

## Vegetation und Landnutzung

**Karten zur Vegetation und Landnutzung in Raum und Zeit aus der Fernerkundung - zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen**

**KOBO-Bericht Nr. 5**

September 2023

## Impressum

**Autor:innen:** Felix Stumpf, Thorsten Behrens, Karsten Schmidt, Armin Keller

**Erscheinungsjahr:** 2023

**Herausgeber:** Kompetenzzentrum Boden (KOBO), ccsols.ch.

Das KOBO arbeitet im Auftrag der drei Bundesämter BAFU (Bundesamt für Umwelt), BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) und ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) und ist an der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL) der Berner Fachhochschule (BFH) in Zollikofen angesiedelt.

**Empfohlene Zitierweise:** Stumpf F., T. Behrens, K. Schmidt und A. Keller Autoren (2023). Vegetation und Landnutzung -- Karten zur Vegetation und Landnutzung in Raum und Zeit aus der Fernerkundung zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in Bodenkartierungen. KOBO-Bericht Nr. 5, BFH-HAFL, CH-3052 Zollikofen-Bern, verfügbar unter [www.ccsols.ch](http://www.ccsols.ch)

**Copyright:** Gemäss untenstehendem Creative Commons-Lizenzsymbol ist die nicht-kommerzielle Vervielfältigung erwünscht, jedoch mit Quellenangabe und einem Belegexemplar an den Herausgeber. Die Weitergabe erfolgt nur unter gleichen Lizenzbedingungen.



# Inhaltsverzeichnis

		1
1	Hintergrund	4
2	Datengrundlagen	4
	2.1 Sentinel-2	4
	2.2 Atmosphärische Korrekturen	5
	2.3 Spektraler Vegetationsindex (NDVI)	5
	2.4 NDVI - Rasterzeitreihe	6
3	Datenprodukte	7
	3.1 NDVI pro Monat für alle Jahre	7
	3.2 NDVI pro Monat für alle Jahre aggregiert (Referenz)	8
	3.3 Differenz NDVI pro Monat zur Referenz (Anomalie)	8
	3.4 NDVI- Variabilität	9
4	Datenstruktur Rasterkarten	10
5	Kontakt und Datenlieferung	11
6	Literatur	12

# 1 Hintergrund

Vegetation und Landnutzung bestimmen langfristig Bodenprozesse und Bodeneigenschaften und sind somit bedeutende bodenbildende Faktoren (D'Amico et al., 2014; Dror et al., 2022). Unter anderem beeinflussen Vegetation und Landnutzung die Kohlenstoff- und Nährstoffkreisläufe im Boden und verändern dabei die Bodenbiologie und Bodenphysik (De Vries et al. 2013). Veränderungen der Vegetation und Landnutzung über die Zeit beeinflussen zudem Bodeneigenschaften wie z.B. organische Substanz, Raumgewicht und Wasserspeicherkapazität (Haghighi et al. 2010). Im Rahmen von Bodenkartierungen sind flächendeckende Umweltvariablen zu Vegetation und Landnutzung sowie deren Veränderung in der Zeit daher wichtige Grundlagenkarten (Lamichhane et al., 2019; Venter et al., 2021). Sowohl für die Konzeptphase in Bodenkartierungen als auch für die Feldarbeiten können sie die Kartierung von Böden unterstützen.

Satellitendaten ermöglichen eine flächendeckende, grossräumige und gleichzeitige Beschreibung von Vegetation und Landnutzung mit hohen zeitlichen Wiederholungsraten. So können multitemporale Satellitendaten zu einer Zeitreihe aus Satellitenaufnahmen konvertiert werden, um darauf aufbauend Informationen zur Vegetation und Landnutzung in Raum und Zeit abzuleiten (Araya et al., 2018; Fatholouloumi et al., 2020; Silva-Coira et al., 2021).

Die vorliegende Dokumentation beschreibt die Herleitung von Karten zur Vegetation und Landnutzung aus der Fernerkundung. Die Karten beschreiben für den Zeitraum von 2018 bis 2022 (5 Jahre) den Zustand der Vegetation pro Monat, als langjährige monatliche Referenz (über 5 Jahre gemittelt), als monatliche Abweichung von der langjährigen Referenz und als langjährige Variabilität. Dies ermöglicht es den Kartierenden einzelne Flächen u.a. im Hinblick auf das Wasserangebot und die Bodenbeschaffenheit zu bewerten und so in Ihrer Kartierung zu berücksichtigen. Mit Hinblick auf die sehr trockenen Jahre 2018 und 2022 ermöglichen die Zeitreihen für die Vegetation eventuell Rückschlüsse auf den zeitlichen Verlauf des Wasserhaushalts der Böden. Dies kann je nach Region und Ausprägung wertvolle Hinweise für die räumliche Grenzziehung von Kartiereinheiten liefern.

