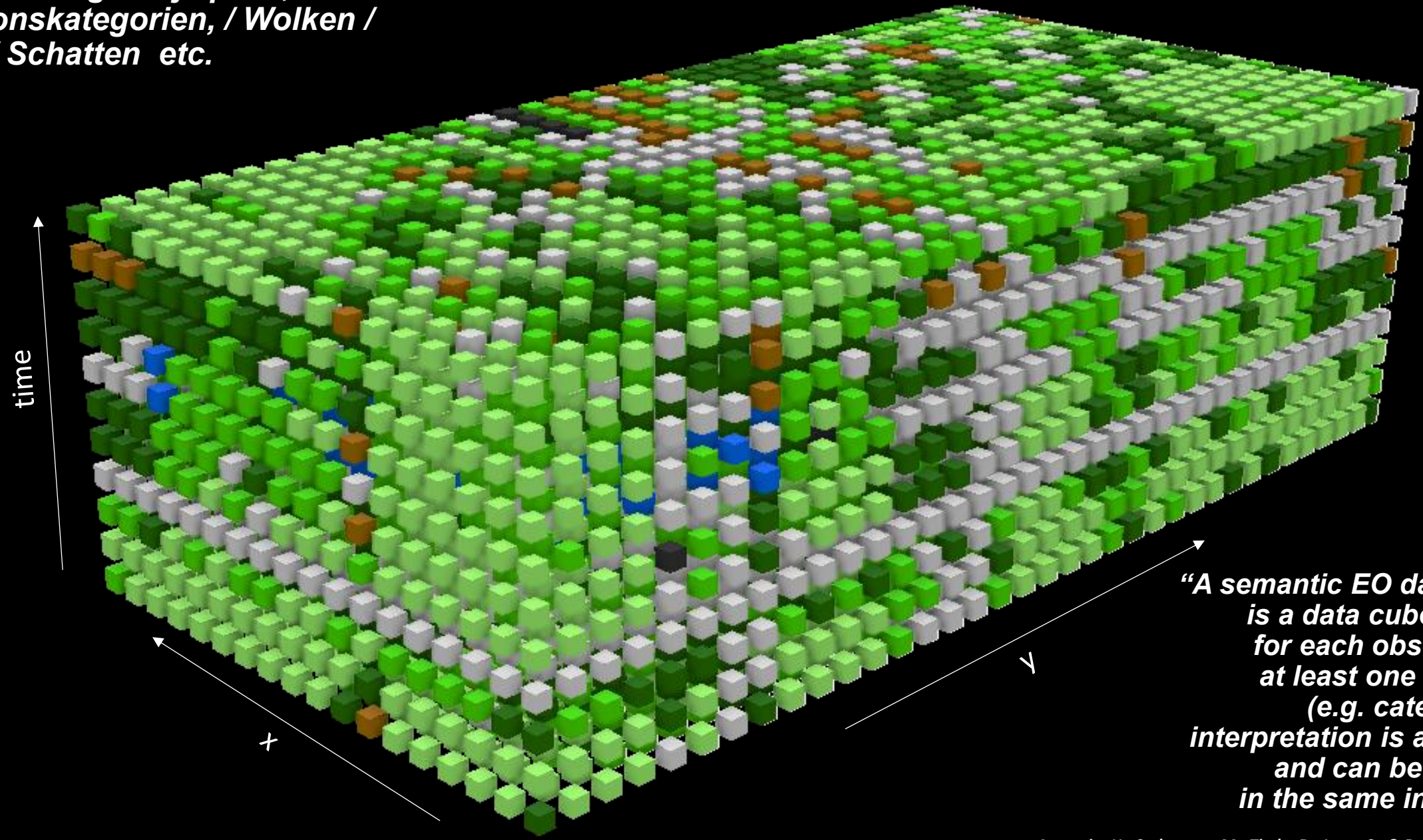


SIAM spectral categorization

96 spectral categories
(Austrian/German border)
27 August 2016



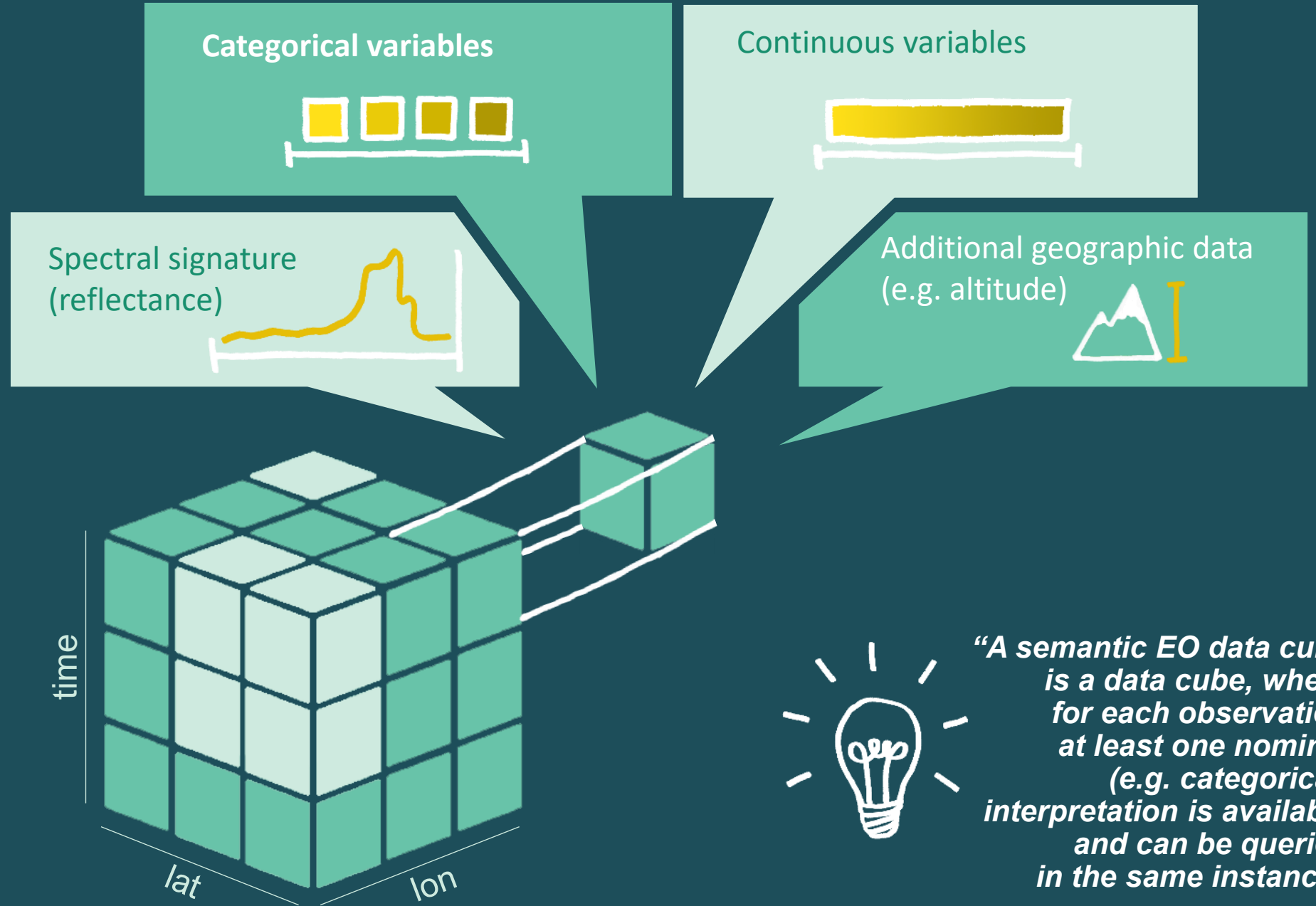
**Spektrale Kategorie je pixel, inkl.
Vegetationskategorien, / Wolken /
Schnee / Schatten etc.**



**“A semantic EO data cube
is a data cube, where
for each observation
at least one nominal
(e.g. categorical)
interpretation is available
and can be queried
in the same instance”**

Augustin, H., Sudmanns, M., Tiede, D., Lang, S., & Baraldi, A. (2019). Semantic Earth observation data cubes. *Data*, 4(3), 102.

semantischer
**Data
cube**



“A semantic EO data cube is a data cube, where for each observation at least one nominal (e.g. categorical) interpretation is available and can be queried in the same instance”

