



Master Thesis

im Rahmen des
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

**„Halbautomatisierte Erkennung von Schnittzeitpunkten bei Bio-
diversitätsförderflächen in der Landwirtschaft, mittels NDVI“**

vorgelegt von

BSc Robin Brodmann

104995, UNIGIS MSc Jahrgang 2017

Betreuer:

Dr. Christian Neuwirth

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Basel, 16.03.2020

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinem Betreuer Dr. Christian Neuwirth für die Feedbacks und Anregungen zu meiner Masterarbeit.

Ein Dankeschön geht auch an meine alte Arbeitsstätte, die Sektion Informationsmanagement des Tiefbauamtes des Kantons Zürich. Durch die anregenden Diskussionen und dem Austausch zwischen unserer täglichen Arbeit, entstanden wertvolle Gedankengänge zur entwickelten Methode.

Vielen Dank auch an das UNIGIS-Team, das bei Bedarf mir immer sehr hilfsbereit und unterstützend zur Seite stand.

Erklärung

Ich versichere, diese Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben. Zudem versichere ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen ist. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäss übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Ort, Datum:

Unterschrift:

.....

Zusammenfassung

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie Zeiträume von Pflegeschnitten bei Biodiversitätsförderflächen (BFF), mittels Bilder der Sentinel 2 Satelliten, halbautomatisiert identifiziert werden können. Im Rahmen dieser Arbeit kann gezeigt werden, dass die Schnittzeiträume anhand von abrupten vegetativen Veränderungen mittels dem normalisierten Differenzen-Vegetationsindices (NDVI) erstellten Zeitreihen identifiziert werden können. Pflegeschnitte akzentuieren sich durch die abrupte Minderung des NDVI innerhalb weniger Aufnahmetage. Tiefe NDVI-Werte (lowest points) folgen in kurzem Abstand auf hohe Werte (peaks). Anhand der interaktiv eingegebenen Variable 1 (V1) verifiziert der eigens entwickelte Algorithmus (Programmiersprache Python), mittels dem Savitzky-Golay-Filter, einem mathematischen Glättungsfilter, zuerst die peaks und lowest points der NDVI Zeitreihen. Anschließend werden die somit bestätigten Punkte anhand der wiederum interaktiv eingegebenen Variablen 2 (V2) auf abrupte vegetative Veränderungen untersucht. Die Resultate haben gezeigt, dass eine Korrelation zwischen der Anzahl ausgegebenen und der als plausibel eingestuften Schnittzeitpunkte, sowie der Grösse von V2 besteht, sofern V1 konstant bleibt. Die entwickelte Methode unterscheidet sich von bisherigen Forschungen dadurch, dass vegetative Veränderungen mittels Daten der Sentinel 2 Satelliten während einer Vegetationsperiode, ohne Referenzjahre und unabhängig von einem Wechsel der Ackerkultur, identifiziert werden können. Im Rahmen von weiterführenden Arbeiten würde es sich anbieten, die Resultate der angewendeten Methode mit Kontrollflächen im Feld, sowie mit Resultaten anderer Vegetationsperioden zu vergleichen.

Abstract

This Master Thesis deals with the question of how periods of pruning in several biodiversity promotion areas (BFF) are identified semi-automated, using images of the Sentinel 2 satellites. Within the scope of this work it will be pointed that the pruning periods are identified based on sudden vegetative changes, using time series created with the normalized difference vegetation index (NDVI). Pruning are emphasized by the sudden reduction of NDVI within a few days. Low NDVI values (lowest points) come shortly after high values (peaks). Using the interactively entered variable 1 (V1), the specially developed algorithm (programming language Python) uses the Savitzky-Golay filter, a mathematical smoothing filter, to first verify the peaks and lowest points of the NDVI time series. The verified points are then examined by sudden vegetative changes using variable 2 (V2), which is again entered interactively. The results have shown that there is a correlation between the number of pruning output that are issued and classified as plausible, as well as the size of V2, if V1 remains constant. The developed method is different from previous research, because it shows that vegetative changes can be identified using data from Sentinel 2 satellites during a growing season, without reference years and regardless of a change in arable crops. In the context of further work, it would make sense to compare the results of the method which uses control areas in the field but also results from other vegetation periods.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Rahmenbedingungen	3
3.	Grundlagen	4
3.1	Phänologische Entwicklung von BFF	4
3.2	NDVI	5
3.3	Datengrundlagen.....	6
3.3.1	Sentinel 2	6
3.3.2	Nutzungsflächen Kanton Zürich	7
3.4	QGIS und Python	10
4.	Methode	11
4.1	Konzeptionsphase Analyseverfahren	11
4.2	Vorgehensweise Analyseverfahren	14
4.3	Prozessablauf	14
4.3.1	Aquirierung.....	15
4.3.2	Cloud Mask	15
4.3.3	NDVI Berechnung	15
4.3.4	Zonal Statistics.....	15
4.3.5	Zonal Statistics in CSV	15
4.3.6	Algorithmus	16
4.3.7	Interpretation der Grafiken	19
5.	Resultate	20
6.	Diskussion.....	26
7.	Fazit	36
8.	Literaturverzeichnis	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Skizze der Phänologischen Entwicklung einer BFF mit zwei Pflegeschnitten, in Bezug auf die Biomasse, in Anlehnung an Kennedy et al. (2014).....	4
Abbildung 2: Reflexionen bei Pflanzen (n.a. 2020)	5
Abbildung 3: Interpretation der NIR- und Red-Werte (n.a. 2020)	6
Abbildung 4: MSI Spektralbänder und räumliche Auflösung (A. Gatti 2015)	7
Abbildung 5: Beispiel einer Wegleitung für die Biodiversitätsförderung auf dem Landwirtschaftsbetrieb (Caillet-Bois et al. 2019).....	9
Abbildung 6: Skizze einer Zeitreihe mit Pflegeschnitte.....	11
Abbildung 7: Skizze einer Zeitreihe ohne Pflegeschnitte	11
Abbildung 8: Skizze einer BFF Zeitreihe mit Restrauschen und einem Ausreisser	12
Abbildung 9: Skizze einer BFF Zeitreihe mit einer Glättung (rote Linie)	12
Abbildung 10: Skizze einer BFF Zeitreihe, mit ermittelten lowest points und peaks	13
Abbildung 11: Skizze einer BFF Zeitreihe mit einer Glättung (rote Linie), sowie den jeweils ermittelten lowest points und peaks.....	13
Abbildung 12: Prozessablauf.....	14
Abbildung 13: Schema des Algorithmus zur Ermittlung von Schnittzeitpunkten (PN = peak NDVI, IN = lowest Point NDVI, PG = peak Savitzky-Golay-Filter, IG = lowest Point Savitzky-Golay-Filter)	16
Abbildung 14: Ausschnitt aus dem CSV mit den durchschnittlichen NDVI-Werten pro Nutzungsfläche und Tag, sowie den NULL Werten	17
Abbildung 15: Output des Algorithmus mit folgenden zusätzlichen Beschriftungen und Visualisierungen: peak von Savitzky-Golay-Filter (PG), peak von NDVI (PN), lowest point von NDVI (IN), lowest point von Savitzky-Golay-Filter (IG), Variable 1 (V1) und Variable 2 (V2)	18
Abbildung 16: Ermittelte Nutzungsfläche mit einem als «plausibel» eingestuften Schnittzeitpunkt.....	20
Abbildung 17: Ermittelte Nutzungsfläche mit einem als «nicht plausibel» eingestuften Schnittzeitpunkt.....	21
Abbildung 18: Ermittelte Nutzungsfläche mit einem als «unklar» eingestuften Schnittzeitpunkt	22
Abbildung 19: Visualisierung der Verteilung des Plausibilitätstest und der Anzahl	