Die Karten werden als standardisiertes Datenpaket pro Gemeinde vom KOBO für die Kantone bereitgestellt.

## 2 Datengrundlagen

### 2.1 Sentinel-2

Das europäische Raumfahrtprogramm 'Copernicus' der Europäischen Union betreibt die satellitengestützte Erdbeobachtungs-Mission Sentinel-2 zur flächendeckenden Erfassung vorwiegend terrestrischer Umweltressourcen. Seit 2018 liefern Sentinel-2 Satelliten optische Spektraldaten aus dem sichtbaren und infraroten Spektrum in 13 Kanälen und einer globalen Wiederholungsrate von 5 Tagen. Die räumliche Auflösung der Aufnahmen beträgt je nach Kanal 10m, 20m oder 60m. Kanäle in einer räumlichen Auflösung von 60m werden vorzugsweise für atmosphärische Korrekturen der Daten verwendet. Höher aufgelöste Kanäle dienen der Kartierung von Vegetation, Landnutzung und Landbedeckung, sowie deren Veränderung (**Tabelle 1**; ESA, 2023a). Für die Erstellung der Kartenprodukte zur 'Vegetation und Landnutzung' wurden in der jetzigen Version 1.0 Aufnahmen der Sentinel-2 Satelliten der Landesfläche der Schweiz zwischen März und Oktober von 2018 bis 2022 verwendet.

## 2.2 Atmosphärische Korrekturen

An den multispektralen Sensoren der Sentinel-2 Satelliten wird die spektrale Reflektion der Erdoberfläche am oberen Rand der Atmosphäre ('Top of Atmosphere') registriert. Das 'Top of Atmosphere'-Signal ist gestört durch Streuung und Absorption an atmosphärischen Gasen und Aerosolen, sowie durch Abschattung und Topografie (Shakun et al., 2022). Mittels der Korrektur-Algorithmen lassen sich Effekte atmosphärischer Störungen minimieren und Gebiete mit Wolkenbedeckung maskieren (Louis et al., 2021; Zupanc, 2017). Diese Arbeitsschritte beinhalten eine Reihe von umfangreichen Korrekturberechnungen der Rohdaten. Das bereinigte Signal repräsentiert letztlich die spektrale Reflektion der Erdoberfläche. Alle verwendeten Sentinel-2 Satellitenaufnahmen wurden mit Hilfe der Algorithmen 'Sen2Cor' und 'S2cloudless' atmosphärisch korrigiert (Louis et al., 2021; Zupanc, 2017; ESA, 2023b; SentinelHub, 2023).

**Tabelle 1:** Kennwerte der Sentinel-2 Sensorik. Aufgelistet ist die spektrale Auflösung anhand der zentralen Wellenlänge der Kanäle, sowie deren Nutzen und räumliche Auflösung.

Kanal	Wellenlänge [nm]	Nutzen	Auflösung [m]
B1 - 'Coastal aerosol'	443	Atmosphärische Korrektur	60
B2 - 'BLUE'	492	Atmosphärische Korrektur, Landnutzung, Vegetation	10
B3 - 'GREEN'	560	Landnutzung, Vegetation	10
B4 - 'RED'	665	Landnutzung, Vegetation	10
B5 - 'Red Edge1'	704	Landnutzung, Vegetation	20
B6 - 'Red Edge2'	740	Landnutzung, Vegetation	20
B7 - 'Red Edge3'	783	Landnutzung, Vegetation	20
B8 - 'NIR'	835	Atmosphärische Korrektur, Landnutzung, Vegetation	10
B9 - 'Narrow NIR'	865	Atmosphärische Korrektur, Landnutzung, Vegetation	20
B10 - 'Water Vapour'	945	Atmosphärische Korrektur	60
B11 - 'SWIR Cirrus'	1374	Atmosphärische Korrektur	60
B12 - 'SWIR1'	1614	Landnutzung, Vegetation	20
B13 - 'SWIR2'	2202	Atmosphärische Korrektur, Landnutzung, Vegetation	20

## 2.3 Spektraler Vegetationsindex (NDVI)

Der 'NDVI' ('Normalized Difference Vegetation Index') ist ein spektraler Vegetationsindex und dient als Indikator für Vegetationsdichte, -zustand und -produktivität (Frampton et al., 2013; Stumpf et al., 2020). Produktive Vegetation reflektiert im Bereich des roten Wellenlängenbereichs relativ wenig und im infraroten Bereich relativ viel Strahlung. Der 'NDVI' berechnet sich aus dem Verhältnis dieser beiden Spektralbereiche ('RED', 'NIR'; siehe **Tabelle 1**; Rouse et al., 1974):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Der Index skaliert zwischen -1 und 1. Generell lassen negative 'NDVI'-Werte auf Wasserflächen, und niedrige positive 'NDVI'-Werte auf annähernd vegetationsfreie Flächen schliessen. Weiter ansteigende Werte deuten auf eine zunehmende Biomasse und gesündere Vegetation hin. Der 'NDVI' wurde für jede Rasterzelle aller atmosphärisch korrigierten Sentinel-2 Aufnahmen berechnet.

