

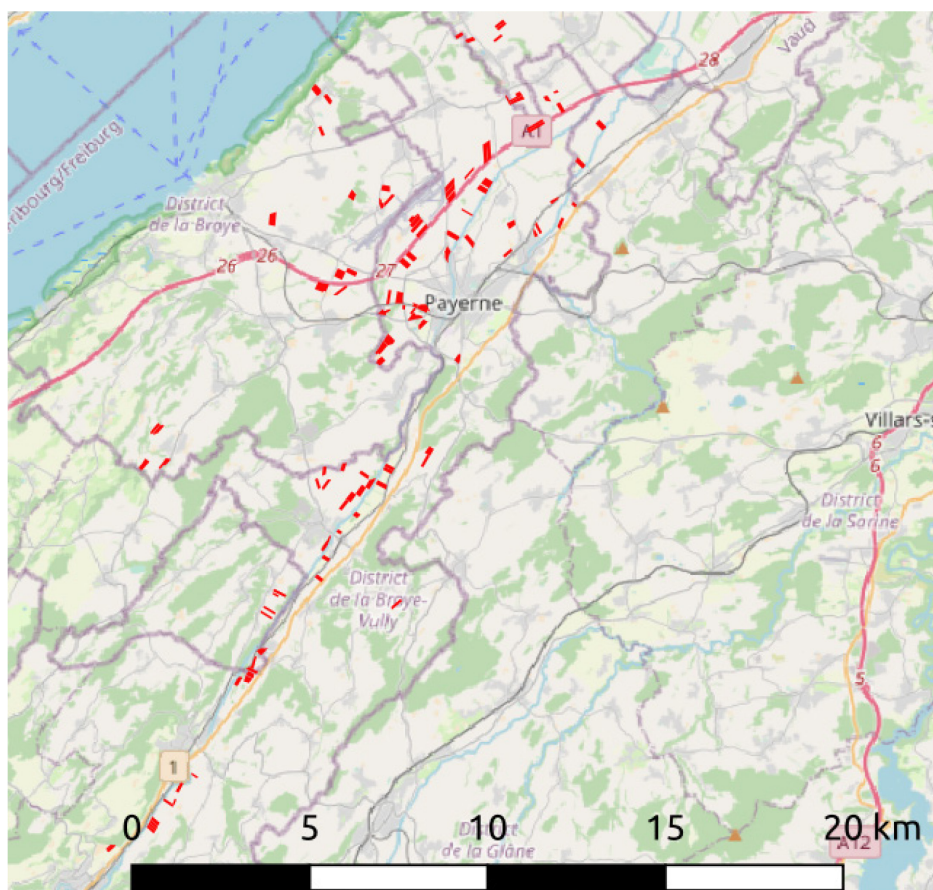


| 12. Dezember 2023

BAFU-Projekt SwissIrrigationInfo – Abschlussbericht Modul 2

Satellitenbasierte Abschätzung bewässerter Kulturflächen

Autoren: Miguel Kohling, Helge Aasen, Frank Liebisch
Kontakt: helge.aasen@agroscope.admin.ch



Titelbild: Die Fokusregion Broye und die Referenzflächen für die Satellitenbildklassifikation (exemplarisch für das Jahr 2018)

Inhalt

1	Fragestellung.....	3
2	Ansatz.....	3
3	Methodik.....	4
3.1	Sentinel-2 Datenverarbeitung.....	4
3.2	Kultur- und Parzellenbestimmung.....	6
3.3	Zeitreihenextraktion.....	7
3.4	Aufarbeitung der Bodenfeuchtedaten.....	7
3.5	Trennbarkeit zwischen bewässerten und unbewässerten Parzellen.....	8
4	Ergebnisse.....	9
4.1	Zeitreihenanalyse.....	9
4.2	Detaillierte Betrachtung einzelner Felder.....	9
5	Fazit.....	12
6	Literatur.....	13
7	Appendix.....	14

1 Fragestellung

Das Projekt SwissIrrigationInfo hat zum Ziel, die aktuelle Datenlage zur landwirtschaftlichen Bewässerung in der Schweiz zu eruieren und Grundlagen für schweizweite Abschätzungen des Wasserverbrauchs für Bewässerung in der Landwirtschaft zu erarbeiten. Vor diesem Hintergrund war es Ziel von Modul 2, zu untersuchen ob und wie sich auf Basis von Fernerkundungsdaten, bewässerte und unbewässerte Felder voneinander zu unterscheiden.

2 Ansatz

Fernerkundung eignet sich generell, um großflächig den Zustand und das Wachstum von Vegetation festzustellen (e.g., Berger et al., 2022, Kooistra et al. 2023). Zu dieser Zustandsbestimmung gehört auch die Bestimmung von Trockenstresssymptomen. Um zu beantworten, ob auch der Einfluss von Bewässerung festgestellt werden, wurden in der Laufzeit von Modul-2 (etwa 1 Jahr) verschiedene Ansätze verfolgt:

Zu Projektbeginn war die Referenzdatenaufbereitung aus Modul-1 noch nicht abgeschlossen. Wir nutzten daher die Zeit, um zwei Vorstudien durchzuführen. Diese sollten eingangs aufzeigen, ob sich die während des Projektverlaufs in dem Untersuchungsgebiet erzielten Ergebnisse auf die gesamte Schweiz übertragen lassen:

- Generelle Analysierbarkeit landwirtschaftlicher Flächen in der Schweiz aus dem Zusammenspiel von Parzellengrößen und Auflösung von Satellitenbilddaten am Beispiel Sentinel-2.
- In einer Repräsentativitätsanalyse untersuchten wir, ob sich die aus multispektralen Daten berechneten Zeitreihen von Vegetationsindices über Kartoffelfeldern im Projektgebiet lokal-spezifisch darstellen oder sich auf andere Teile der Schweiz übertragen lassen

Mit Erhalt der für das Projekt relevanten Parzellen-Koordinaten war es zunächst notwendig, diese mit den Nutzflächen aus den Geodaten der landwirtschaftlichen Betriebe des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) zu verschneiden. Da diese nur für die Jahre 2020 und 2021 zur Verfügung standen, konnten Flächen für die Jahre 2018 und 2019 zwar partiell aus den vorhandenen Daten übertragen werden, mussten in Teilen aber manuell neu deliniert, bzw. auch fehlerhafte Nutzflächendaten aus dem BLW-Datensatz für Jahre 2020 und 2021 korrigiert werden.