semantische Abfragen



categories of interest



area of interest



timeframe of interest

then

now



Vegetationsveränderung

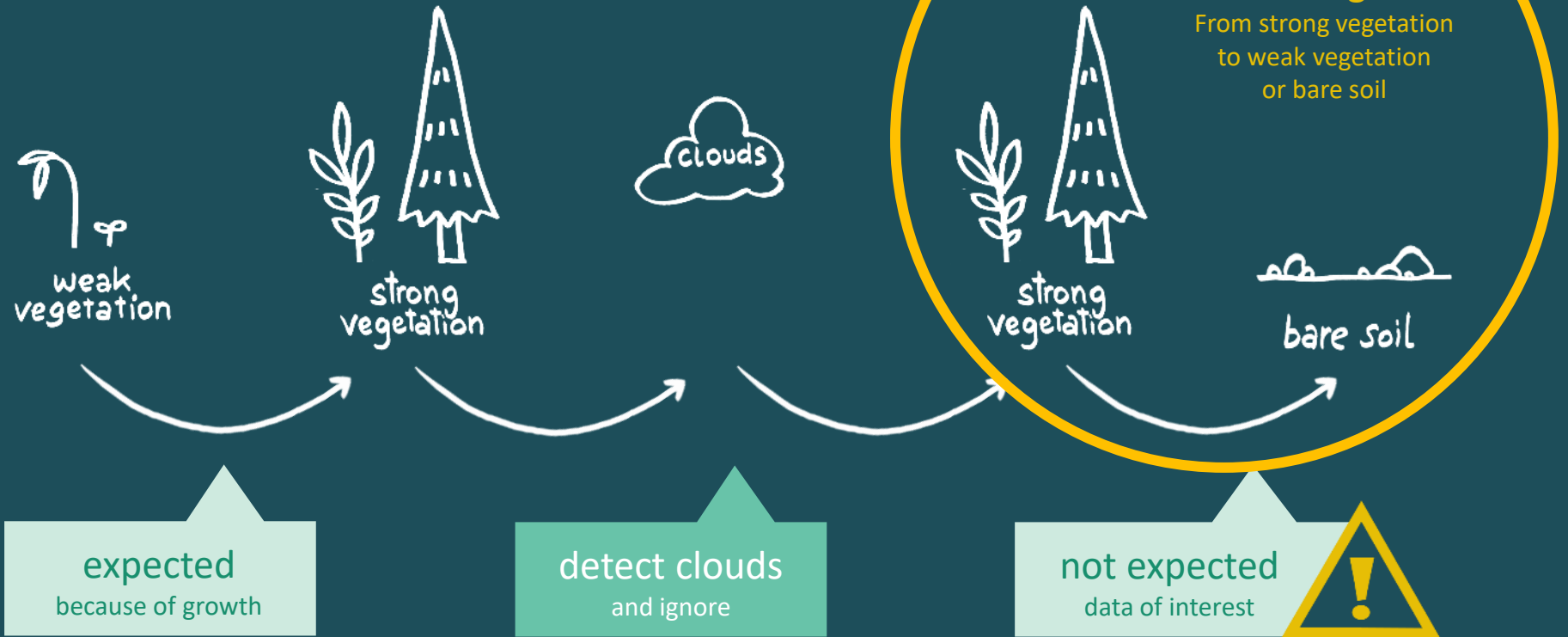
Suche nach Mustern zur Erkennung von Vegetationsverlust

Beobachtung von mehreren Monaten oder Jahren

New image
every
5 days or more
in Austria



Observation category sequence:



semantische
Modelle

Genrisches Web Interface: Zugang zu verschiedenen semantischen Data Cubes möglich

Abfragen können erstellt, gespeichert und geteilt werden

Open Source code: <https://github.com/zgis/semantique>

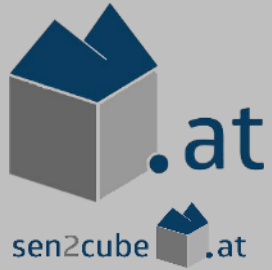


Grafische Benutzerschnittstelle

The screenshot shows the Sen2Cube web interface. On the left, there is a sidebar with sections for Knowledgebase, Factbase, and Inference. The main area displays a map of Austria with a red outline. Overlaid on the map is a query editor with the following fields:

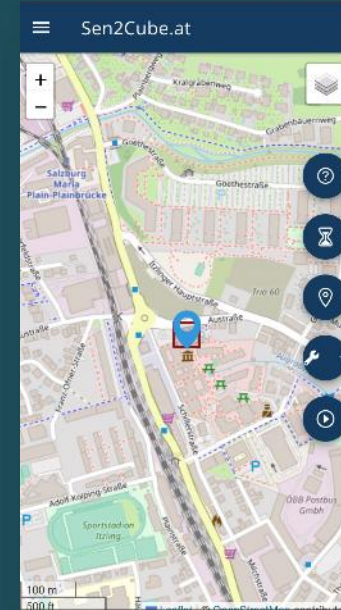
- name: Basic Water Count
- semantic concepts: entity
- entity: name water
- properties: property colour
- with: appearance Color type
- do: evaluate in value list
- value list: category Deep water or shadow, category Shallow water or shadow, category Turbid water or shadow, category Salty Shallow Water
- in.1: application
- result: name water_count
- instructions: with entity water, do reduce over time using count
- export: yes

At the bottom of the interface, there are thumbnails for 'Austria' and 'Syria' data cubes. The footer includes the text 'Welcome to Sen2Cube.at' and 'Provided by Department of Geoinformatics - Z_GIS, University of Salzburg | About Sen2Cube.at | Legal information'.

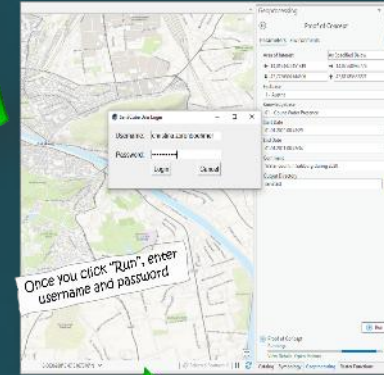


- Cloud-basiert
- standard JSON API
- Kann integriert werden in GIS-Systeme, Apps, Workflows

Mobile app



Full ArcGIS Pro Integration



Clients und Schnittstellen

Nature`s Calendar
citizen science app



```
(sen2cli) sen2cli@7fa6b0b820b:~$ sen2cli --help
Usage: sen2cli [OPTIONS] COMMAND [ARGS]...

Options:
  --log_file FILE Write log to this file instead of StdErr.
  -v, --verbose Verbose log output. Can be added up to three times for even
  more verbosity (WARNING, INFO, DEBUG).
  --help Show this message and exit.

Commands:
  inference Display / create / modify inferences
  session Session related commands like 'login'
  version Prints program version
(sen2cli) sen2cli@7fa6b0b820b:~$
```

Command-line
interface

Anwendungsbeispiele aus Forschungsprojekten

Semantische inhaltsbasierte Bildersuche

-

automatisches Finden und Bereitstellen von wolkenlosen Sentinel-2-Daten vor und nach einem Ereignis



I N T E R F A C E

Tailored Copernicus Services for public entities

Nach bestimmten Ereignissen (z.B. Naturkatastrophen, Bautätigkeit, klimatischen Veränderungen) können im semantischen EO Data Cube ad-hoc Analysen getätigt werden die z.B.

1. eine semantische inhaltsbasierte Selektion von wolkenfreien Sentinel-2 Bildern vornimmt und
2. [optional] die wolkenfreien Bilder direkt in der gleichen Abfrage z.B. auf Vegetationsveränderung analysiert

Veränderungsanalysen "on-demand"

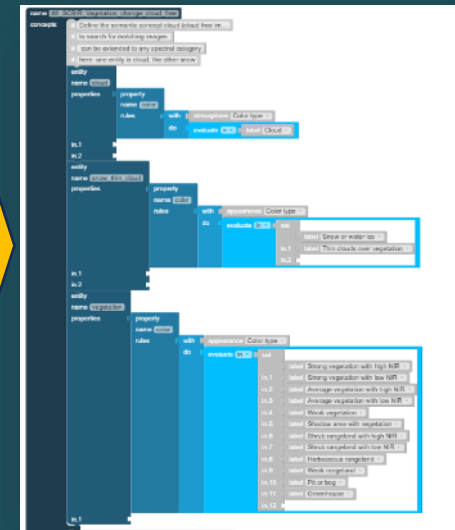


Ereignis (hier: Rauris)

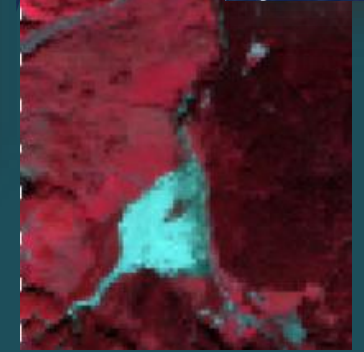
©APA/WLV/GEBHARD NEUMAYR



S-2 Bilder vor und nach dem Ereignis



Semantische Abfrage wolkenfreier Bilder aus allen Sentinel-2 Daten für Ö + mögliche automatische Analyse





Hochwasser Niederösterreich: Suche nach (1) wolkenfreien Sentinel-2 Bildern und (2) dem Bild mit dem höchsten Wasseranteil für Veränderungsanalyse