## 2.4 NDVI - Rasterzeitreihe

Eine Rasterzeitreihe besteht aus mehreren Rasterdatensätzen, die nach Aufnahmezeitpunkt sortiert sind und dieselbe räumliche Ausdehnung aufweisen (Picoli et al., 2018; Silva-Coira et al., 2021; Simoes et al., 2021). Es wurden alle vorprozessierten Sentinel-2 'NDVI' Aufnahmen zu einer 'NDVI' Rasterzeitreihe konvertiert (Adorno et al., 2023; Ferreira et al., 2020; Moskolai et al., 2021). Im Ergebnis kann für jede Rasterzelle der spezifische zeitliche Verlauf des 'NDVI' für relevante Zeitintervallen aggregiert, analysiert und dargestellt werden (Abbildung 1; Griffiths et al., 2019; Kennedy et al., 2018; Verbesselt et al., 2010). Insbesondere zeitlich-räumliche Veränderungen des NDVI können Hinweise zur räumlichen Variation vom Bodenaufbau und Bodeneigenschaften und zum Wasserhaushalt der Böden liefern.

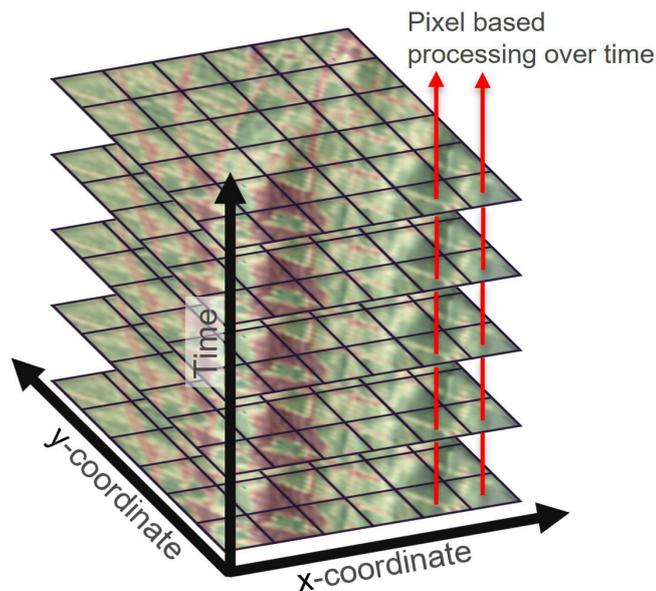


Abbildung 1: Rasterzeitreihe zu Vegetation und Landnutzung als multidimensionaler Datensatz in Raum und Zeit (Version 1.0 von 2018 bis 2022 pro Gemeinde).

## 3 Datenprodukte

### 3.1 NDVI pro Monat für alle Jahre

Die 'NDVI' Rasterzeitreihe wurde pixelbasiert anhand der monatlichen Mittelwerte aggregiert, um nahezu flächendeckend zeitlich hochaufgelöste und abstandsgleiche 'NDVI'-Zeitreihen zu erhalten. Die 'NDVI'-Zeitreihen umfassen die Monate März bis Oktober von 2018 bis 2022 (**Abbildung 1**). Aufgrund der atmosphärischen Korrekturen und der daraus resultierenden Rasterzellen, die keinen Wert aufweisen ('NoData'-Pixel), kann für einzelne Bereiche und Zeitpunkte kein 'NDVI'-Wert abgeleitet werden. Ist dies der Fall, wurden die 'NDVI'-Werte mittels einer lokalen linearen Regression basierend auf den Werten der drei folgenden, respektive vorherigen Monate geschätzt. Für den Fall, dass mehr als zwei Monate innerhalb der Zeiträume März-Juni und Juli-Oktober keinen 'NDVI'-Wert aufweisen, wurde die gesamte Zeitreihe als 'NoData' gekennzeichnet. Fehlende 'NDVI'-Werte zwischen April und September wurden mittels einer 'Spline'-Interpolation geschätzt.

Die monatlichen NDVI-Rasterkarten beschreiben den Zustand, die Dichte bzw. die Produktivität der Vegetation im monatlichen Verlauf (Abbildung 2). Das Datenprodukt besteht aus 8 einzelnen 'NDVI'-Rasterdatensätzen pro Jahr, entsprechend den Monaten März bis Oktober (d.h. 8 x 5 Jahre = 40 Karten).