Danach wurden dann Zeitreihenverläufen diverser Vegetationsindices als Proxy für Wachstumsverläufe und Stressindikatoren extrahiert und visualisiert, um die folgende Hypothese zu prüfen:

Eine Bewässerung führt zu einer beobachtbaren Vitalitätssteigerung von Kartoffelkulturen. Diese kann anhand von Wachstumsverlaufskurven erkannt werden.

Die Hypothese wurde unter anderem so formuliert, da zwar Informationen zur Bewässerung vorlagen, jedoch keine Beobachtungen ob und in welchem Masse Pflanzenstress aufgetreten war.

Während ein Vergleich aller Flächen (Hitzesommer 2022) in manchen Fällen anhand der Satellitendaten erahnen ließ, dass Bewässerung den Einfluss von Trockenheit reduzieren könnte, wurde bei der gesamtheitlichen Betrachtung festgestellt, dass standortspezifische Faktoren das Bild verkomplizieren. Daher wurde dann ein Weg entwickelt, um basierend auf der vorhandene Datengrundlage bestmöglich vergleichbare Felder zur Analyse zu identifizieren.

3 Methodik

3.1 Sentinel-2 Datenverarbeitung

Aus der Konstellation der beiden Sentinel-2-Satelliten ergibt sich eine regelmäßige Wiederholungsrate der potentiellen Aufnahmen von zwei bis fünf Tagen, je nach Ort (Abbildung 1).

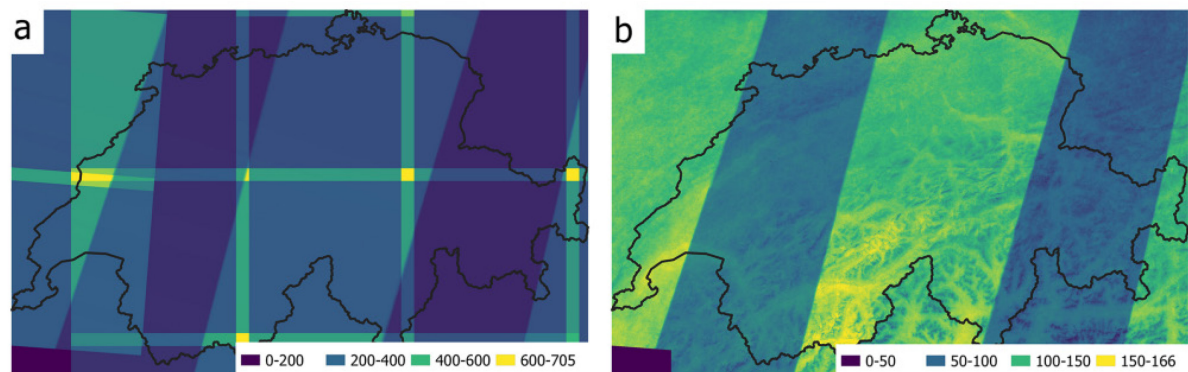


Abbildung 1 Anzahl der vorhandenen Sentinel-2 Szenen vor (a) und nach (b) dem Ausschluss von Wolkenszenen

Durch die Beschränkung auf die für uns interessante Vegetationsperiode vom 1. April – 15. September, einer Limitierung aus Szenen mit einer Gesamtbewölkung kleiner 15% und Einschränkungen aus lokaler Wolkenbedeckung und Dunst reduziert sich die Anzahl der verfügbaren Szenen pro landwirtschaftliche Parzelle erheblich. In den Jahren 2018 bis 2020 stehen durchschnittlich ca. 13 Szenen pro Parzelle zur Verfügung, im Jahr 2021 lediglich 9 (Tabelle 2).

Tabelle 2 Anzahl der verfügbaren Sentinel-2 Satellitenbildakquisitionen für die Jahre 2018-2021

Jahr	Min. Aufnahmen pro Parzelle	Max. Aufnahmen pro Parzelle	Durchschnittl. Anzahl	Gesamtanzahl theoretisch verfügbarer Akquisitionen pro Parzelle*
2018	11	14	12.6	15
2019	7	16	13.5	17
2020	8	15	13.5	16
2021	7	9	8.7	17

* unter Berücksichtigung einer Szenenauswahl mit weniger als 15% Gesamtwolkenbedeckung

Als Grundlage für die Analyse von Vegetationsindices kommen Sentinel-2 Daten mit einer kanalabhängigen Bodenauflösung von 10-20m zum Einsatz (Appendix Tabelle 1). Für die Nachfolgenden Analysen wurden aus diesen Daten die Vegetationsindices NDVI, NDWI, EVI, MSAVI, TCARI berechnet:

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Der Vegetationsindex NDVI ist ein Quotient, der den Grad der Vegetationsaktivität anhand von Satellitenbildern durch die Messung der reflektierten roten und nahen infraroten Strahlung quantifiziert.