sen2cube.at Semantic Earth Observation Data Cube Analysis

Search: dirk.tiede, dirk.tiede@sbg.ac.at

Interface Demo

Carto Light

Knowledgebase
Factbase
Inference

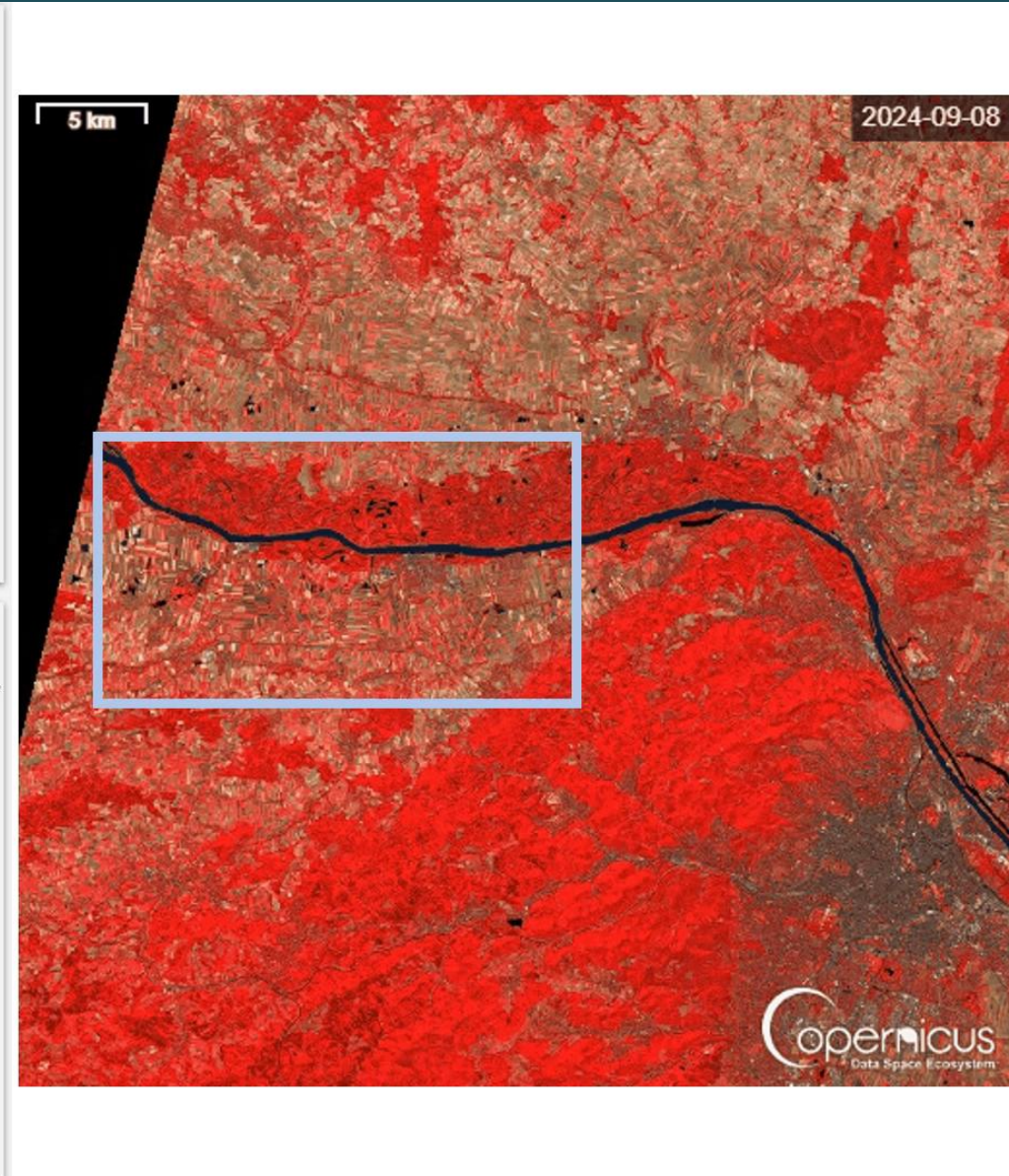
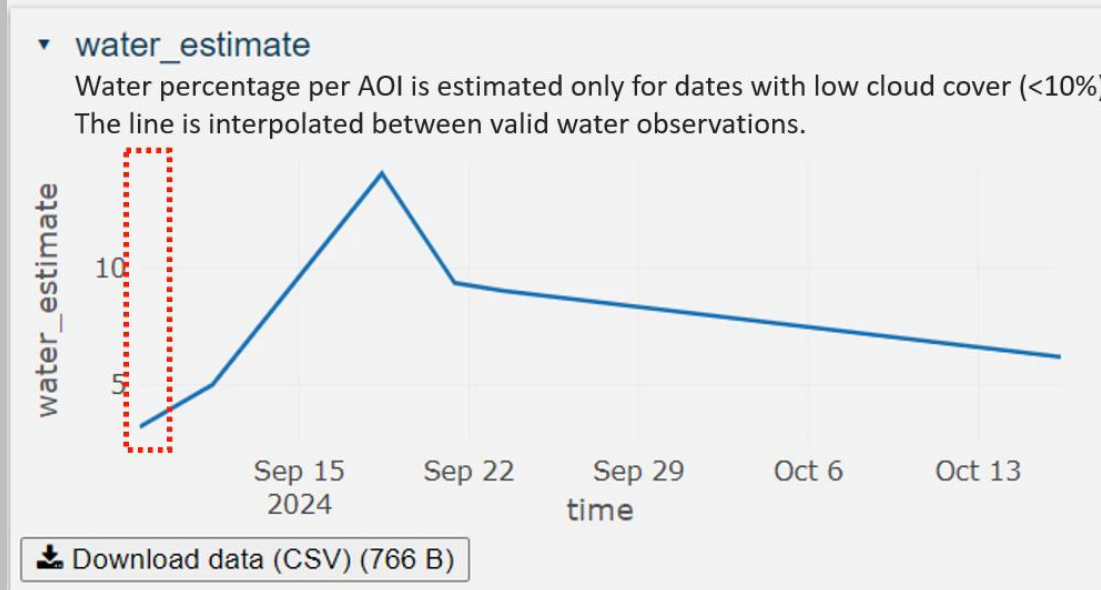
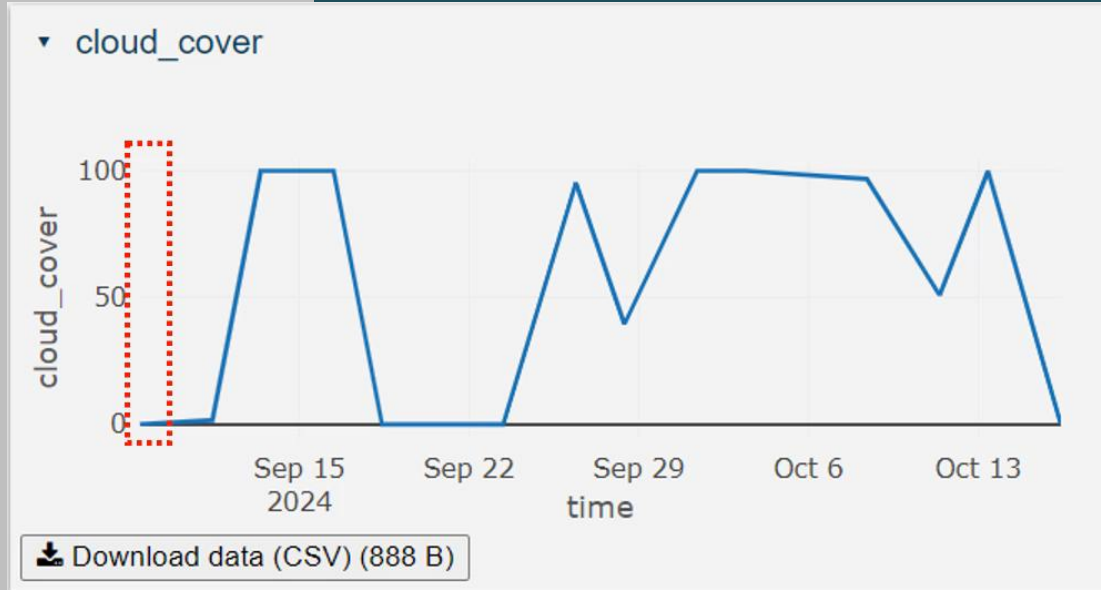
Quick preview
Comment
Start View all inferences

Switch factbase

- Afghanistan: OFFLINE, Agricultural monitoring i...
- Austria: READY, Sen2Cube.at data cube for...
- North-Western Syria: OFFLINE, Semantic EO data cube for...
- Semant: Climate E...

Leaflet | © OpenStreetMap contributors, © MapTiler, © light_al

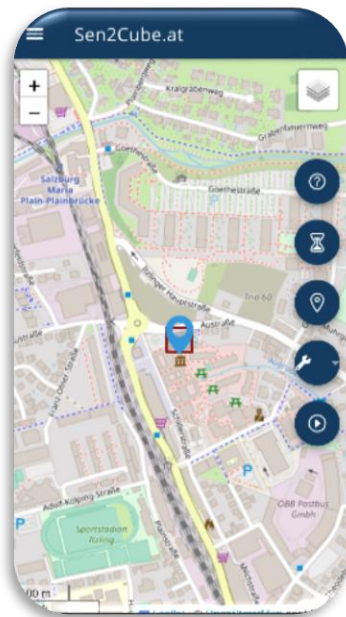
Hochwasser Niederösterreich: Suche nach (1) wolkenfreien Sentinel-2 Bildern und (2) dem Bild mit dem höchsten Wasseranteil für Veränderungsanalyse



- **Ermöglicht das Suchen von wolkenlosen Sentinel-2 Bildern in bestimmten AOIs (anstatt szenenweiter Wolkenstatistik)**
 - Erlaubt das zielgerichtete Auffinden von (Teil-)Bildern, erhöht die Anzahl an nutzbaren Sentinel-2 Aufnahmen
- **Ermöglicht das Suchen nach weiteren Inhalten in Sentinel-2 Bildern und bestimmten AOIs in ganz Österreich ab 2015**
 - z.B. Aufnahmen auf denen plötzliche Veränderungen zum Status Quo zu sehen sind (Überflutungen, Vegetationsverlust z.B. nach Katastrophen oder anderen plötzlichen Veränderungen) aber auch z.B. Ernteereignisse

Anwendungsbeispiele aus Forschungsprojekten

Live-Abfragen im Feld



Live-Abfragen im Feld (Projekt mit AMA)



Details for inference #68197

Processing details

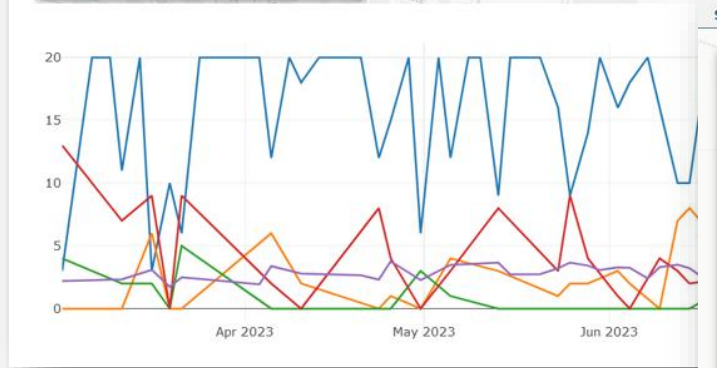
Status	SUCCEEDED
Message	The inference was successfully processed
Owner	felix.kroeber
Created	21.09.2023 10:11:54
Started	21.09.2023 10:11:55
Finished	21.09.2023 10:12:21