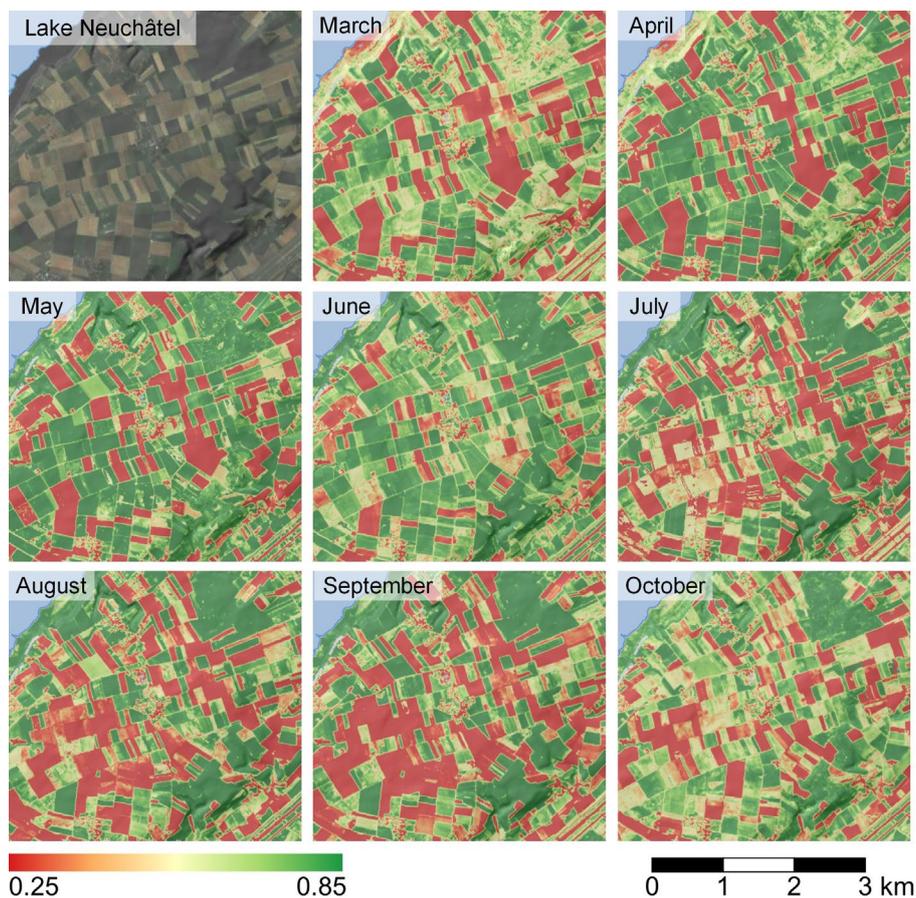


Abbildung 2: Monatliche NDVI-Rasterkarten beispielhaft für das Jahr 2021 am Südufer des Neuenburger Sees. Neben den Unterschieden zwischen den Parzellen (abhängig von der Kultur) liefern die Karten auch Hinweise zur räumlich-zeitlichen Variation innerhalb der Parzellen.

### 3.2 NDVI pro Monat für alle Jahre aggregiert (Referenz)

Auf Basis der monatlichen NDVI-Rasterkarten wurde der monatliche Mittelwert über alle Jahre von 2018 bis 2022 berechnet. Die resultierenden NDVI-Rasterkarten können für diesen Zeitraum als die Referenz angesehen werden. Sie beschreiben den Zustand, die Dichte bzw. die Produktivität der Vegetation im monatlichen Verlauf als langjähriges Mittel. Das Kartenprodukt dient als Referenz, um Abweichungen der 'NDVI'-Werte in einzelnen trockeneren oder feuchteren Jahren zu bewerten, und um Rückschlüsse auf Unterschiede im Aufbau und Beschaffenheit der Böden ziehen zu können (Kapitel 3.4). Das Datenprodukt besteht aus 8 einzelnen NDVI-Rasterdatensätzen, entsprechend den Monaten März bis Oktober (Abbildung 3).