ausgegebenen Grafiken	25
Abbildung 20: Rebfläche mit natürlicher Artenvielfalt, bei welcher der NDVI von Mitte Juni bis Anfang August kontinuierlich abnimmt.....	27
Abbildung 21: Paretoprinzip nach T. Hertfelder et. al. (2019)	28
Abbildung 22: Analyse von Nutzen und Aufwand der V1/V2 Kombination	29
Abbildung 23: Eine extensiv genutzte Wiese, mit einem potenziell zu frühen Schnittzeitpunkt	31
Abbildung 24: Die Abbildungen zeigen den Mittelwert (durchgezogene schwarze Kurve) und die Standardabweichung (schattierte dunkelgraue Kurve) der NDVI-Pixelwerte innerhalb der jährlichen Landwirtschaftsklasse TerraClass für jede Landeinheit mit dem Tag des Jahres (DOY). Links ist ein repräsentatives Landeinheitenprofil für jede der drei erstellten phänologischen Mustergruppen detailliert dargestellt, und rechts sind die Profile der anderen Landeinheiten dargestellt, die zu einer Gruppe gehören. Die Spitzenwerte werden durch hellgraue vertikale Streifen dargestellt und sind zwischen den Darstellungen jeder Gruppe konsistent (Bellón et al. 2017).....	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Nutzungsfläche mit der gisID: 33717 rot umrandet, im Zeitraum vom 04.06.2018 bis zum 21.06.2018	23
Tabelle 2: Resultat Plausibilitätsprüfung (absolute Werte)	24
Tabelle 3: Resultat Plausibilitätsprüfung (Prozent)	24
Tabelle 4: Nutzungsflächen (1-6) welche im Quervergleich mit plausiblen Schnittzeitpunkten eingestuft wurden.	30
Tabelle 5: Die Nutzungsfläche mit der gisID: 122261 rot umrandet, im Zeitraum vom 20.04.2018 bis zum 22.04.2018	32

Abkürzungsverzeichnis

.gdb	ESRI File Geodatabase
ALA	Abteilung Landwirtschaft
BFF	Biodiversitätsförderflächen
CSV	Commaseparated value
DZV	Direktzahlungsverordnung
ESA	European Space Agency
IG	Lowest Point Savitzky-Golay-Filter
IN	Lowest Point NDVI
MSI	Multispektrale Instrumente
NDVI	Normalisierter Differenzen-Vegetations-Index
NIR	Nahes Infrarot
PG	Peak Savitzky-Golay-Filter
PN	Peak NDVI
Red	Rotes und sichtbarer Bereich des Lichtspektrum
SACP	Semi-Automatic Classification Plugin
SWIR	Kurzwelliges Infrarot

1. Einleitung

Die Schweizer Landwirtschaft hat gemäss Artikel 104 der Bundesverfassung den Auftrag, gemeinwirtschaftliche Leistungen zu erbringen. Dazu gehören neben Versorgungsaufträgen auch Leistungen zur Biodiversitätsförderung, welche mit spezifischen Direktzahlungsarten gefördert werden (Bundesamt für Landwirtschaft 2018).

Diese Leistungen beinhalten unter anderem die Bereitstellung und Pflege von Biodiversitätsförderflächen (BFF). Für diese gibt es gemäss Direktzahlungsverordnung (Art. 58 Abs. 1, 2, 4 und 9) Auflagen zu den Schnitzeitpunkten, die je nach Kanton und Bergzonen variieren können (Bundesrat 2013a).

Entsprechend der Verordnung über die Koordination der Kontrollen auf Landwirtschaftsbetrieben, sind die Kantone verpflichtet, die Biodiversitätsbeiträge alle vier Jahre zu kontrollieren. Dies ist mit einem erheblichen Aufwand verbunden, da die einzelnen Betriebe vor Ort besichtigt werden müssen (Bundesrat 2013b). Durch die Ermittlung von Schnitzeitpunkten mittels Fernerkundung könnten Ressourcen besser gebündelt werden und es ergäben sich neue Möglichkeiten in der Analyse von Bewirtschaftungsarten.