Action:

Inference settings

Model	01_mowing
Description	621078, 621078, 11, 6, 18 <input type="button" value="Save"/>
Timerange start	01.03.2023
Timerange end	21.09.2023
Preview	No

Project



sen2cube.at Semantic Earth Observation Data Cube Analysis

Details for inference #68254

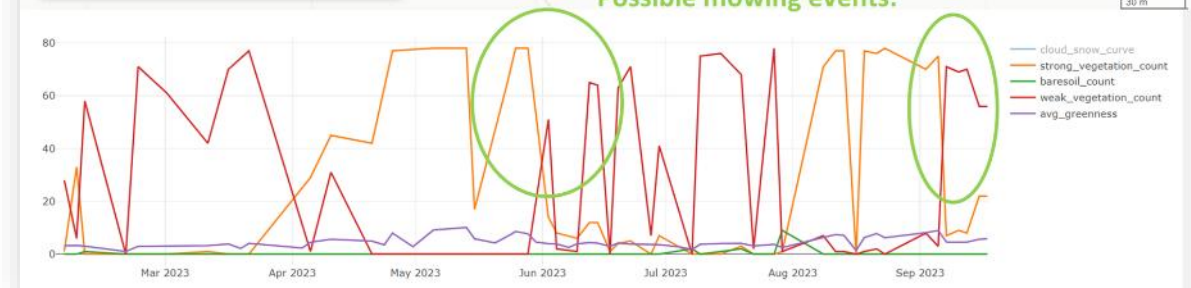
Processing details

Status	SUCCEEDED
Message	The inference was successfully processed
Owner	ama-dev
Created	21.09.2023 12:49:40
Started	21.09.2023 12:49:41
Finished	21.09.2023 12:50:17

Action:

Inference settings

Model	01_mowing
Description	620951, 620951, 30, 1, 781 <input type="button" value="Save"/>
Timerange start	01.02.2023
Timerange end	21.09.2023





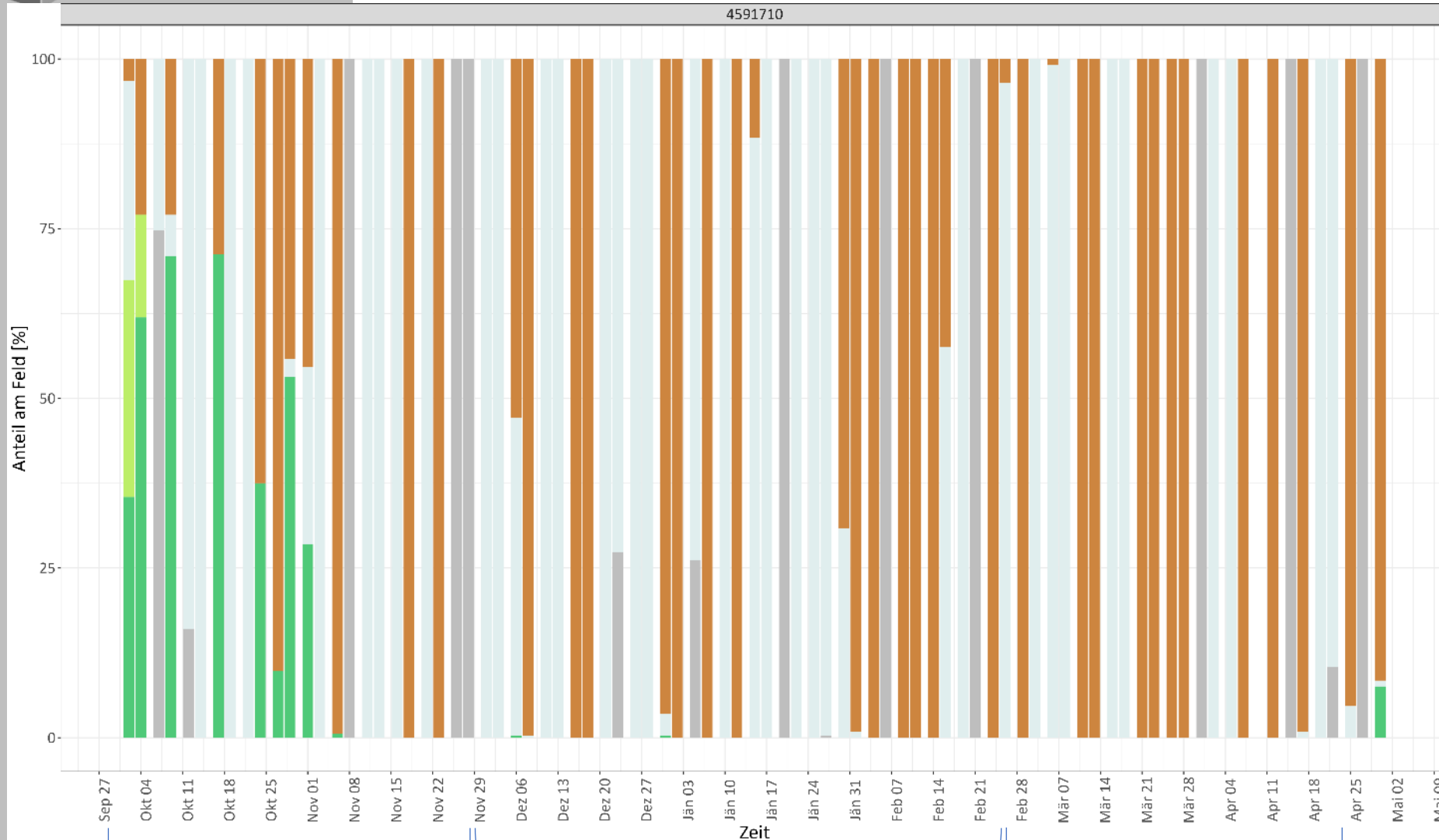
SPACE4AD“-Projekt

Optimierung der Planung von Biogasanlagen in Österreich

- Können wir Brachflächen im Winter mit freien Satellitendaten identifizieren, trotz hoher Schnee- und Wolkenbedeckung und begrenzter räumlicher Auflösung?
- Können wir Pflugereignisse/Umbruch erkennen?



Beispiel: Schwarzbrache



Jahr 1:
Körnermais
Jahr 2:
Sonnenblumen

Wolken im Winter: ca. 50%

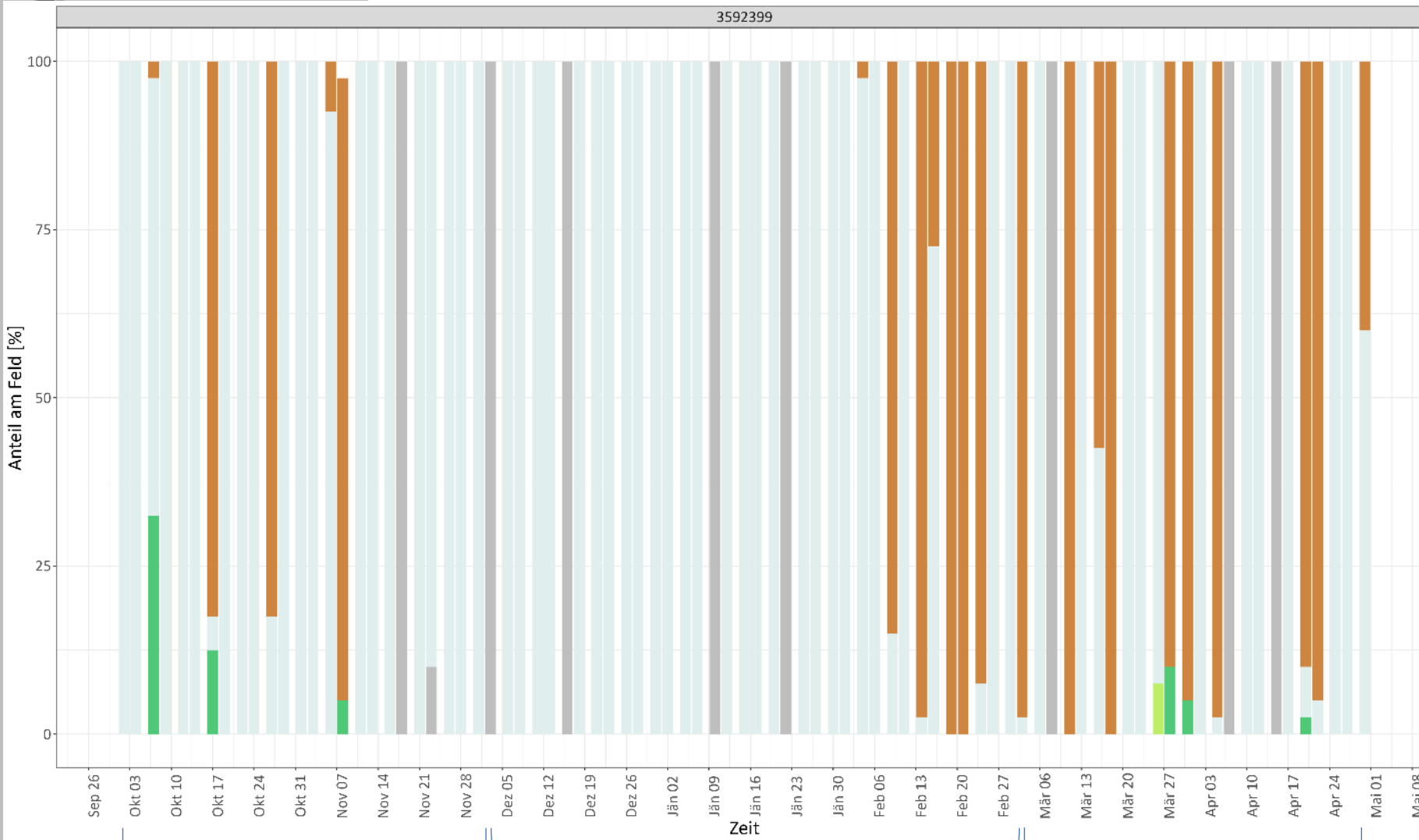
Spärliche Vegetation

16.12.2025

Nackte Erde im Winter
(Schwarzbrache)

Vegetation ist während des Winters gestorben

Beispiel: Schwarzbrache (?)