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

NDWI (Normalized Difference Water Index)

Der NDWI eignet sich durch die Verwendung nahen und kurzwelligen Infrarot dazu, Veränderungen im Wasserhaushalt der Pflanze zu beobachten.

$$\text{NDWI} = \frac{(X_{\text{nir}} - X_{\text{swir}})}{(X_{\text{nir}} + X_{\text{swir}})}$$

EVI (Enhanced Vegetation Index)

Der Enhanced Vegetation Index (EVI) ist ein "optimierter" Vegetationsindex, der das Vegetationssignal mit einer verbesserten Empfindlichkeit in Regionen mit hoher Biomasse verbessern soll. Dies wird durch eine Entkopplung des anteiligen Bodensignals von der Vegetationsschicht und eine Verringerung der atmosphärischen Einflüsse erreicht.

$$\text{EVI} = G \times \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + C_1 \times \text{Red} - C_2 \times \text{Blue} + L)}$$

mit $L=1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$, and $G = 2.5$

MSAVI (Modified Soil Adjusted Enhanced Vegetation Index)

Der modifizierte bodenbereinigte Vegetationsindex (MSAVI) ist ein Index, der als Ersatz für NDVI entwickelt wurde, wenn diese aufgrund niedriger Vegetation oder eines Mangels an Chlorophyll in den Pflanzen und gleichzeitig hohem Bodenanteil keine genauen Daten liefern können, wie z.B. in der Phase der Keimung und Blattentwicklung.

$$\text{MSAVI} = \frac{2 \cdot \text{NIR} + 1 - \sqrt{(2 \cdot \text{NIR} + 1)^2 - 8 \cdot (\text{NIR} - \text{rot})}}{2}$$

TCARI (Transformed Chlorophyll Absorption Reflectance Index)

Dieser Index gibt einen Hinweis auf die relative Menge von Chlorophyll und wird durch die darunter liegende Bodenreflexion beeinflusst, insbesondere bei Vegetation mit einem niedrigen Blattflächenindex.

$$\text{TCARI} = [\text{VNIR}_{705} - \text{rot} - 0.2 \cdot (\text{VNIR}_{705} - \text{grün}) * (\frac{\text{VNIR}_{705}}{\text{rot}})]$$

Es wird untersucht, ob verschiedenen Vegetationsindices in ihrem jährlichen Verlauf über die Vegetationsperiode einen Einfluss auf die Trennbarkeit zwischen bewässerten und unbewässerten Parzellen aufzeigen.

3.2 Kultur- und Parzellenbestimmung

Als Referenz für die räumlich Abgrenzung landwirtschaftlicher Parzellen diente ein Vektordatensatz des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) für die Jahre 2020 und 2021 (Abbildung 2). Teilweise ist der Datensatz unvollständig oder weist Inkonsistenzen hinsichtlich einer korrekten Feldgrenzendelinierung auf.

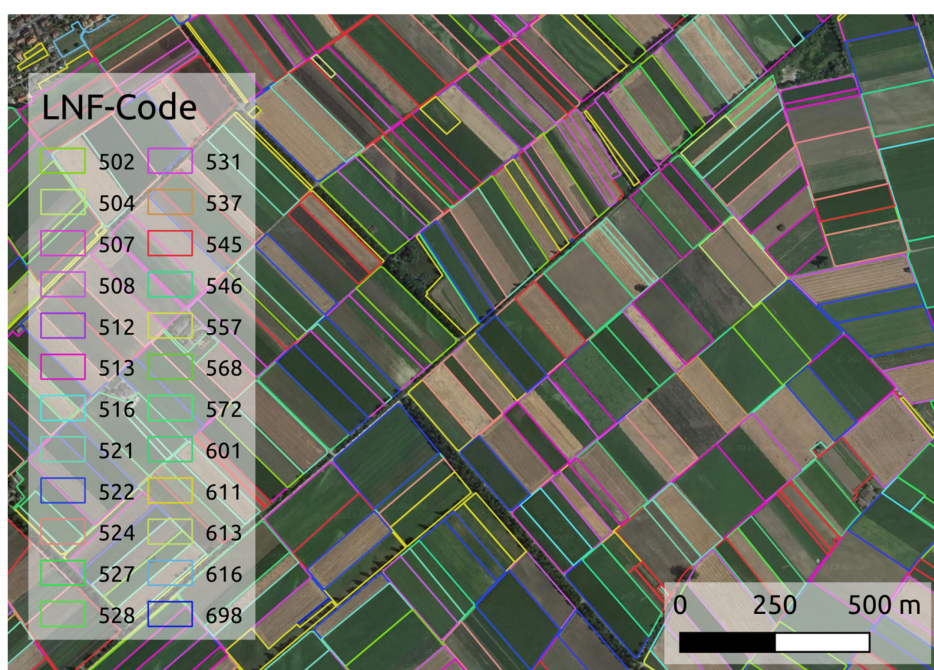


Abbildung 2 Vektordaten zu landwirtschaftlichen Nutzflächen mit entsprechender Kodierung zur Zuordnung der entsprechenden Kulturen (Beispiel aus dem Kanton Bern)

Innerhalb der Vorstudie zu den Beschränkungen Fernerkundungsdaten hinsichtlich ihrer Auflösung kann dieser Sachverhalt ignoriert werden, da die allgemeine Aussagekraft nicht verloren geht. Für die Kernstudie zur Untersuchung der Unterscheidbarkeit zwischen bewässerten und unbewässerten Parzellen war allerdings eine manuelle Überarbeitung notwendig.

Hierfür wurde auf jährlicher Basis für jede für das Projekt relevante Parzelle ein zeitlich randomisiertes multi-temporales Falschfarben-RGB aus dem jeweiligen Vegetationsindex NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) erzeugt (Beispiel: Rot – NDVI 20.04.2018, Grün – NDVI 15.06.2018, Blau – NDVI 11.07.2018). Für jede Parzelle wurden so acht RGB-Abbildungen aus zufallsgenerierten Zeitpunkten verfügbarer Akquisitionen erstellt. Somit ist sichergestellt, dass bei einer visuellen Beurteilung der Güte der Feldgrenzendelinierung verschiedene Konstellationen der Vegetationsphasen abgebildet werden und sich die Feldgrenzen zur nachträglichen Delinierung dementsprechend abzeichnen (Appendix Abbildung 1).