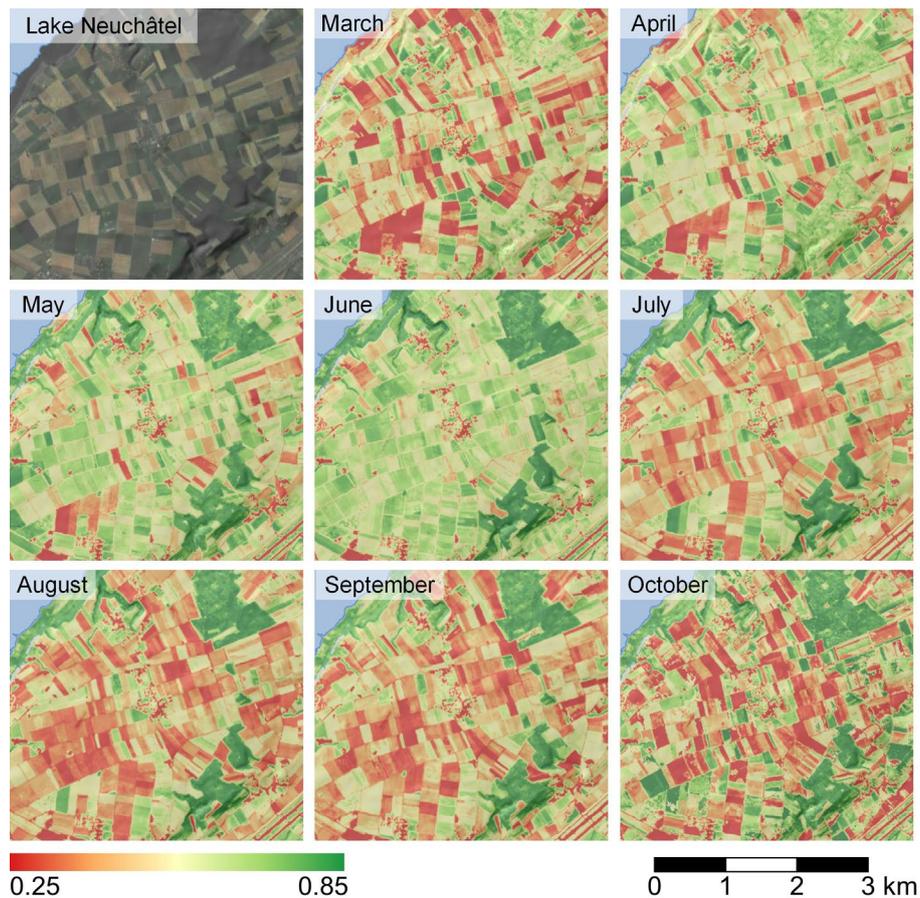


Abbildung 3: Monatliche NDVI-Rasterkarten aggregiert für den Zeitraum 2018 bis 2022 (Referenz), beispielhaft für das Südufer des Neuenburger Sees.

### 3.3 Differenz NDVI pro Monat zur Referenz (Anomalie)

Die monatlichen NDVI-Rasterkarten (Kapitel 3.1) werden hier auf die monatlichen NDVI-Referenzen (Kapitel 3.2) bezogen, d.h. es wird die Differenz zwischen diesen NDVI-Rasterdatensätzen gebildet. Das Ergebnis beinhaltet somit Informationen zu Abweichungen des NDVI vom langjährigen Mittel (Anomalie).

Mit anderen Worten, es wird die monatliche Abweichung der Produktivität der Vegetation vom langjährigen Referenzwert im monatlichen Verlauf beschrieben. Der Datensatz ermöglicht beispielsweise die Identifikation und Beschreibung einzelner Zeiträume, die sich durch extreme Umweltbedingungen auszeichnen und so Rückschlüsse auf den Boden und den Wasserhaushalt ermöglichen. Das

Datenprodukt besteht aus 8 einzelnen Rasterdatensätzen, für die Monate März bis Oktober, für jedes Jahr von 2018 bis 2022 (Abbildung 4).