Jahr 1:
Körnermais
Jahr 2:
Körnermais

- Legende
- Erdreich
 - Schnee
 - Wolken & Schatten
 - Vegetation (schwach bis mittel)
 - Vegetation (andere)
 - Vegetation (stark)

Wolken im Winter: ca. 83%

Spärliche Vegetation

16.12.2025

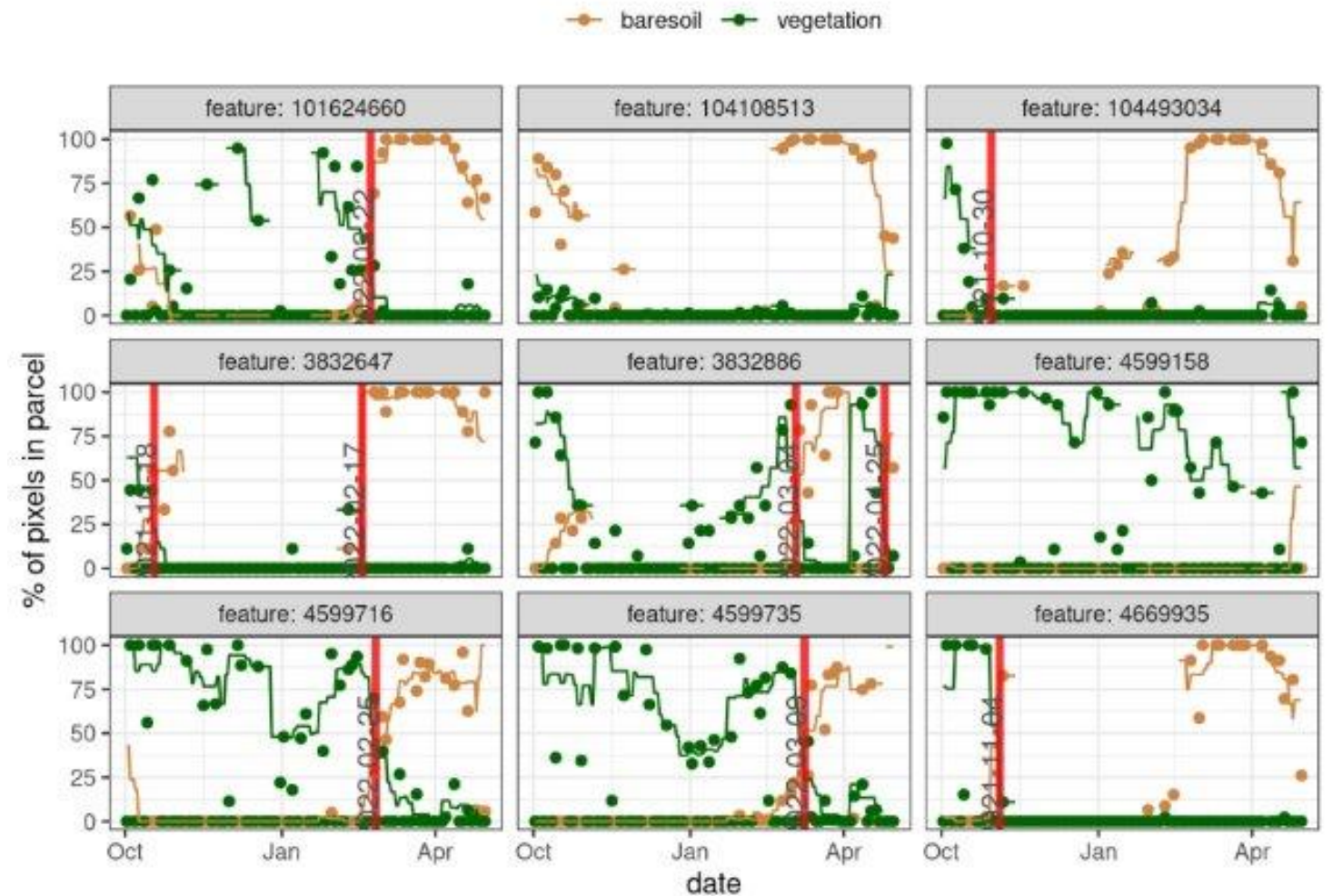
Nackte Erde im Winter?
(Schwarzbrache)

Vegetation ist während des Winters gestorben

Erkennen von Pflugereignissen/Umbruch

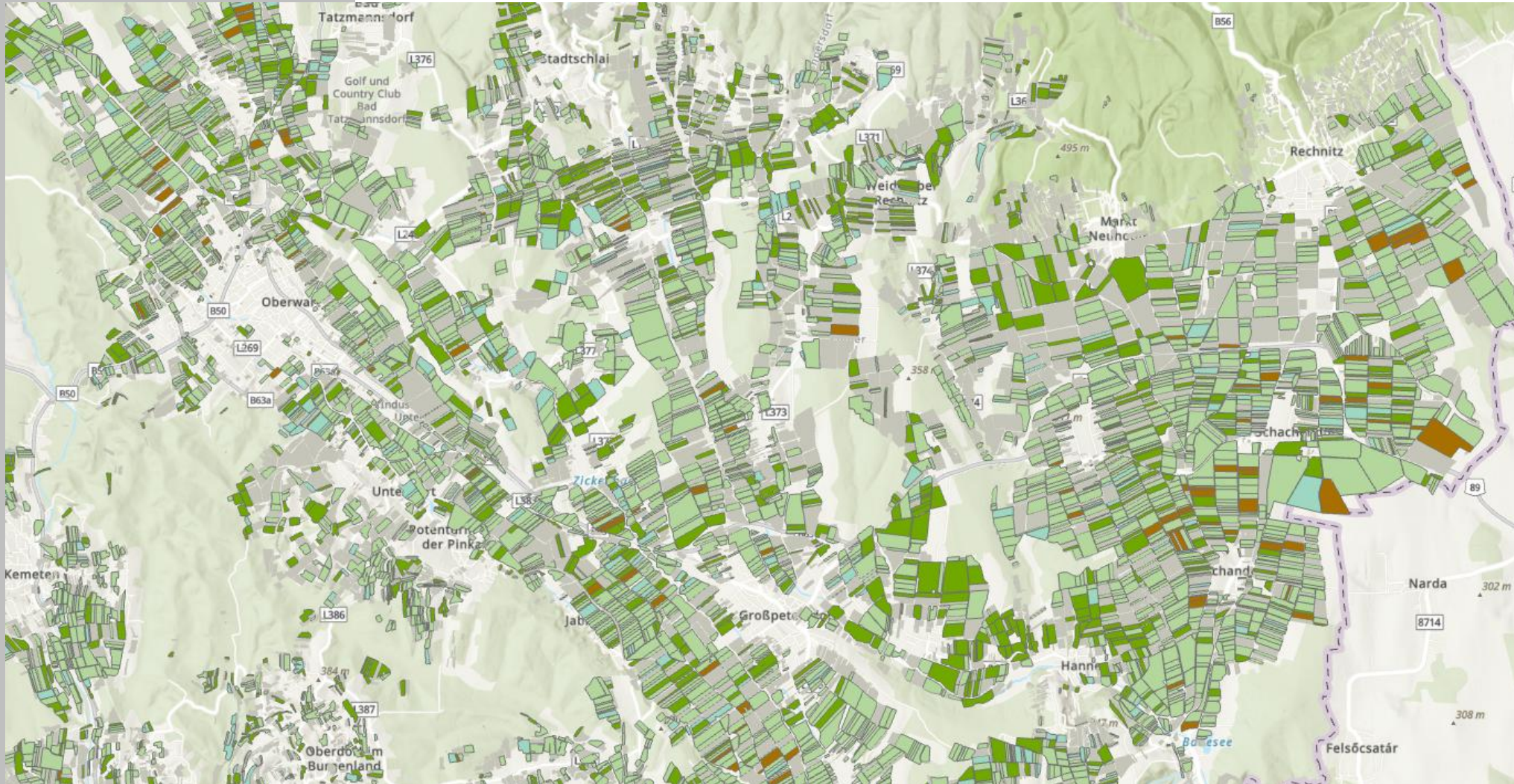
Identifizierung von Übergangspunkten von Vegetation zu nacktem Boden (Pflugereignisse)

- Zeitliche Interpolation zwischen einzelnen Satellitenaufnahmen
- Fehlerquelle: längere Zeiträume zwischen wolkenfreien Beobachtungen



Bewuchsklassifikationen

Beispiel: Klassifizierung Südburgenland (Winter 2021)