Für eine erste Machbarkeitsuntersuchung wurden dann untersucht, wie viele Pixel pro Feld von jeder Kultur vorhanden sind. Dies ist wichtig um festzustellen, ob Satelliten überhaupt adäquat die

Felder in der Schweiz erfassen können. Exemplarisch für den Kanton Bern ist dies in Abbildung 3 dargestellt. Durch diese Analyse konnte festgestellt werden, dass die meisten Hauptkulturen in der Schweiz per Satellit erfasst werden können.

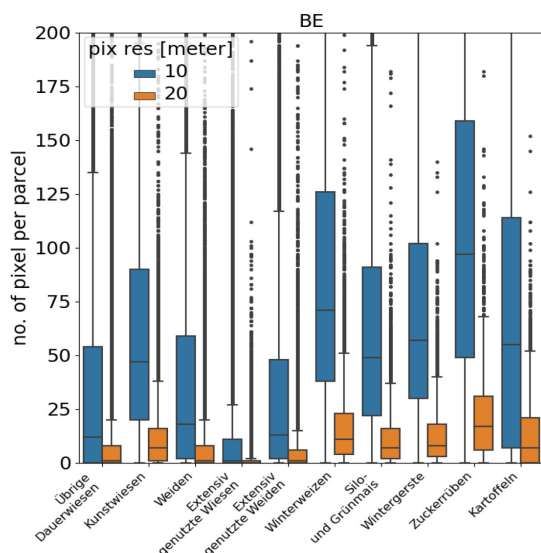


Abbildung 3 Kanton Bern: die zehn flächenanteilig größten Kulturen und deren Feldgrößenverteilung für jeweils 10m und 20m Pixelauflösung.

3.3 Zeitserienextraktion

Nun wurden von allen Feldern, welche im von der HAFL gelieferten Datensatz enthalten waren, zeitreihen aus den Jahren 2018 – 2021 extrahiert und mit Hilfe der Projektion auf growing degree days (anstatt Kalendertagen) vergleichbar gemacht.

3.4 Aufarbeitung der Bodenfeuchtedaten

Um einen Vergleich auf Feldbasis durchzuführen, mussten noch die Bodenfeuchte-, Niederschlags- sowie Temperaturdaten von den einzelnen Feldern aufgearbeitet werden. Beispielhaft sind diese für ein Feld in Abbildung 4 gezeigt.

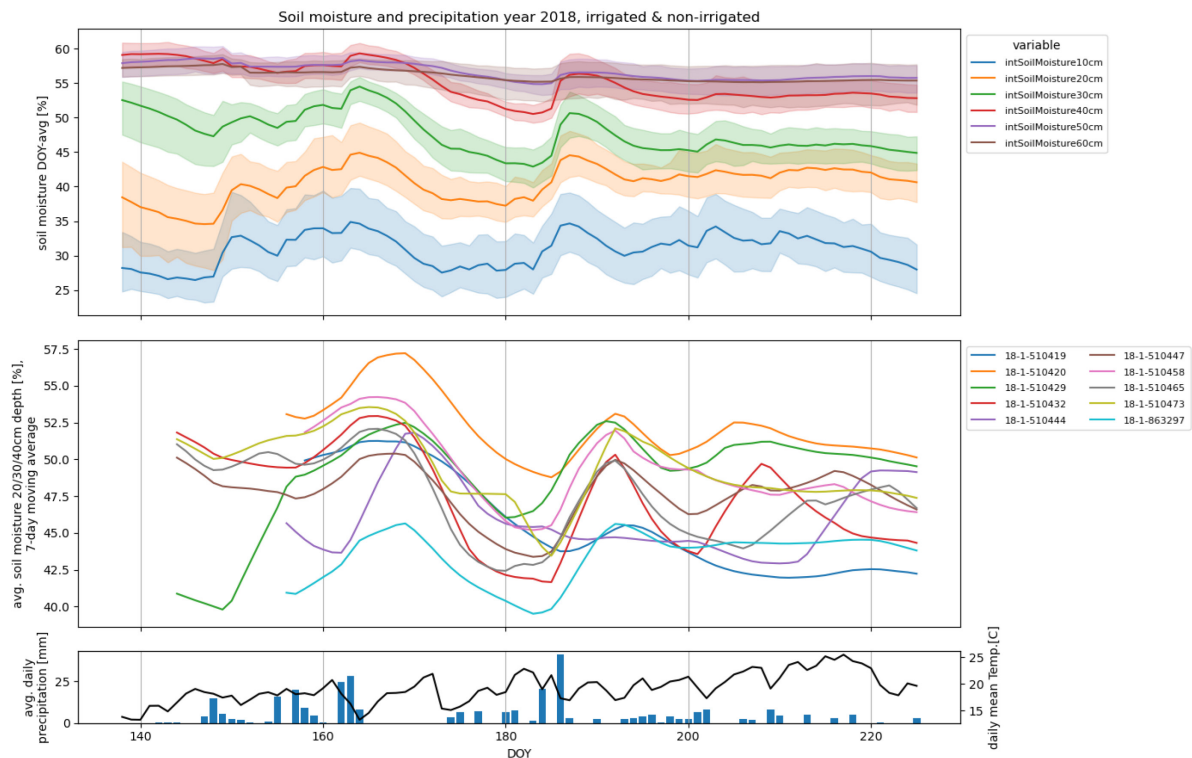


Abbildung 4 Visualisierung der Bodenfeuchtedaten eines Feldes (oben) mit Niederschlags- und Temperaturwerten (unten).