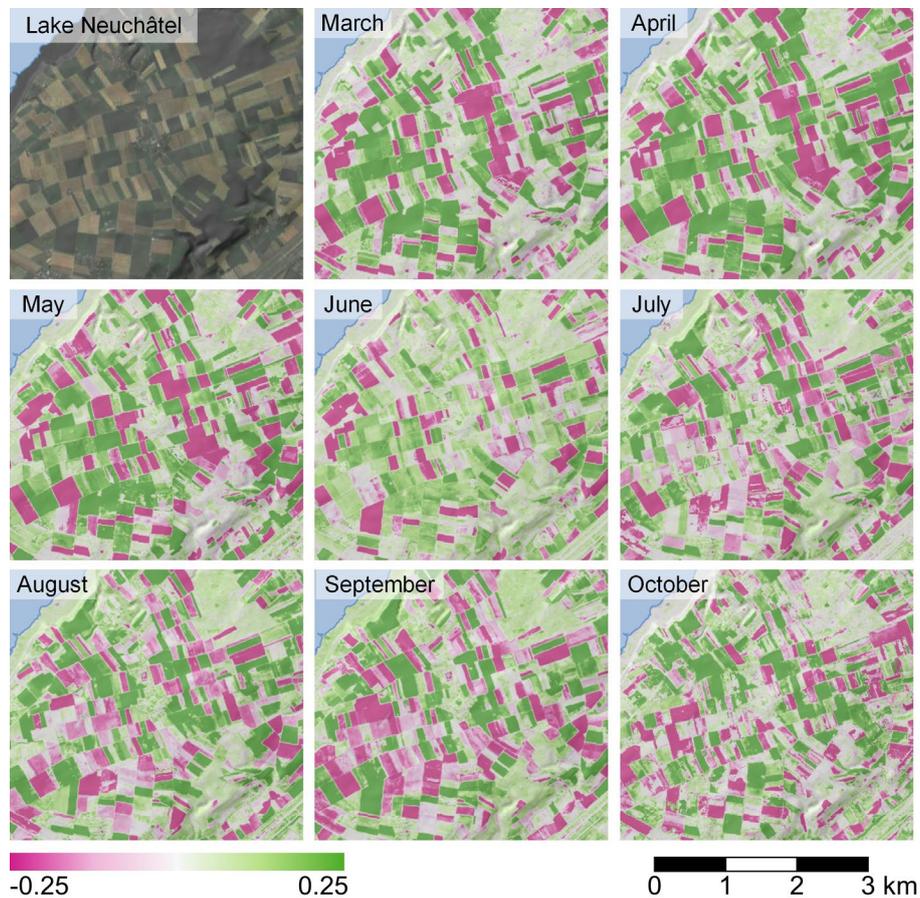


Abbildung 4: Die Rasterkarten mit monatlichen NDVI-Anomalien beispielhaft für das Jahr 2021 am Südufer des Neuenburger Sees.

### 3.4 NDVI- Variabilität

Auf Basis der monatlichen NDVI-Rasterkarten (Kapitel 3.1) wurde die Standardabweichung über alle Monate für jedes Jahr berechnet, sowie die resultierenden Standardabweichungen über alle Jahre seit 2018 gemittelt.

Die resultierenden Rasterkarten beschreiben im räumlichen Kontext die jährliche und langfristige Variabilität von Zustand, Dichte bzw. Produktivität der Vegetation. Der Datensatz dient beispielsweise der Bewertung von Landnutzungsintensität und Managementeinflüssen auf landwirtschaftlichen Flächen. Das Kartenprodukt entspricht einer Aggregation aller verfügbaren NDVI-Rasterkarten von 2018 bis 2022, und besteht somit aus einem Rasterdatensatz (Abbildung 5).

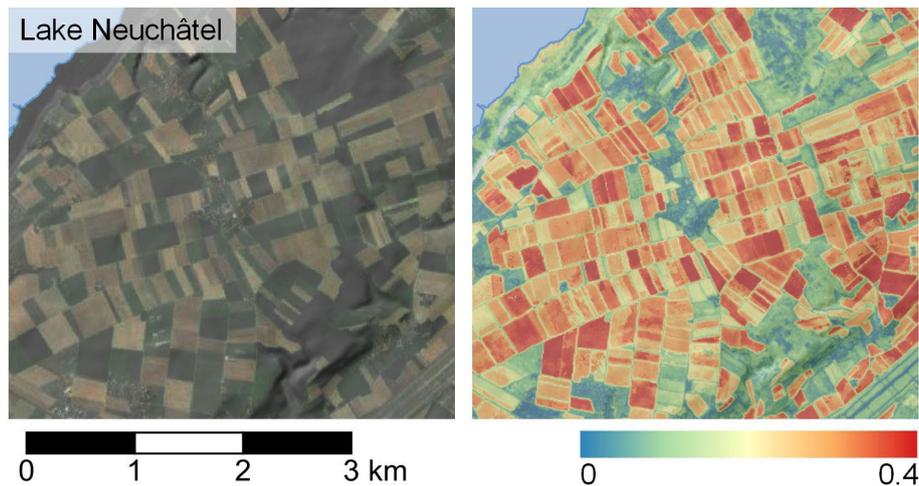


Abbildung 5: NDVI-Rasterkarte mit der mittleren Standardabweichung über die Jahre 2018 bis 2022 (NDVI-Variabilität), beispielhaft am Südufer des Neuenburger Sees.