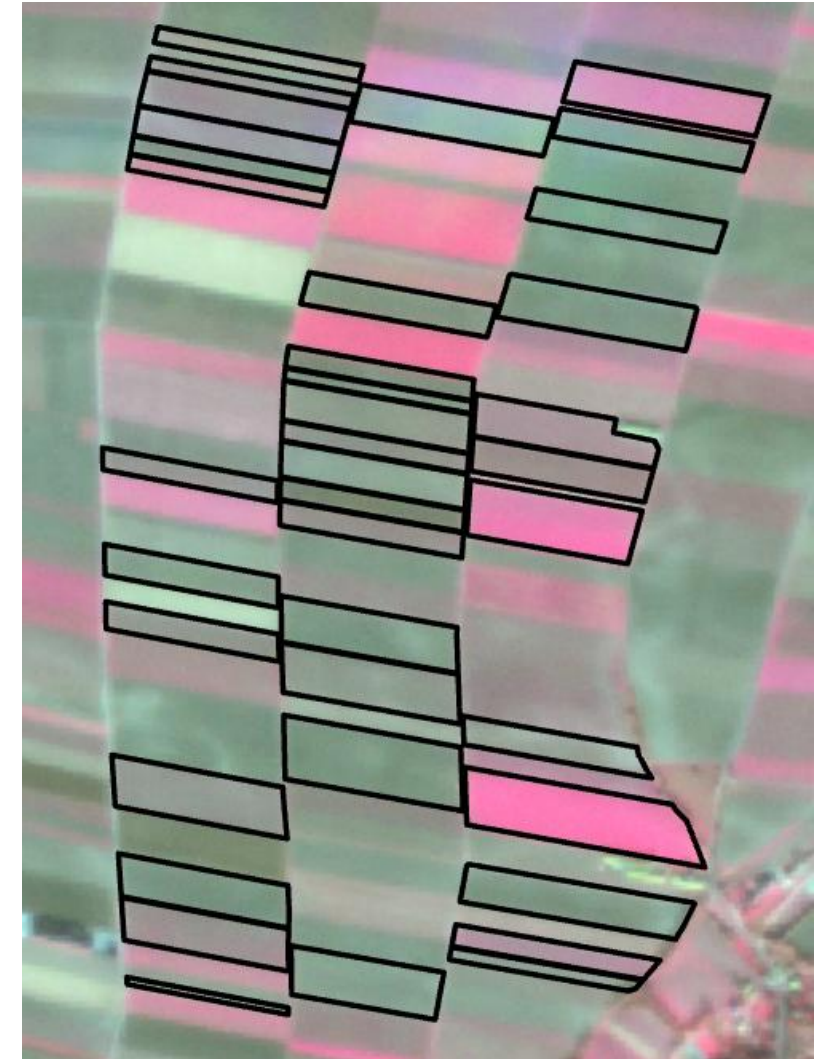
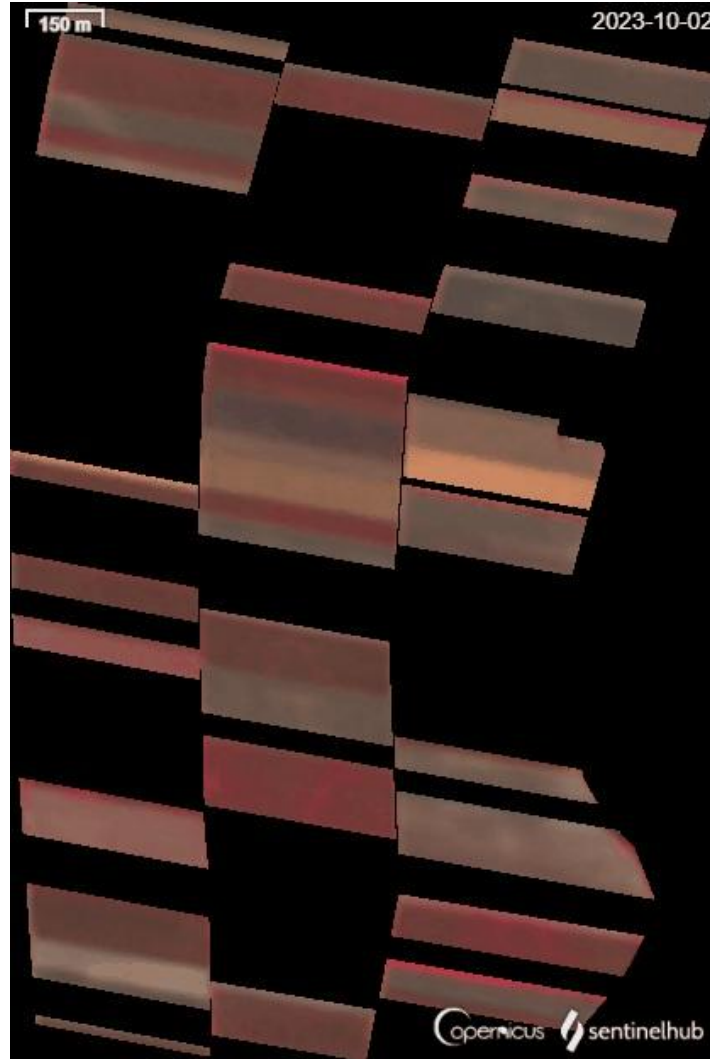


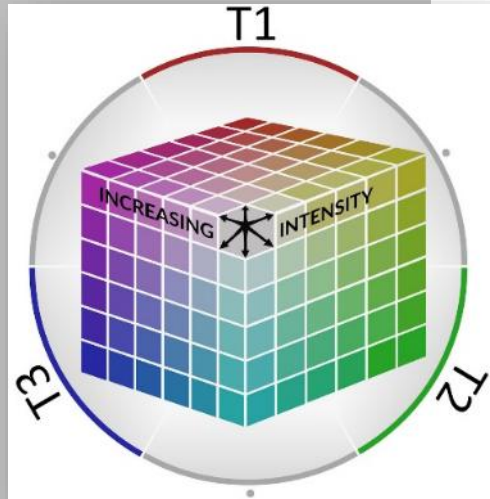
Legende

-  Nicht klassifiziert
-  Überwiegend Erde
-  Spärliche Vegetation
-  Dichte Vegetation
-  Vegetation

Verifikation mit höher-aufgelösten Satellitendaten: Planet Scope

Sentinel-2 Zeitreihe (Algorithmenentwicklung – 10m) Validierungsdaten (hier Planet 3m, 19.12.2023)





GTIME - GTIF-AT – Copernicus Temporal Spectrum: Multitemporal Vegetation Change Dynamics across all Sentinel-2 observations:

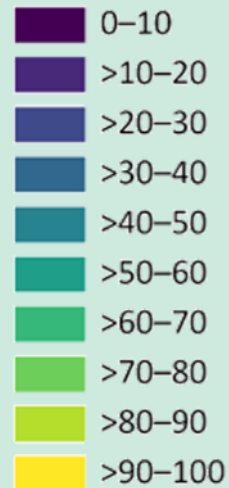
Multitemporale, interpretierbare Basemap für Vegetationsdynamik in Österreich

Beispiel: wie grün ist Österreich?

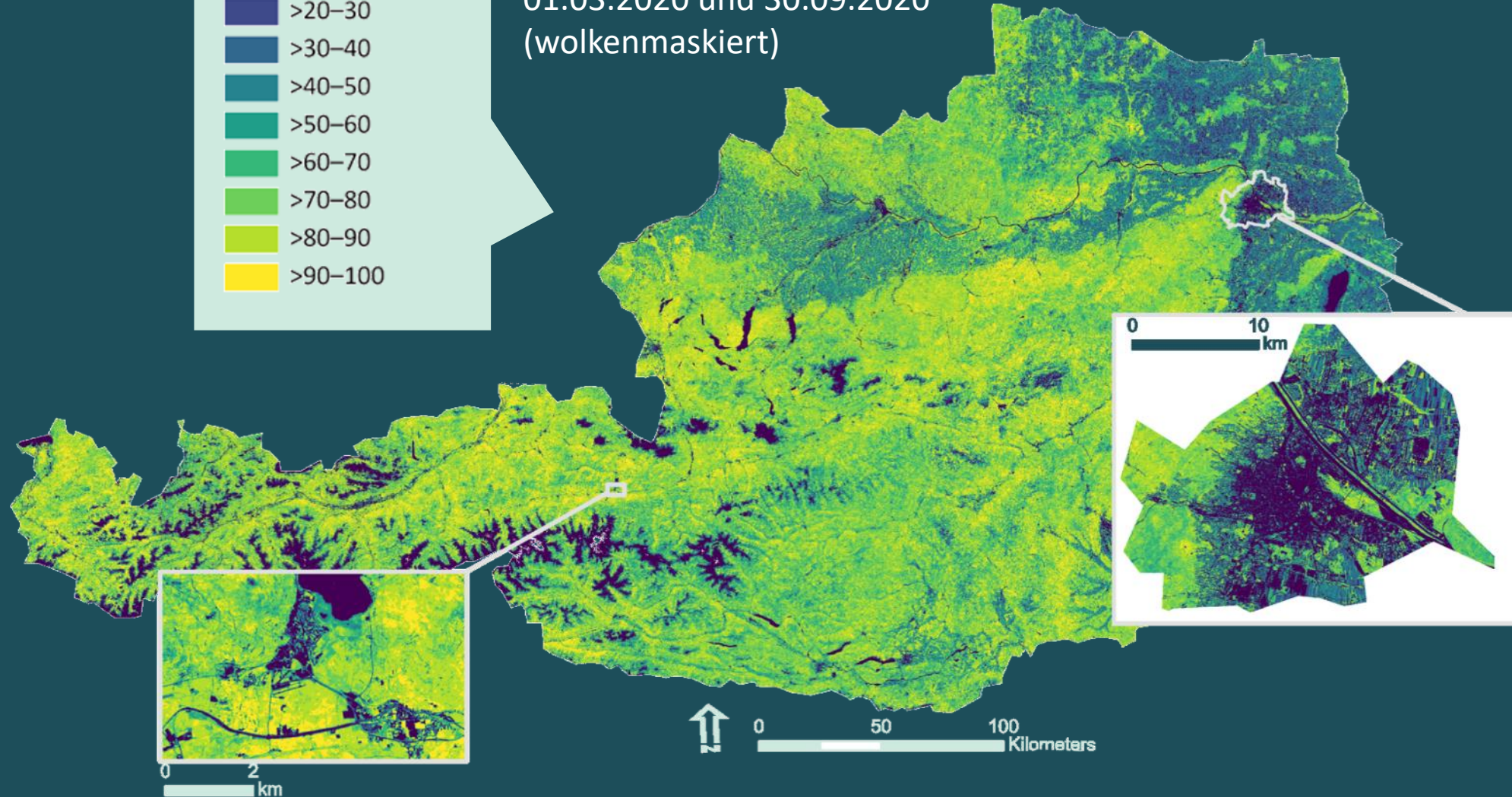
Aggregierte Beobachtungen von Vegetation/Nicht-Vegetation