3.5 Trennbarkeit zwischen bewässerten und unbewässerten Parzellen

Via deskriptive Statistik und dem statistischen Trennbarkeitsmaß „Jeffries-Matusita-Distanz“ zur Beurteilung Distanz in der Verteilung zweier Klassen (bewässert vs. unbewässert), konnte einerseits untersucht werden, ob sich bewässerte Parzellen signifikant von unbewässerten Feldern unterscheiden, und andererseits, ob der Unterschied bereits vor dem ersten Bewässerungszeitpunkt vorlag und die erste Analyse somit an Aussagekraft verliert.

Die Jeffries-Matusita Distanz stellt eine zwischen 0 und 2 normierte Bhattacharyya-Distanz (DB) dar. Die DB wiederum errechnet sich einfach Bhattacharyya-Koeffizienten (BC), welche sich aus dem Integral des Produktes der zu vergleichenden Verteilungen $P(x)$ und $Q(x)$ errechnet.

Bhattacharyya-Koeffizienten

$$BC(P, Q) = \sum_{x \in \mathcal{X}} \sqrt{P(x)Q(x)}$$

Bhattacharyya-Distanz

$$D_B(P, Q) = -\ln(BC(P, Q))$$

Jeffries-Matusita Distanz

$$JM_{p,q} = 2 * (1 - e^{-D_B})$$

Multivariate Jeffires-Matusita Distanz unter Annahme normalverteilter Daten

$$D_B(p_1, p_2) = \frac{1}{8} (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2)^T \boldsymbol{\Sigma}^{-1} (\boldsymbol{\mu}_1 - \boldsymbol{\mu}_2) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\det \boldsymbol{\Sigma}}{\sqrt{\det \boldsymbol{\Sigma}_1 \det \boldsymbol{\Sigma}_2}} \right)$$

4 Ergebnisse

4.1 Zeitserienanalyse

Abbildung 5 zeigt die resultierenden Wachstumskurven der im Datensatz der HAFL enthaltenen bewässerten und nicht bewässerten Felder für die Jahre 2018 bis 2021. Visuell lassen sich die Wachstumskurven der bewässerten und nicht bewässerten Felder bis auf in der zweiten Hälfte des Hitzesommers 2020 nicht klar unterscheiden. Dies weist auf eine frühere Abreife oder Welken der nicht bewässerten Kartoffeln aufgrund der Hitze hin.

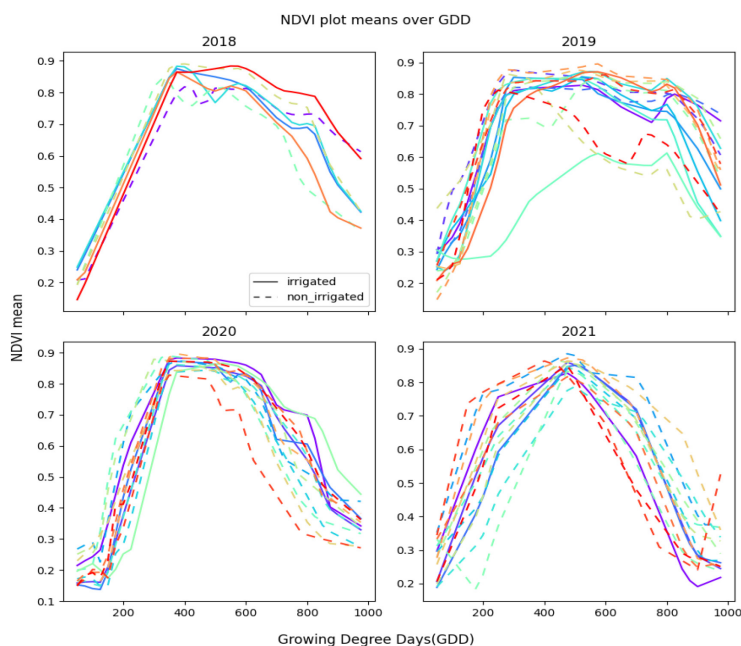


Abbildung 5 Wachstumskurven, dargestellt anhand des NDVI, aller im Datensatz der HAFL enthaltenen Felder für die Jahre 2018 bis 2021 in Abhängigkeit der wachstumsrelevanten Temperatursumme (growing degree days). Die gestrichelten Linien zeigen nicht bewässerte Felder, die durchgezogenen Linien zeigen bewässerte Felder an.

4.2 Detaillierte Betrachtung einzelner Felder

Während der Gesamtanalyse von Kartoffelfeldern aus mehreren Regionen wurde festgestellt, dass sich das beobachtbare Wachstum z.B. durch Boden- oder Managementeinflüssen zwischen unterschiedlichen Parzellen unterscheidet. Um für einen detaillierten Vergleich Unterschiede zwischen den Feldern möglichst auszuschließen, wurde ein verfahren entwickelt, welches die Felder auf Basis ihrer

Bodenfeuchteentwicklung vor dem ersten Bewässerungselement bewertet. Dadurch konnten Paare zwischen Bewässerten und unverwässerten Feldern erstellt werden, die sich im Hinblick auf ihre Standortbedingungen ähnlich waren.

Um basierend auf diesem Ansatz eine Aussage zur Unterscheidbarkeit von bewässerten und unbewässerten landwirtschaftlichen Parzellen treffen zu können, wurden zwei statistische Ansätze gewählt:

Zum einen können die Pixelwerte einer Parzelle als bekannte Gesamtpopulation betrachtet werden, was rein deskriptive Methoden mit genügender Aussagekraft ermöglicht. Wir haben festgelegt, dass sich eine bewässerte von einer unbewässerten Parzelle ausreichend unterscheidet, wenn der Median der bewässerten Parzelle über dem 75%-Quantil der unbewässerten Zelle befindet (positives Ereignis). Außerdem werden Zeitpunkte vor und nach der ersten Bewässerung getrennt betrachtet. Erst wenn die positiven Ereignisse nach der Bewässerung überwiegen und sich zugleich ein uneinheitliches oder besser, negatives, Ergebnis vor dem ersten Bewässerungszeitpunkt einstellt, kann von einer Unterscheidbarkeit gesprochen werden.