## 4 Datenstruktur Rasterkarten

Die insgesamt 89 Rasterkarten werden **pro Gemeinde oder pro Kanton** in einem Datenpaket (zip File zum download) mit folgenden Unterordnern bereitgestellt:

- NDVI gemittelt pro Monat für den Zeitraum März bis Oktober für alle Jahre
  - Verzeichnis im ZIP-File: \01\_Data\_Products\_NDVI\_S2\01\_monthly\_mean
  - Dateiname - Beispiel: "S2\_ndvi\_mean\_2020\_04.tif", bedeutet NDVI Mittelwert für den Monat April im Jahr 2020 mit den Fernerkundungsdaten von Sentinel 2.
  - Ableitung des NDVI für 8 Monate und 5 Jahre 2018 bis 2022 (Kapitel 3.1)
  - 40 Datensätze
- NDVI pro Monat (März bis Oktober) für alle Jahre aggregiert (Referenz)
  - Verzeichnis im ZIP-File: \01\_Data\_Products\_NDVI\_S2\02\_monthly\_mean\_reference
  - Dateiname - Beispiel: "S2\_ndvi\_mean\_2018\_2022\_07.tif", bedeutet NDVI Mittelwert über das monatliche Mittel im Juni für die Jahre 2018 bis 2022 mit den Fernerkundungsdaten von Sentinel 2.
  - Ableitung des monatlichen Durchschnittswertes des NDVI für 8 Monate über alle 5 Jahre (Kapitel 3.2)
  - 8 Datensätze
- Differenz NDVI pro Monat zur Referenz (Anomalie)
  - Verzeichnis im ZIP-File: \01\_Data\_Products\_NDVI\_S2\03\_monthly\_mean\_anomaly
  - Dateiname - Beispiel: "S2\_ndvi\_anomaly\_2019\_06.tif", bedeutet NDVI Differenz aus dem Mittelwert für den Monat Juni im Jahr 2019 und der Referenz (siehe oben, der Mittelwert über das monatliche Mittel im Juni für die Jahre 2018 bis 2022 unter Verwendung der Fernerkundungsdaten von Sentinel 2.
  - Ableitung der monatlichen Anomalie des NDVI für 8 Monate über alle 5 Jahre (Kapitel 3.3)
  - 40 Datensätze
- NDVI- Variabilität jährlich
  - Verzeichnis im ZIP-File: \01\_Data\_Products\_NDVI\_S2\04\_annual\_sd
  - Dateiname - Beispiel: "S2\_ndvi\_sd\_2020.tif", bedeutet NDVI Standardabweichung über das monatliche Mittel (März bis Oktober) für das Jahr 2020.
  - Mittlere Standardabweichung des NDVI über alle 8 Monate März bis Oktober pro Jahr und die Varianz der NDVI über März bis Oktober über alle 5 Jahre 2018 bis 2022 (Kapitel 3.4)
  - 5 Datensätze (Standardabweichung)

- NDVI- Variabilität langfristig
  - Verzeichnis im ZIP-File \01\_Data\_Products\_NDVI\_S2\05\_longterm\_var
  - Dateiname: "S2\_ndvi\_variability\_2018\_2022.tif", bedeutet NDVI Mittelwert über die jährlichen Standardabweichung der Jahre 2018 bis 2022.
  - Mittlere Standardabweichung des NDVI über alle 8 Monate März bis Oktober pro Jahr und die Varianz der NDVI über März bis Oktober über alle 5 Jahre 2018 bis 2022 (Kapitel 3.4)
  - 1 Datensatz (Varianz)

## 5 Kontakt und Datenlieferung

Die Berechnungen der beschriebenen Produkte aus der Fernerkundung dient zur Unterstützung der Konzeptphase und Feldarbeiten in kantonalen Bodenkartierungen. Die Berechnung und Lieferung der Produkte erfolgt auf **Stufe der Gemeindegrenzen oder auf Stufe Kanton**. Anfragen für diesen Service sind über das online-Formular auf der KOBO-Webseite mit Angabe der BFS Nummer der Gemeinde (Bundesamt für Statistik) und dem Gemeindefnamen zu stellen, bzw. pro Kanton. Nach Bearbeitung der Anfrage wird dem Nutzer pro Gemeinde bzw. pro Kanton die Daten per Link als Download zur Verfügung gestellt. Um den Arbeitsablauf zu optimieren, bitten wir sie, Anfragen, die mehr als 3 Gemeinden umfassen, in dem online-Formular zu begründen.

Ihr Feedback ist für uns sehr wichtig. So können wir Ihre Anregungen aufnehmen und diesen Service des KOBO für die Kantone stets weiterentwickeln. Teilen Sie uns daher gerne Ihre Erfahrungen und Verbesserungswünsche mit. Nutzen Sie hierfür folgenden Kontakt: [service@ccsols.ch](mailto:service@ccsols.ch).