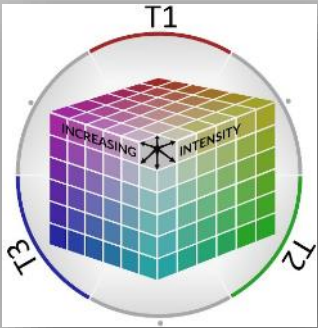
Wolken/Schnee-gefiltert, vollautomatisch berechnet

Legend



Prozentsatz der gesehenen Vegetation von allen validen Observierungen (Sentinel-2 hat zwischen 73-146 Abdeckungen pro Jahr in Österreich) hier zwischen 01.03.2020 und 30.09.2020 (wolkenmaskiert)

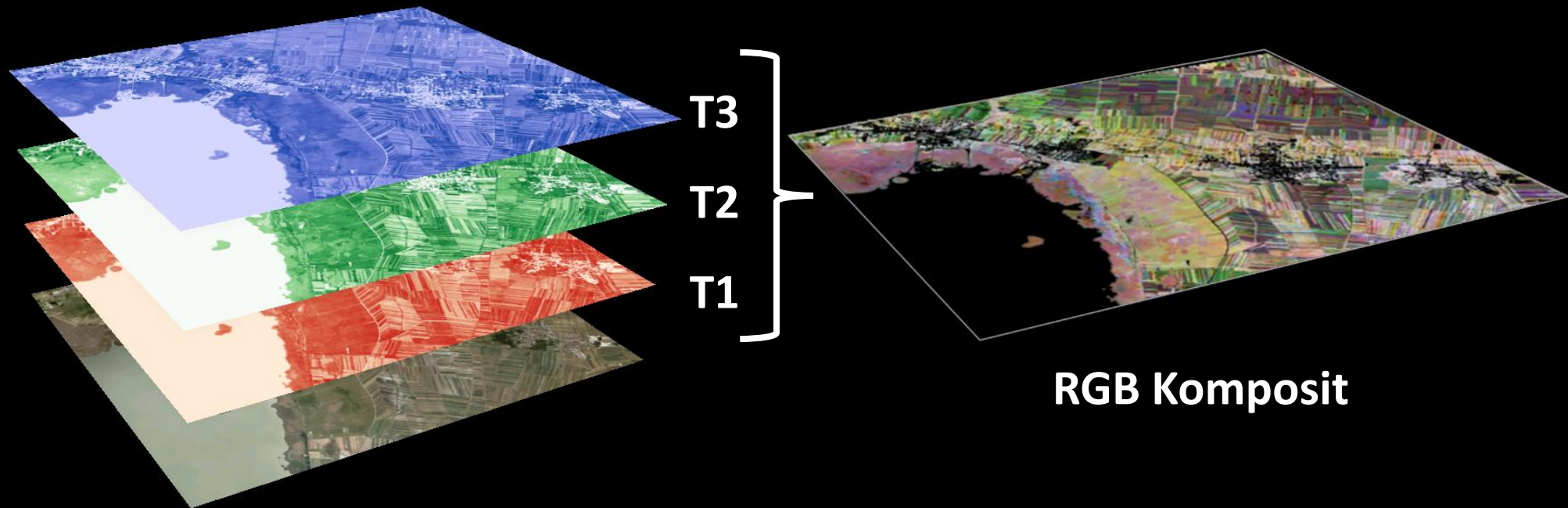




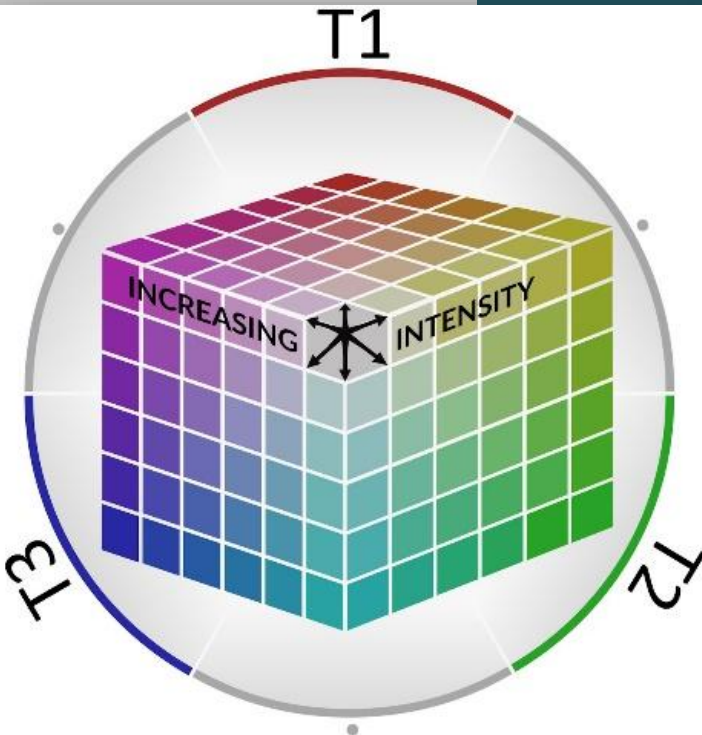
- Kombination von jeweils drei aggregierten Zeitschnitten aller verfügbaren Sentinel-2 Aufnahmen
- Darstellung als RGB Farbkomposit um multitemporale Veränderungen in einem Layer – z.B. als Basemap – direkt in GIS-Anwendungen einbinden zu können
- Verschiedene Zeiträume können unterschiedlich kombiniert werden

**Beispiel: wie grün ist Österreich?
Und wie verändert es sich über die Zeit?**

Kombination von jeweils drei Zeitschnitten als RGB Komposit



**Beispiel: wie grün ist Österreich?
Und wie verändert es sich über die Zeit?**

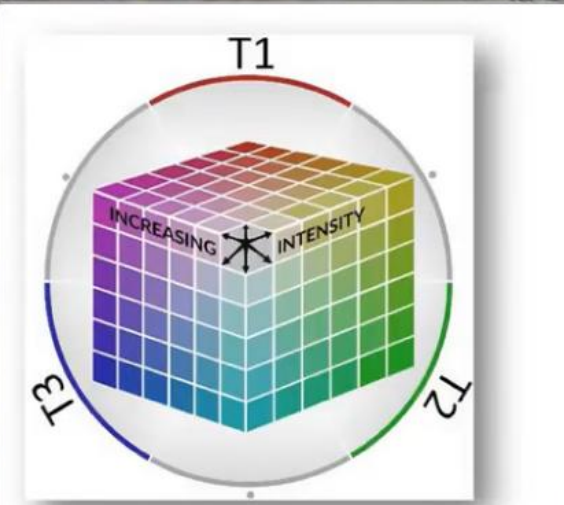
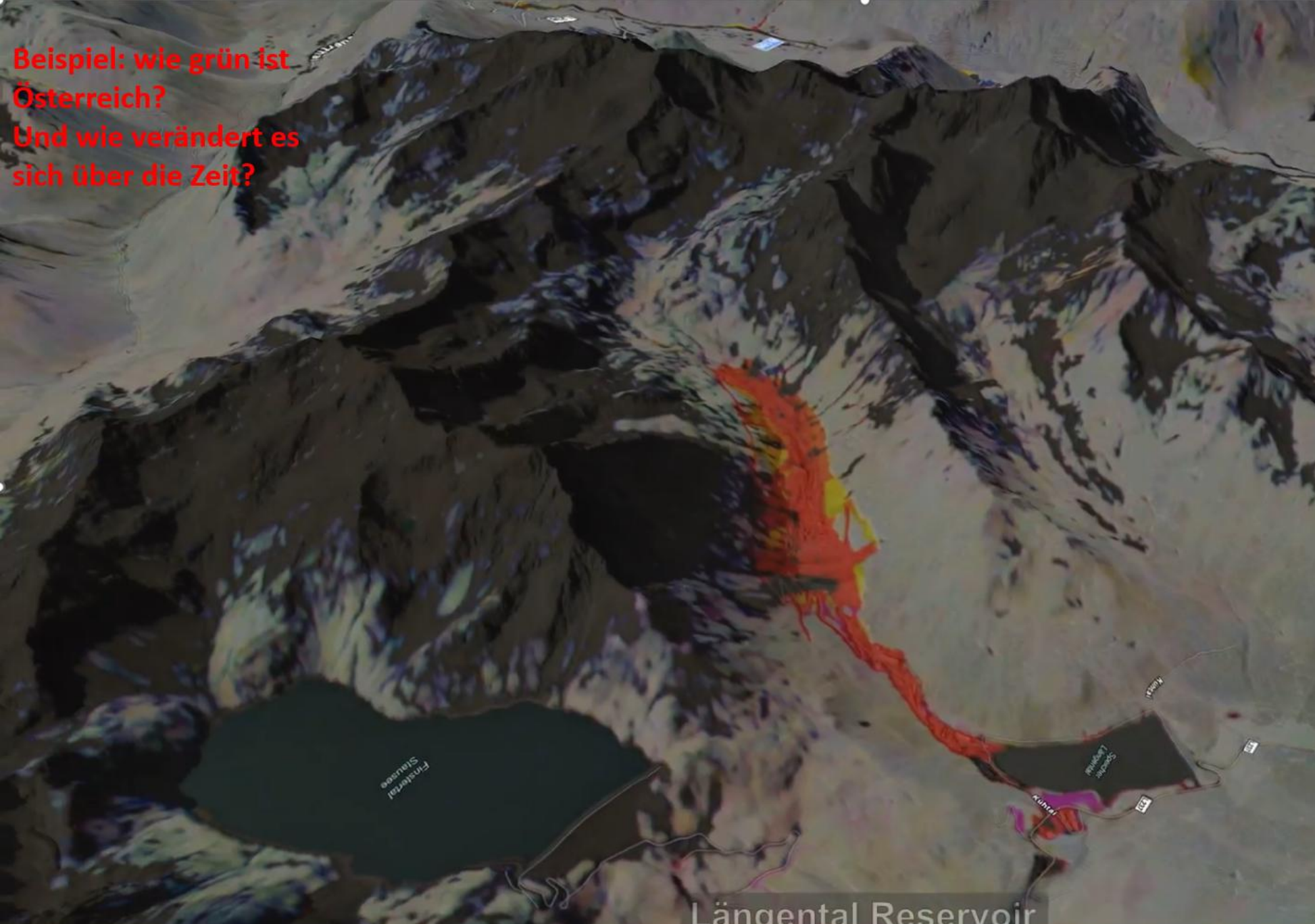