Zum anderen können wir die Trennbarkeit durch die statistische Jeffries-Matusita Distanz (siehe 4.5) beschreiben. Hierzu wurden jeweils für die Zeitpunkte nach der ersten Bewässerung die multivariate Verteilung (pro Zeitpunkt ein feature) der Vegetationsindices zwischen bewässerten und unbewässerten Parzellen verglichen. Die Ergebnisse der Distanzmaße sind allerdings kritisch zu betrachten, da wir die multivariate Situation analytisch nur unter der strengen Voraussetzung normalverteilter Variablen abbilden können.

Es fließen prinzipiell nur alle verfügbaren Akquisitionen ab dem 1. April und bis maximal Kalendertag 215 in die statistische Analyse ein. Verglichen werden auch nur Zeitpunkte, an denen für die Parzellen innerhalb eines Vergleiches ein gemeinsames Aufnahmedatum vorliegt (diese Vereinfachung ist möglich, da sämtliche Parzellen räumlich nah beieinander liegen).

Abbildung 6 bis Abbildung 8 zeigen Beispiel für das Jahr 2018 die Boxplots für die Zeitreihenverläufe einer bewässerten Parzellen, 18-1-510420', 18-1-510447' und 18-1-510465' (jeweils in rot) und der beiden als Vergleichsparzellen identifizierten Pendants (jeweils grün und blau). Bewässerungsereignisse sind durch senkrechte blaue Linien indiziert.

Man erkennt für die Parzellen ,18-1-510420' und ,18-1-510465', dass nach dem ersten Bewässerungsereignis um den Tag 177 bzw. 148 das bewässerte Feld jeweils einen höheren Vegetationsindex verzeichnet als die Vergleichsfelder, während sich die Parzellen vor der Bewässerung nicht auffällig positiv verhält (jeweils keine positiven Ereignisse vor der ersten Bewässerung). Alle Beobachtungen nach der ersten Bewässerung zeigen für ,18-1-510420' eine 100% positive Bilanz, während es bei Parzelle ,18-1-510465' 70% sind.

Abbildung 8 zeigt ein negatives Beispiel mit Parzelle ,18-1-510420' ein invalides Beispiel. Zwar sind alle Ereignisse nach der ersten Bewässerung positiv, aber ebenso verhält es sich Zeitraum davor. Somit ist keine Aussage zu einer positiven Beeinflussung durch Bewässerung zu treffen.

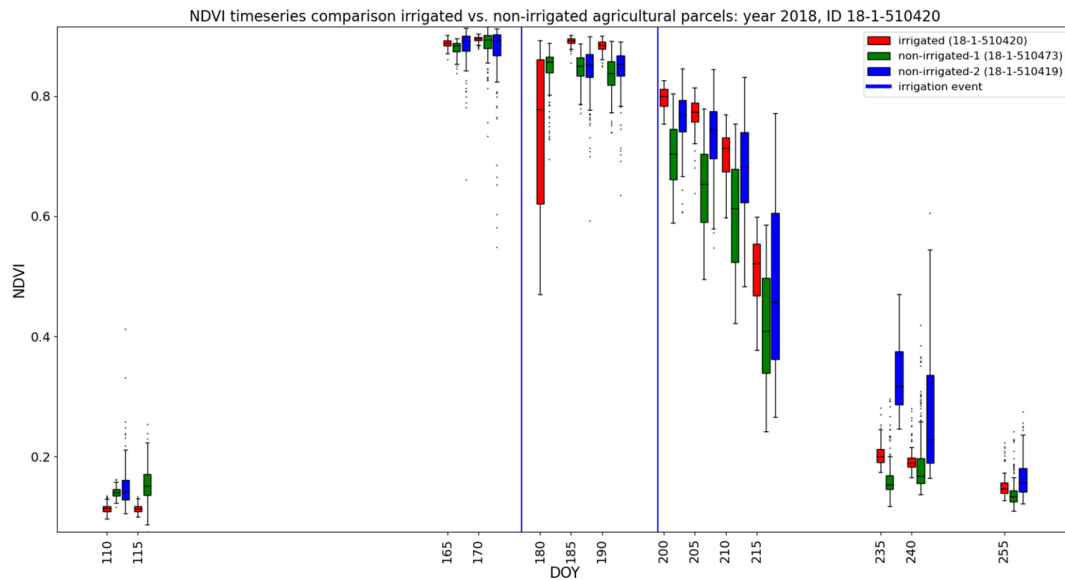


Abbildung 6 Zeitreihen-Boxplot Parzelle ,18-1-510420‘ (rot) und Vergleichsparzelle (grün und blau). Vertikale blaue Linien zeigen Bewässerungsereignisse