Der normalisierte Differenzen-Vegetations Index (NDVI) bietet eine Möglichkeit, die Biomasse und somit den Schnitzeitpunkt durch die Verwendung von Satelliten zu berechnen. Der NDVI ist ein häufig angewandter Vegetationsindex, welcher durch Sensoren des Sentinel 2 Satelliten vom Copernicus Programm der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) berechnet werden kann und Rückschlüsse auf photosynthetische Aktivitäten zulässt. Verschiedene Studien setzten sich bereits mit der Berechnung und Erkennung verschiedener Ackerkulturen, sowie der Ermittlung von saisonalen Veränderungen in Vegetationsbedeckungen mittels NDVI auseinander. Jamali et al. (2015) entwickelten eine Methode, um Vegetationsveränderungen bei Zeitreihenaufnahmen mittels NDVI automatisiert zu erkennen. Auch Jakubauskas et al. (2002) zeigten bereits früh auf, dass mit der Hilfe des NDVI die Bestimmung von Erntezeitpunkten verschiedener Ackerkulturen möglich sei. Mit den stetig anwachsenden Möglichkeiten der Fernerkundung einhergehend, stieg auch das Bedürfnis, ressourcenintensive Kontrollverfahren in unterschiedlichen Umweltbereichen zu optimieren bzw. zu erweitern. Kanjir et al. (2018) beschäftigten sich mit der Erkennung von Verstössen gegen die deklarierten Landnutzungen bei Dauergrünland in Slowenien. Die Flächen wurden dabei mit Aufnahmen früherer Jahre verglichen. Wurden die Flächen in einem Jahr anders bestellt, d.h. z.B. Mais angebaut anstelle des Grünlandes, konnte dies mit dieser Methode erkannt werden. Auch in anderen Bereichen und Ökosystemen nimmt die Erkennung von unerlaubten Eingriffen mittels Fernerkundung eine immer wichtigere Rolle ein. Ose und Cresson (2019) verglichen beispielsweise aktuelle Aufnahmen der Sentinel 2 Satelliten mit Aufnahmen vorgängiger Jahre, um unerlaubte

clear-cuts bei Waldflächen zu erkennen. Wie diese Beispiele, beziehen sich viele Studien bei der Erkennung von natürlichen oder anthropogen verursachten Veränderungen in der Umwelt auf Referenzjahre. Trotz umfangreicher Literaturrecherche blieb offen, wie bei mehreren unterschiedlichen Agrarflächen gleichzeitig, abrupte vegetative Veränderungen während einer Vegetationsperiode erkannt und somit der Zeitraum in dem Pflegeschnitte durchgeführt wurden, identifiziert werden können. Aus diesen Gründen soll im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit eine Methode erarbeitet werden, um Zeitreihenaufnahmen der Sentinel 2 Satelliten halbautomatisiert auswerten zu können, um Rückschlüsse zu ziehen, in welchem Zeitraum Pflegeschnitte bei vordefinierten landwirtschaftlichen Nutzungsarten durchgeführt wurden.

2. Rahmenbedingungen

Aufgrund der zur Verfügung stehenden parzellenscharfen Dokumentation von einzelnen landwirtschaftlichen Nutzungsflächen im Kanton Zürich, wird dieser als Untersuchungsperimeter für diese Arbeit definiert. Die Sektion Direktzahlungen von der Abteilung Landwirtschaft (ALA) des Amtes für Landwirtschaft und Natur im Kanton Zürich, erklärte sich bereit, dafür erfasste landwirtschaftliche Nutzungstypen im Rahmen des Agricola Programmes zur Verfügung zu stellen.

Die gemeinwirtschaftlichen Leistungen im Bereich der Biodiversitätsförderung, welche die Schweizer Landwirte mit den BFF erbringen müssen, haben häufig einen Verzicht auf einen Teil der Ernteerträge zur Folge. Des Weiteren müssen in Bezug auf die biologischen Entwicklungen der potentiell auf den Flächen vorkommenden Flora und Fauna, diverse Auflagen berücksichtigt werden (Bundesrat 2013a). Bedingt durch die hohen Ansprüche des Bundes an die BFF, besteht ein Interesse daran, diese Auflagen durch effiziente Kontrollmechanismen zu kontrollieren. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich aus diesem Grund auf die Erkennung von Zeiträumen von Pflegeschnitten bei BFF.

Diese Kontrolle stellt zum heutigen Zeitpunkt eine grosse personelle und finanzielle Belastung für die Kontrollstellen und Ämter dar. Um den Ressourcenverbrauch bestmöglich zu optimieren, soll im Kontext dieser Masterarbeit eine Alternative zu kommerziellen Varianten mit nicht proprietären Softwares und Open Data aufgezeigt werden.

Als Referenzjahr soll das Jahr 2018 herangezogen werden, aufgrund der Aktualität und der zur Verfügung stehenden Satelliten-Daten über ein ganzes Jahr.

3. Grundlagen

3.1 Phänologische Entwicklung von BFF

Die Phänologie beschäftigt sich mit der Lehre von periodisch wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungserscheinungen, die sich häufig auf Pflanzen und Lebensgemeinschaften beziehen. Wie Kennedy et al. (2014) festhält, kann mit der Hilfe von Fernerkundungsdaten die Phänologie von unterschiedlichen Lebensräumen charakterisiert werden. So lassen sich z.B. anhand von typischen Veränderungen der Biomasse über eine bestimmte Vegetationsperiode sowohl unterschiedliche Lebensräume identifizieren, als auch anthropogene Eingriffe erkennen. Auch BFF weisen bestimmte phänologische Merkmale auf. Dies zeigt sich summa summarum in der effektiven Biomasse. In den mittleren Breitengraden lässt sich diese Tatsache durch eine Zunahme der effektiven Biomasse während milderer Monaten im Frühling, im Sommer, sowie bis weit in den Herbst erkennen. Charakteristische Unterbrüche werden dabei im Normalfall durch Pflegeschnitte verursacht. Auch Umweltfaktoren, wie z.B. Wassermangel oder Unwetter, können solche Einbrüche bewirken.