## 6 Literatur

- Adorno BV., Körting TS., Amaral S., 2023: Contribution of time-series data cubes to classify urban vegetation types by remote sensing. *Urban Forestry & Urban Greening* 79, 127817.
- Araya S., Ostendorf B., Lyle G., Lewis M., 2018: CropPhenology: An R package for extracting crop phenology from time series remotely sensed vegetation index imagery. *Ecological Informatics* 46, 45-56.
- D'Amico ME., Freppaz M., Filippa G., Zanini E., 2014 : Vegetation influence on soil forming rate in a proglacial chronosequence (Lys Glacier, NW Italian Alps). *Catena* 113, 122-137.
- De Vries FT., Thebault E., Liiri M., Birkhofer K., et al., 2013 : Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. *PNAS* 35, 14296-14301.
- Dror I., Yaron B., Berkowitz B., 2022: The human impact on all soil forming factors during the Anthropocene. *ACS Environmental Au* 2, 11-19.
- ESA, 2023a: European Space Agency: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Sentinel-2](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2) (aufgerufen Juni 2023).
- ESA, 2023b: Sen2Cor – Atmospheric and terrain correction for Sentinel 2 images: <https://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/> (aufgerufen Juni 2023).
- Fatholouloumi S., Vaezi, AR., Alavipanah SK., Ghorbani A., Saurette D., Biswas A., 2020: Improved digital soil mapping with multitemporal remotely sensed satellite data fusion: A case study in Iran. *Science of the Total Environment* 721, 137703.
- Ferreira KR., Queiroz GR., Vinhas L., Marujo RFB., Simoes REO., Picoli MCA., et al., 2020: Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing* 12, 4033.
- Frampton WJ., Dash J., Watmough G., Milton EJ., 2013: Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 82, 83-92.
- Griffiths P., Nendel C., Hostert P., 2019: Intra-annual reflectance composites from Sentinel-2 and Landsat for national-scale crop and land cover mapping. *Remote Sensing of Environment* 220, 135-151.
- Haghighi F., Gorji M., Shorafa M., 2010: A study of the effects of land use changes on soil physical properties and organic matter. *Land degradation and development* 21, 496-502.
- Kennedy RE., Yang Z., Gorelick N., Braaten J., Cavalcante L., Cohen WB., Healey S., 2018: Implementation of the LandTrendr algorithm on Google Earth Engine. *Remote Sensing* 10, 691
- KOBO, 2023: Kompetenzzentrum Boden, Schweiz: <https://ccsols.ch/de/home/> (aufgerufen Juni 2023).
- Lamichhane S., Kumar L., Wilson B., 2019: Digital Soil Mapping algorithms and covariates for soil organic carbon mapping and their implications: A review. *Geoderma* 352, 395-413.
- Louis J., Pflug B., Debaecker V., Mueller-Wilm U., Iannone Q., Boccia V., Gascon F., 2021: Evolutions of Sentinel-2 Level-2A Cloud Masking Algorithm Sen2Cor Prototype First Results. *IGARSS 2021 - IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553445.
- Moskolaï WR., Abdou W., Dipanda A., Kolyang, 2021: Application of Deep Learning Architectures for Satellite Image Time Series Prediction: A Review. *Remote Sensing* 13, 4822.
- Picoli MCA., Camara G., Sanches I., Simões R., Carvalho A., Maciel A., et al., 2018: Big earth observation time series analysis for monitoring Brazilian agriculture. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 145, 328-339.
- Rouse JW., Haas RH., Schell JA., Deering DW., 1974: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS-Symposium*, Washington D.C. 1973.

SentinelHub, 2023: S2cloudless - Cloud Detector for Sentinel 2 images: <https://github.com/sentinel-hub/sentinel2-cloud-detector> (aufgerufen Juni 2023).

Shakun S., Wevers J., Brockmann C., Doxani G., Aleksandrov M., Batič M., et al., 2022: Cloud mask intercomparison eXercise (CMIX): An evaluation of cloud masking algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2. *Remote Sensing of Environment* 274, 112990.

Silva-Coira F., Paramá JR., De Bernardo G., Seco D., 2021: Space-efficient representations of raster time series. *Information Sciences* 566, 300-325.

Simoes R., Camara G., Queiroz G., Souza F., Andrade P., Santos L., et al., 2021: Satellite image time series analysis for big earth observation data. *Remote Sensing* 13, 2428.

Stumpf F., Schneider MK., Keller A., Mayr A., Rentschler T., Meuli RG., Schaepman M., Liebisch, F., 2020: Spatial monitoring of grassland management using multi-temporal satellite imagery. *Ecological Indicators* 113, 106201.

Venter SV., Hawkins HJ., Cramer MD., Mills AJ., 2021: Mapping soil organic carbon stocks and trends with satellite-driven high resolution maps over South Africa. *Science of The Total Environment* 771, 145384.

Verbesselt J., Hyndman R., Newnham G., Culvenor D., 2010: Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment* 114, 106-115.

Zupanc, 2017: Improving cloud detection with Machine Learning: <https://medium.com/sentinel-hub/improving-cloud-detection-with-machine-learning-c09dc5d7cf13> (aufgerufen Juni 2023).