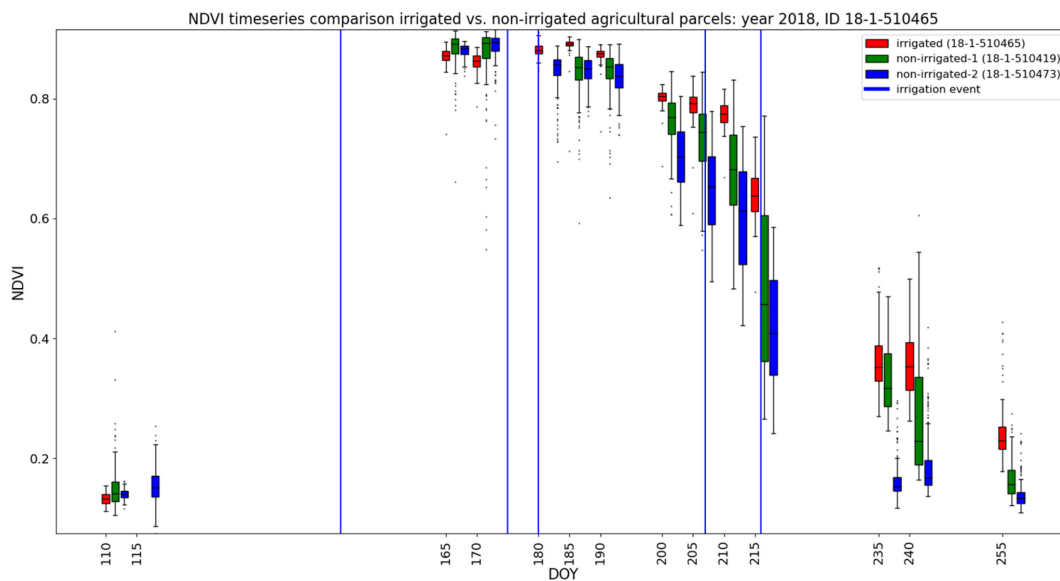


Abbildung 7 Zeitreihen-Boxplot Parzelle ,18-1-510465‘ (rot) und Vergleichsparzelle (grün und blau). Vertikale blaue Linien zeigen Bewässerungsereignisse

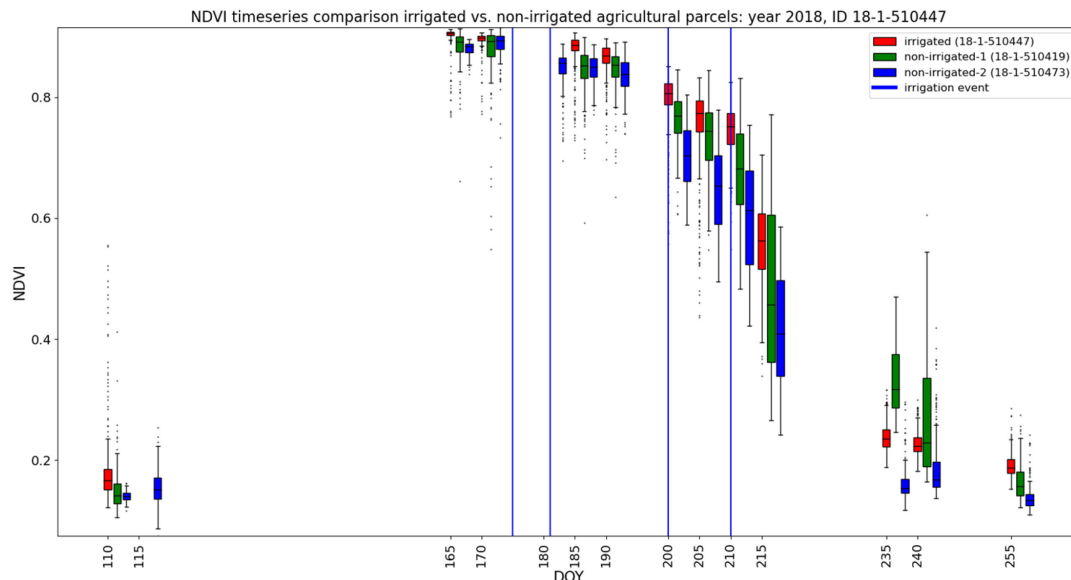


Abbildung 8 Zeitreihen-Boxplot Parzelle „18-1-510447“ (rot) und Vergleichsparzelle (grün und blau). Vertikale blaue Linien zeigen Bewässerungsereignisse

5 Fazit

- Satellitenfernerkundungsverfahren sind dazu in der Lage einzelne Felder von den Hauptkulturen in der Schweiz zu erfassen (trotz der relativen Kleinräumigkeit der Schweizer Landwirtschaft).
- Im Hitzesommers 2020 zeigen nicht bewässerte Kartoffelfelder im Mittel in der zweiten Hälfte der Wachstumsperiode eine frühere Abreife oder Welken als bewässerte Felder.
- Die Unterscheidbarkeit nahm zu, wenn bewässerten und nicht bewässerten Felder mit vergleichbaren Umweltbedingungen verglichen werden konnte. Jedoch reichte die Projektlaufzeit nicht aus, um auf Basis der „learnings“ im Projekt diesen Ansatz weiter zu tragen. Insbesondere fehlten zusätzlich auch Daten, die Auskunft über das Vorhandensein von Stresssymptomen in den Pflanzen Auskunft hätten geben können.
- Insgesamt kann festgehalten werden, dass Fernerkundung zur Detektion von physiologischen Stresssymptomen genutzt werden kann. Sie kann jedoch nicht zwischen Bewässerten und unverwässerten Feldern unterscheiden, wenn auf den unverwässerten Feldern keine Stresssymptome zu sehen sind.
- Ein zukünftiger Ansatz sollte weitere Datenquellen – wie z.B. Bodeninformationen – mit einbeziehen. Auch sollten zur Validierung Informationen zum Stresslevel der Pflanzen vorliegen, welche die Informationen zur Bewässerungsanwendung ergänzen.