Ein Schnitt einer BFF lässt sich, wie in Abbildung 1 skizziert, durch eine abrupte Minderung der absoluten Biomasse bestimmen (Kennedy et al. 2014).

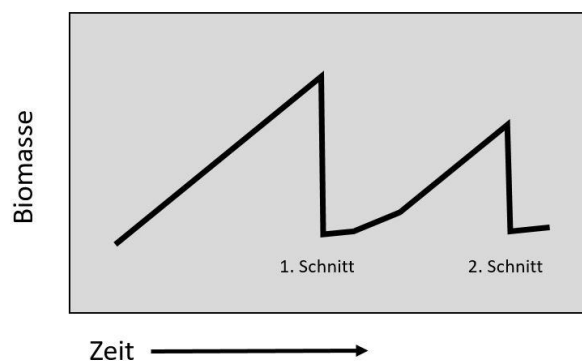


Abbildung 1: Skizze der Phänologischen Entwicklung einer BFF mit zwei Pflegeschnitten, in Bezug auf die Biomasse, in Anlehnung an Kennedy et al. (2014)

Im Kanton Zürich wird die phänologische Entwicklung bei BFF durch die Direktzahlungsverordnung an die Landwirtschaft (DZV) beeinflusst (Bundesrat 2013a). Gemäss dieser werden für BFF Pflegeschnitte vorgeschrieben, welche sich je nach Zone, Art und Qualitätsstufe der Flächen in Anzahl und dem erlaubten Zeitraum unterscheiden können.

3.2 NDVI

Für die Energieproduktion benötigen Pflanzen vor allem rotes und blaues Licht, welches sie in grossen Mengen absorbieren (siehe Abbildung 2). Grünes und insbesondere infrarotes Licht werden von Pflanzen stark reflektiert, da diese keinen entscheidenden Nutzen für die Photosynthese erbringen. Dies kann mit der Hilfe des NDVI zu Nutzen gemacht werden, da mit der Hilfe des reflektierten Lichts Rückschlüsse auf photosynthetische Aktivitäten auf der Erdoberfläche gemacht werden können (Clevers and Gitelson 2013).

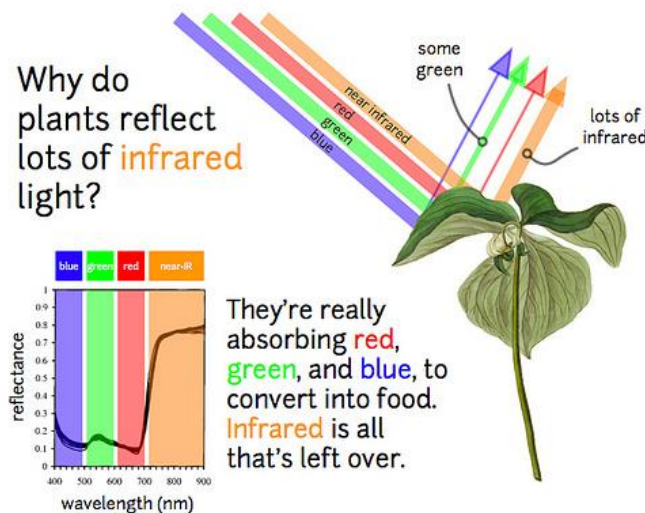


Abbildung 2: Reflexionen bei Pflanzen (n.a. 2020)

Der NDVI gibt das Verhältnis einer Kombination des roten sichtbaren Bereich des Lichtspektrums (Red) und dem nahem Infrarot (NIR) wieder (Asrar 1989).

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

Wie in Abbildung 3 ersichtlich, deuten hohe Werte des NIR, nahe des Wertes 1, auf einen hohen Grünanteil hin. Das bedeutet, dass eine grosse Menge Chlorophyll vorhanden ist, was für eine Vegetation mit hoher Biomasse spricht. Vegetationslose Oberflächen, wie z.B. Stein oder Acker, weisen Werte nahe 0 auf. Das gleiche gilt für den NDVI, der sich zwischen den Werten -1 und 1 bewegt. Negative Werte werden bei diesem hauptsächlich durch Schnee, Wolken oder Wasser verursacht. Die Vegetation liegt meist zwischen den Werten 0.1 und 0.7 (Lillesand et al. 2015).