Interpretation mit RGB-Farbwürfel

- Das RGB-Farbschema und der Farbwürfel kommunizieren nicht nur die Veränderung, sondern auch die Veränderung der Intensität der Vegetation
- Jeder Zeitschnitt entspricht einem Farblayer (Zeitschnitte beliebig analysierbar und kombinierbar)

	Vegetation im jeweiligen Zeitschnitt			Interpretation
	T1	T2	T3	
	+	-	-	Vegetationsverlust nach T1
	+	+	-	Vegetationsverlust nach T2
	-	+	-	Vegetationszunahme nach T1 (in T2) aber Verlust wieder nach T3
	-	+	+	Vegetationszunahme nach T1
	-	-	+	Vegetationszunahme nach T2
	+	-	+	Vegetationsverlust nach T1, but erneute Zunahme nach T2
	+	+	+	Helle Farben / Pastellfarben – in allen drei Zeitschnitten Vegetation
	-	-	-	In allen Zeitschnitten keine Vegetation

Beispiel: wie grün ist Österreich?
 Und wie verändert es sich über die Zeit?

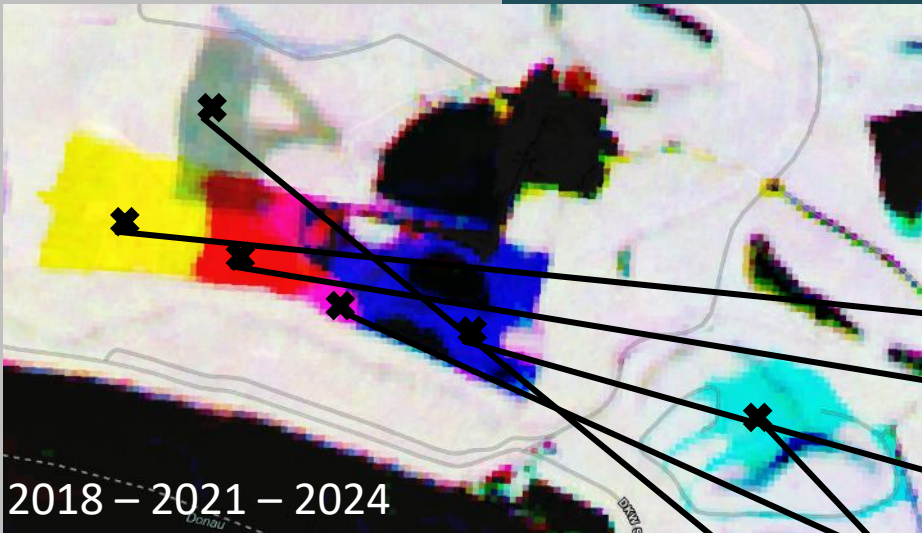


	Vegetation observed per time period			Interpretation
	T1	T2	T3	
	+	-	-	vegetation in T1, little to no vegetation in T2 and T3
	+	+	-	vegetation loss after T2
	-	+	-	vegetation in T2, little to no vegetation in T1 and T3
	-	+	+	vegetation increase after T1
	-	-	+	vegetation in T3, little to no vegetation in T1 and T2
	+	-	+	green shade missing, as little to no vegetation in T2
	+	+	+	bright colours: highly vegetated in all time periods
	-	-	-	without vegetation for the whole-time span

T1 2018 - T2 2021 - T3 2024

Längental Reservoir

Das RGB-Komposit bleibt auch auf jährlicher Basis interpretierbar, und leichte Farbänderungen können weiterhin mit prozentualen Veränderungen der Vegetation in Verbindung gebracht werden.



Color	2018	2021	2024
Yellow	100	89	0
Red	98	0	0
Blue	0	0	81
Magenta	96	0	79
Cyan	10	93	89
Green	46	53	43

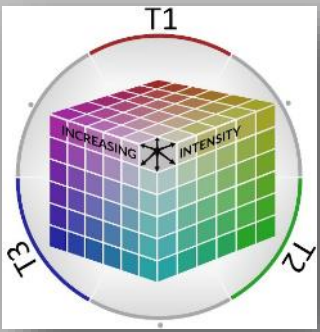


Strong intense colours, show strong differences in amount of vegetation seen per year

Less intense / pastel colours: slighter changes in number of vegetation observations per year (last entry: typical behaviour of agricultural area)

Percentage of cloud/snow free Sentinel-2 observation which showed vegetation per year





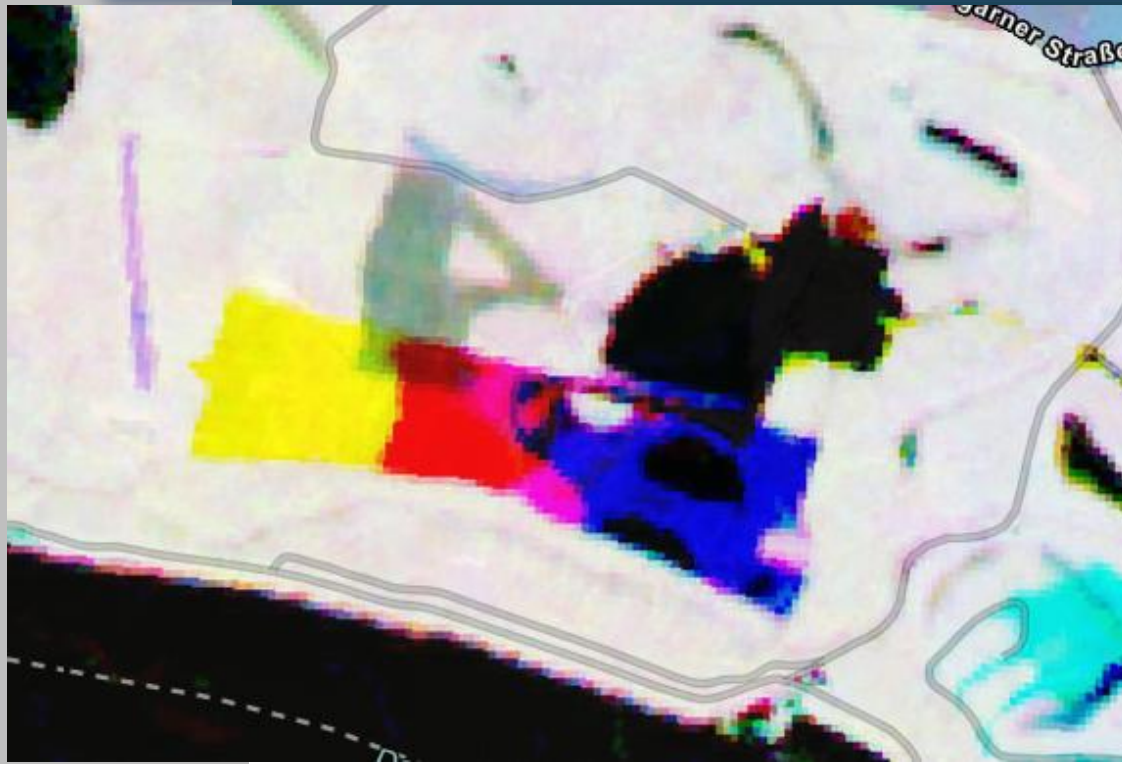
Einfach selbst ausprobieren – österreichweit berechnet

Storymap mit Erläuterungen und online Web Maps:

<https://gtime.sen2cube.at>

WMS Link – zur kostenlosen Integration in jedes GIS, es werden bisher drei verschiedene Jahreskombinationen angeboten (**2018-2021-2024**, **2021-2022-2023**, **2022-2023-2024**):

<https://geoserver.spatial-services.com/geoserver/ows?service=wms&request=GetCapabilities>



Assoz.-Prof. Dr Dirk Tiede
Fachbereich Geoinformatik
Paris Lodron Universität Salzburg

E-mail: dirk.tiede@plus.ac.at



| Z GIS

The research has received funding from the Austrian Research Promotion Agency (FFG) under the Austrian Space Application Programme (ASAP) within the project SPACE4AD, INTERFACE, Sen2Cube.at and under the Digital Twin Austria Programme within the project GTIME