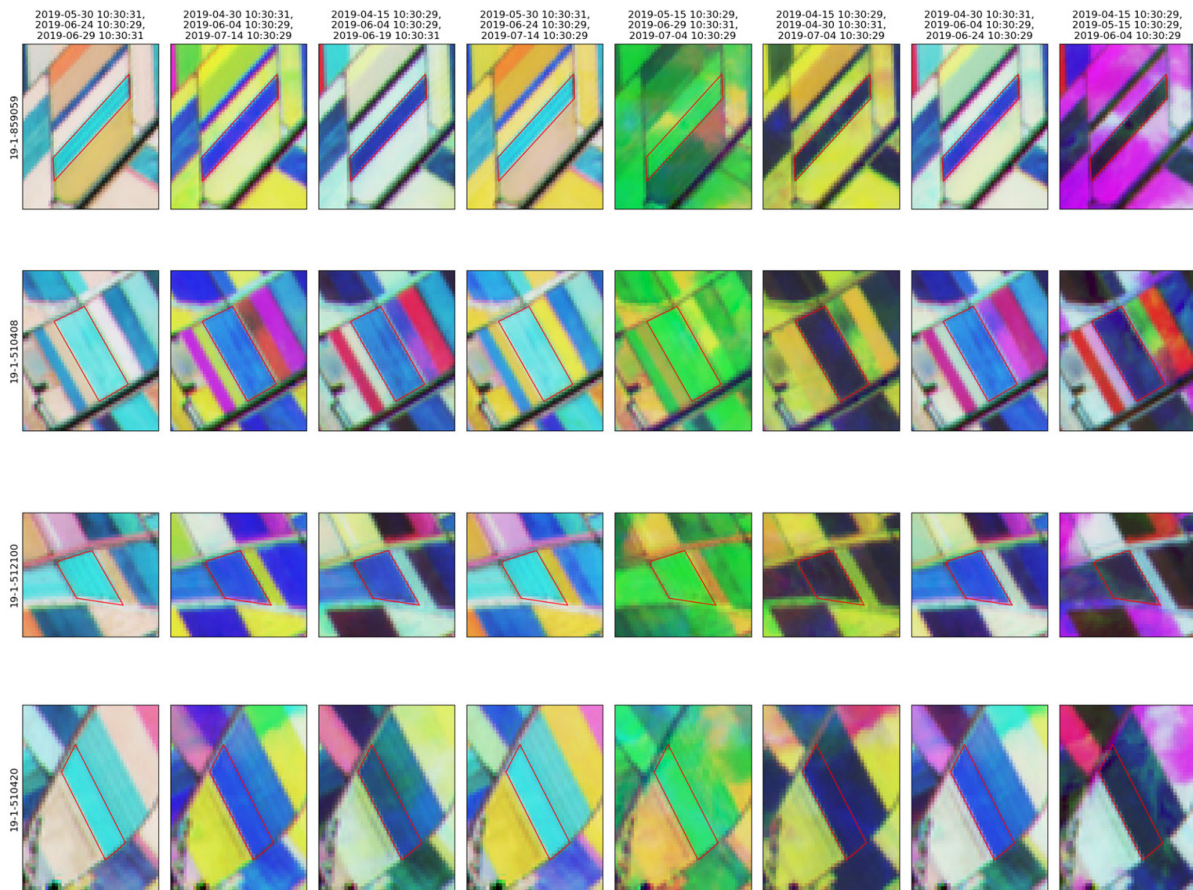
6 Literatur

- Berger, K., Machwitz, M., Kycko, M., Kefauver, S.C., Van Wittenberghe, S., Gerhards, M., Verrelst, J., Atzberger, C., Van Der Tol, C., Damm, A., Rascher, U., Herrmann, I., Paz, V.S., Fahrner, S., Pieruschka, R., Prikaziuk, E., Buchailot, Ma.L., Halabuk, A., Celesti, M., Koren, G., Gormus, E.T., Rossini, M., Foerster, M., Siegmann, B., Abdelbaki, A., Tagliabue, G., Hank, T., Darvishzadeh, R., Aasen, H., Garcia, M., Pôças, I., Bandopadhyay, S., Sulis, M., Tomelleri, E., Rozenstein, O., Filchev, L., Stancile, G., Schlerf, M., 2022. Multi-sensor spectral synergies for crop stress detection and monitoring in the optical domain: A review. *Remote Sensing of Environment* 280, 113198. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113198>
- Kooistra, L., Berger, K., Brede, B., Graf, L.V., Aasen, H., Roujean, J.-L., Machwitz, M., Schlerf, M., Atzberger, C., Prikaziuk, E., Ganeva, D., Tomelleri, E., Croft, H., Reyes Muñoz, P., Garcia Milan, V., Darvishzadeh, R., Koren, G., Herrmann, I., Rozenstein, O., Belda, S., Rautiainen, M., Rune Karlsen, S., Figueira Silva, C., Cerasoli, S., Pierre, J., Tanır Kayıkçı, E., Halabuk, A., Tunc Gormus, E., Fluit, F., Cai, Z., Kycko, M., Udelhoven, T., Verrelst, J., 2023. Reviews and syntheses: Remotely sensed optical time series for monitoring vegetation productivity (preprint). *Remote Sensing: Terrestrial*. <https://doi.org/10.5194/bg-2023-88>

7 Appendix

Appendix Tabelle 1 Sentinel-2 Kanalübersicht

Band	Auflösung	Zentrale Wellenlänge	Beschreibung
B1	60 m	443 nm	Ultra Blue (Coastal and Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Blue
B3	10 m	560 nm	Green
B4	10 m	665 nm	Red
B5	20 m	705 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible and Near Infrared (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Short Wave Infrared (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Short Wave Infrared (SWIR)



Appendix Abbildung 1 Beispiel für ein randomisiertes, multi-temporales Falschfarben-RGB auf Basis des Vegetationsindex NDVI. Die Spalten bilden jeweils die zufälligen zeitlichen Konstellationen ab, die Zeilen entsprechen einer Referenz-Parzelle (jeweils zentriert dargestellt).