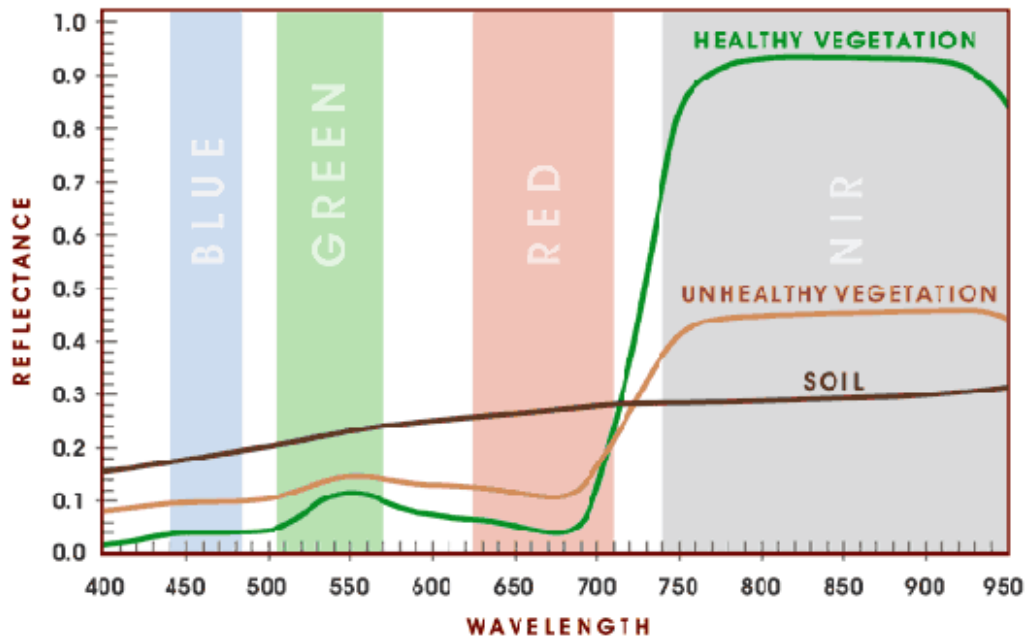


Abbildung 3: Interpretation der NIR- und Red-Werte (n.a. 2020)

3.3 Datengrundlagen

3.3.1 Sentinel 2

Das Satellitenpaar von Sentinel 2 setzt sich aus Sentinel 2A und Sentinel 2B zusammen. Das Satellitenpaar, welches von der European Space Agency (ESA) betrieben wird, befindet sich in derselben sonnensynchronen Umlaufbahn und ist 180° zueinander versetzt. Ziel des Sentinel 2 Programmes ist die zeitnahe Überwachung von Veränderungen der Landoberfläche. Mit den Satelliten ist eine globale Erfassung im Zeitraum von jeweils fünf Tagen möglich. Dadurch, dass der Kanton Zürich in den Mittleren Breiten liegt, werden bei wolkenlosen Bedingungen Satellitenbilder im Intervall von zwei bis drei Tagen bereitgestellt. Die Produkte von Sentinel 2 werden von der ESA frei zur Verfügung gestellt (ESA 2015).

Mit dem Satellitenpaar bietet die ESA Daten von 13 verschiedenen Spektralbändern. Diese verfügen über Auflösungen von 10 m bis 60 m. In Abbildung 4 wird ersichtlich, mit welcher Auflösung die multispektralen Instrumente (MSI) die reflektierte Strahlung der Erde durch die Atmosphäre erfassen. Die unterschiedliche Spektralbänder eignen sich zur Erkennung variierender Erdoberflächen auf verschiedene Weise. So können etwa die Bänder des kurzwelligen

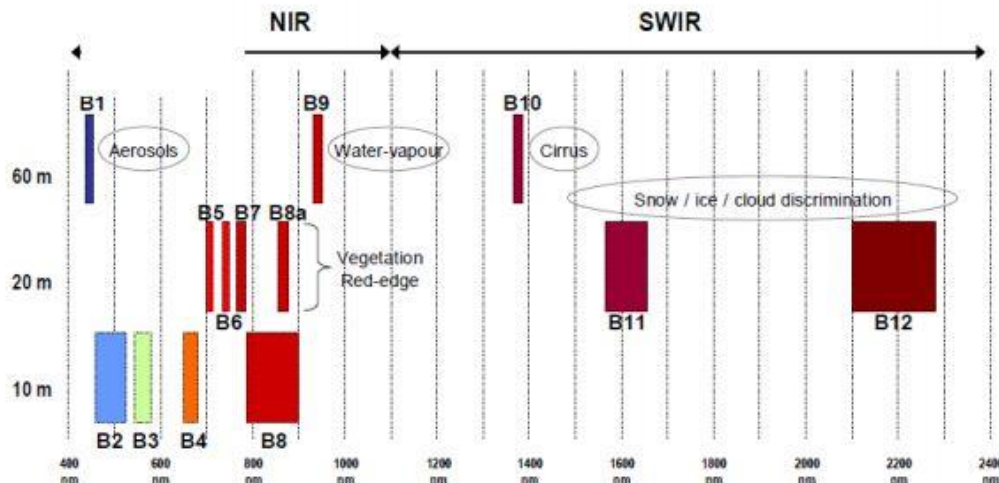


Abbildung 4: MSI Spektralbänder und räumliche Auflösung (A. Gatti 2015)

Infrarots (SWIR), also die Bänder 10, 11 und 12, besonders für die Identifizierung von eisbedeckten Flächen und Wolken herangezogen werden. Im Gegensatz dazu eignen sich die Bänder des Red und NIR besonders für die Vegetationscharakterisierung (A. Gatti 2015).

Die Daten werden in unterschiedlichen Produkte-Levels zur Verfügung gestellt und gemäss Sentinel-2 User Handbook von A. Gatti (2015) folgendermassen klassifiziert:

Level-0: entspricht Rohbildern die noch an Board der Satelliten komprimiert werden.

Level-1: werden aus den Level-0 Produkten generiert. Es wird unterschieden zwischen:

- Level-1A: «Rohes Bild» nach der Dekomprimierung.
- Level-1B: «Radiometrisch korrigiert». Produkt mit verfeinertem geometrischem Modell angehängt, aber nicht angewendet.
- Level-1C: Orthorektifiziertes Produkt mit Top-of-Atmosphere Reflexion.

Level-2: orthorektifiziertes Produkt, das die Bottom-of-Atmosphere Reflexionsgrade und die grundlegenden Pixelklassifizierungen bereitstellt.

- Level-2A: Werden von den Level-1C seit März 2018 systematisch generiert.

3.3.2 Nutzungsflächen Kanton Zürich

Die Daten geben die für die Direktzahlung angemeldeten, landwirtschaftlichen Nutzungen (ohne Naturschutzflächen) im Kanton Zürich wieder und wurden von der Sektion Direktzahlungen der Abteilung Landwirtschaft des Kanton Zürich als ESRI File Geodatabase (.gdb) zur Verfügung gestellt. Im Generellen beinhaltet der Datensatz alle bis zum 12.07.2018 erfassten Nutzungen. Die Daten sind mit dem minimalen Geodatenmodell 153.1 des Bundes kompatibel und umfassen eine Vielzahl der im Rahmen dieser Arbeit relevanten BFF, mit nachstehenden Nutzungsarten, sowie die Anzahl untersuchter Flächen:

	Nutzungscode	Anzahl Flächen
Ackerschonstreifen	555	33
Buntbrache	556	247
Rotationsbrache	557	99
Saum auf Ackerschonstreifen	559	54
Blühstreifen für Bestäuber und andere Nützlinge	572	74
Extensiv genutzte Wiesen	611	12048
Wenig intensiv genutzte Wiesen	612	305
Rebflächen mit natürlicher Artenvielfalt	717	194
Streuflächen innerhalb der LN	851	475
Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Krautsaum)	852	1710

Die diversen BFF weisen unterschiedliche Bewirtschaftungsauflagen auf. Diese umfassen etwa jene Zeitpunkte, ab welchen ein Pflegeschnitt durchgeführt werden darf, sowie Häufigkeit und Notwendigkeit eines solchen Pflegeschnitts im Zeitraum eines Jahres (Bundesrat 2013a). Im Kanton Zürich ist die landwirtschaftliche Beratungsstelle AGRIDEA für den Erfahrungsaustausch zwischen Akteuren der Landwirtschaft und des ländlichen Raums zuständig. Sie stellt den Landwirten, basierend auf den DZV, Wegleitungen (siehe Abbildung 5) zu den einzelnen Nutzungsarten zur Verfügung.

BIODIVERSITÄTSFÖRDERUNG AUF DEM LANDWIRTSCHAFTSBETRIEB

Wiesen

Extensiv genutzte Wiese	Wenig intensiv genutzte Wiese	Streuefläche	Uferwiese entlang von Fließgewässern
Magere Wiese auf Trocken- oder Feuchtstandorten 	Leicht düngbare Wiese auf Trocken- oder Feuchtstandorten 	Vegetation auf Feucht- und Nassstandorten mit traditioneller Streuenutzung 	Extensiver Wiesenstreifen entlang von Fließgewässern 

Qualitätsstufe I

Anrechenbare Fläche	Jährlich genutzte Fläche sowie Rückzugsstreifen bis zu einem Anteil von 10% der gesamten Fläche Entlang von Fließgewässern berechtigten unproduktive Kleinstrukturen bis zu einem Anteil von höchstens 20 Prozent an der totalen Fläche zu Beiträgen. (1)	Nur genutzte Fläche anrechenbar und beitragsberechtigt	Gesamte Fläche Entlang von Fließgewässern berechtigten unproduktive Kleinstrukturen bis zu einem Anteil von höchstens 20 Prozent an der totalen Fläche zu Beiträgen. (1)	Maximale Breite des Streifens: 12 m oder Breite des Gewässerraums
Düngung	Keine	Stickstoff: nur Mist oder Kompost, max. 30 kg verfügbarer N pro ha und Jahr (2)	Keine	Keine
Pflanzenschutzmittel	Höchstens Einzelstockbehandlung von Problem-pflanzen, falls diese mit angemessenem Aufwand mechanisch nicht bekämpfbar sind (siehe auch Seite 5)		Keine	Höchstens Einzelstock-behandlung von Problem-pflanzen ab dem 4. m vom Fließgewässer, falls diese mit angemessenem Aufwand mechanisch nicht bekämpfbar sind (siehe auch Seite 5) (3)
Nutzung	Grundsätzliche Schnittnutzung: • Schnitt: mindestens 1x jährlich • Frühester Schnitt: 15. Juni (TZ-HZ), 1. Juli (BZ I, II), 15. Juli (BZ III, IV) (4) Herbstweide: • Nutzung des letzten Aufwuchses als Herbstweide bei günstigen Bodenverhältnissen ab 1. September bis spätestens 30. November erlaubt, sofern nichts anderes mit Kanton vereinbart • Vorübergehende Beweidung durch wandernde Schafferden im Winter zulässig Mulchen verboten Schnittgut abführen obligatorisch; Ast- und Streuhaufen als Unterschlupf für Tiere erlaubt		• Schnitt: max. 1x jährlich, min. 1x pro 3 Jahre • Frühester Schnitt: 1. September • Schnittgut darf nur ausnahmsweise als Futter eingesetzt werden • Schnitt: mindestens 1x jährlich • Herbstweide: Nutzung des letzten Aufwuchses als Herbstweide bei günstigen Bodenverhältnissen ab 1. September bis spätestens 30. November erlaubt, sofern nichts anderes mit Kanton vereinbart	
Verpflichtungsdauer	Nach Anmeldung mindestens 8 Jahre ohne Unterbruch am gleichen Standort			

Abbildung 5: Beispiel einer Wegleitung für die Biodiversitätsförderung auf dem Landwirtschaftsbetrieb (Caillet-Bois et al. 2019)

3.4 QGIS und Python

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Arbeiten mit GIS mittels der Software QGIS bearbeitet. Dabei wurden die Software Versionen 2.18, 3.4 und 3.8 verwendet.

Für die Umsetzung des Algorithmus (siehe Kapitel 4.3.6) wurde Python 2.7 verwendet. Python ist eine frei verfügbare Programmiersprache. Damit ist es sowohl möglich, andere Programme, wie z.B. das für Datenanalysen häufig verwendete Statistikprogramm R, diverse Packages, als auch eigene Programmierungen in ein Skript einzubauen.

4. Methode

4.1 Konzeptionsphase Analyseverfahren

Damit ein Analyseverfahren ausgearbeitet werden konnte, wurden in einem ersten Schritt Kriterien festgelegt und die wesentlichsten Punkte konzeptionell ausgearbeitet. Aufbauend auf Kapitel 3 wurden folgende Merkmale identifiziert, welche die Identifikation von Schnittzeitpunkten mittels NDVI ermöglichen sollen:

- Abrupte Minderung des NDVI, wenige Aufnahmetage nach einem Peak
- Kontinuierliche Steigerung des NDVI nach einem Schnittzeitpunkt, während der Vegetationsperiode
- Minimalabstand zwischen zwei Schnittzeitpunkten

Wie in Kapitel 3.2 beschrieben, ist die abrupte Minderung des NDVI nach einem Schnittzeitpunkt darauf zurückzuführen, dass vegetationslose oder vegetationsarme Oberflächen einen niedrigeren NDVI-Wert aufweisen. Durch den Schnitt einer BFF wird zwangsläufig Biomasse der Nutzungsfläche entzogen, sprich das Gras wird z.B. getrocknet und danach von der Fläche weggeführt. In Abhängigkeit der phänologischen Merkmale (siehe Kapitel 3.1) wird davon ausgegangen, dass sich ein Schnitt von den vorliegenden Nutzungsflächen dadurch akzentuiert, dass die tiefsten NDVI-Werte kurz nach den Peaks zu finden sind (siehe Abbildung 6). In Bezug auf die im Rahmen dieser Arbeit herangezogenen Grundlagendaten hiesse das, dass die abrupte Minderung des NDVI kurz nach einem Peak ein möglicher Hinweis für einen potenziellen Schnittzeitpunkt ist. Ausserdem wird angenommen, dass nachdem bei einer BFF ein Pflegeschnitt stattfand, die Vegetation wieder kontinuierlich wächst solange es die Umweltbedingungen zulassen. Bei Zeitreihen, während welchen die NDVI kontinuierlich sinken (siehe Abbildung 7) kann davon ausgegangen werden, dass keine Pflegeschnitte stattgefunden haben. Gründe für eine kontinuierliche Abnahme des NDVI könnten z.B. eine Beweidung der

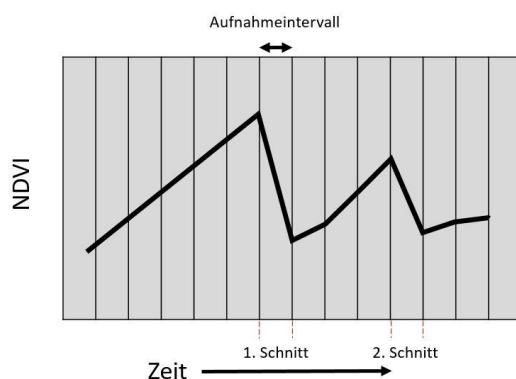


Abbildung 6: Skizze einer Zeitreihe mit Pflegeschnitten

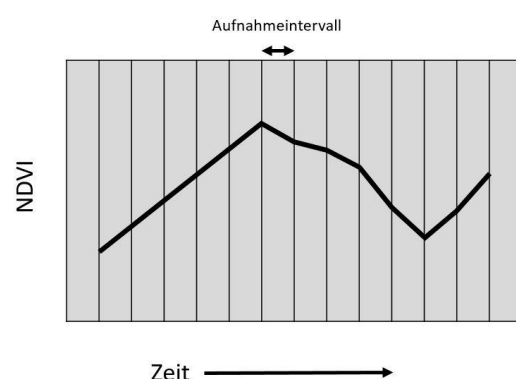


Abbildung 7: Skizze einer Zeitreihe ohne Pflegeschnitte

Fläche durch Vieh sein, oder das Leiden der Vegetation unter Trockenheit. Zudem benötigt die Vegetation zwangsläufig eine gewisse Regenerationszeit, damit überhaupt ein zweiter Pflegeschnitt für einen Landwirt sinnvoll ist. Dass mehrere Schnitte pro Monat oder innerhalb kurzer Zeiträume durchgeführt werden, scheint aus diesem Grund eher unplausibel. Zudem ist es gemäss DZV nicht erlaubt, zu viele Pflegeschnitte bei BFF durchzuführen (Bundesrat 2013a). In der Literatur wird immer wieder darauf verwiesen, dass die theoretischen Konzepte zu Erkennung von Schnittzeitpunkte oder Erntezeitpunkte massgeblich von der Qualität der Daten abhängig sind (Cao et al. 2018). Die zeitliche Diskrepanz der Satelliten Aufnahmen (siehe Kapitel 3.3.1) führt dazu, dass nur eine Aussage über den Zeitraum, nicht aber der genaue Zeitpunkt von Pflegeschnitten gemacht werden kann.

Neben den beschriebenen Umweltbedingungen kann das sogenannte Rauschen die Zeitreihen massgebend beeinflussen. Als Rauschen werden in diesem Kontext Ausreisser von NDVI Zeitreihen bezeichnet, bei welchen die Satellitensensoren durch z.B. eine Wolkenbedeckung, Dunst oder sich ändernde Beleuchtungsmuster leicht bis stark beeinträchtigt wurden (siehe Abbildung 8). Im weiteren Verlauf dieser Masterarbeit werden grosse Beeinträchtigungen (starkes Rauschen) als Ausreisser und leichte als Restrauschen bezeichnet. Das Restrauschen kann auch durch mehrmalige Prozessierung der Aufnahmen nicht vermieden werden (Hird and McDermid 2009). Durch eine Glättung der NDVI Zeitreihen sollen sowohl Ausreisser als auch Restrauschen im Analyseverfahren besser berücksichtigt werden können (siehe Abbildung 9). Die Ausreisser können, wie die Schnittzeitpunkte, abrupte Minderungen der NDVI-Werte hervorrufen. Damit nun die Schnittzeitpunkte von den Ausreissern unterschieden werden können, sollen die tiefsten (lowest point) und höchsten (peak) Werte verifiziert werden. Dies soll mit einem Vergleich der effektiven NDVI Zeitreihen und der geglätteten Zeitreihen geschehen. Wie in Abbildung 10 ersichtlich, sollen in einem ersten Schritt die lowest points und peaks der NDVI Zeitreihen ermittelt werden. In einem zweiten Schritt werden die lowest points und peaks der geglätteten Zeitreihen berechnet (siehe Abbildung 11). Die Verifikation

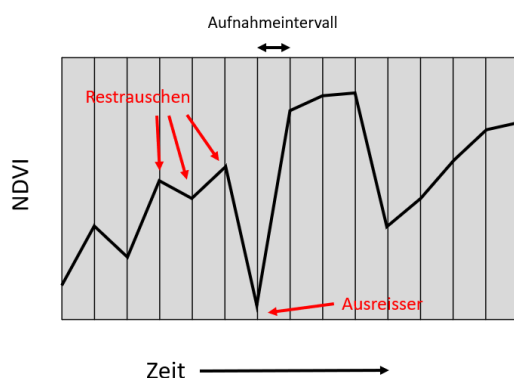


Abbildung 8: Skizze einer BFF Zeitreihe mit Restrauschen und einem Ausreisser

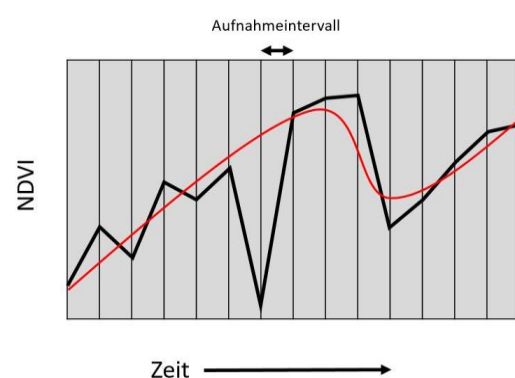


Abbildung 9: Skizze einer BFF Zeitreihe mit einer Glättung (rote Linie)

wird durch einen Vergleich der jeweiligen lowest points und der peaks erreicht. Aufgrund der bis hierhin genannten Aspekte wird im Folgenden angenommen, dass je näher ein peak der NDVI Zeitreihen jenem der geglätteten Linien ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass es sich tatsächlich um einen peak handelt. Das Gleiche gilt für die lowest points. Wie in Abbildung 11 ersichtlich, können prinzipiell Ausreisser mit dieser Methode umgangen werden. Der erste lowest point würde bei dem Beispiel nicht verifiziert werden, da in unmittelbarer Nähe kein lowest point bei der geglätteten Linie erkannt wurde. Bei der geglätteten Zeitreihe würde hingegen ein peak einen Aufnahmetag vor dem peak der NDVI Zeitreihe identifiziert werden. Beim lowest point wäre es der gleiche Aufnahmetag. Mit den lowest points und peaks die in diesem Rahmen verifiziert werden können, kann anschliessend überprüft werden, wie gross die Abstände zueinander sind. Wie beschrieben, wird davon ausgegangen, dass die Wahrscheinlichkeit, ob ein Schnitt stattgefunden hat damit korreliert, wie nahe die lowest points und peaks voneinander entfernt sind. Das würde bedeuten, dass je näher ein lowest point auf ein peak folgt, die Wahrscheinlichkeit umso grösser ist, dass auch tatsächlich ein mechanischer Eingriff stattgefunden hat.

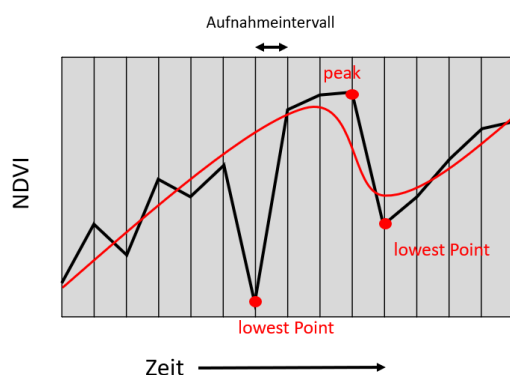


Abbildung 10: Skizze einer BFF Zeitreihe, mit ermittelten lowest points und peaks

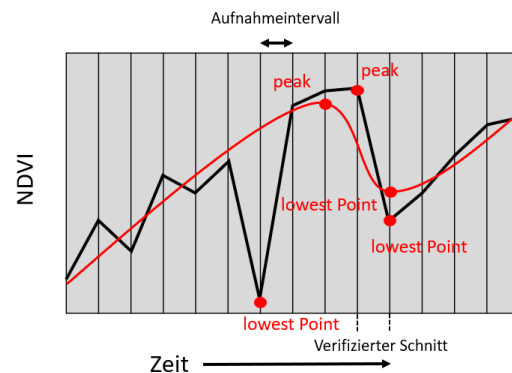


Abbildung 11: Skizze einer BFF Zeitreihe mit einer Glättung (rote Linie), sowie den jeweils ermittelten lowest points und peaks

4.2 Vorgehensweise Analyseverfahren

Basierend auf der Konzeptionsphase (Kapitel 4.1), den Rahmenbedingungen (Kapitel 2) und den gegebenen Grundlagendaten (Kapitel 3.3), wurden drei Phasen definiert, um Zeiträume zu identifizieren, in denen Pflegeschnitte stattgefunden haben (siehe Abbildung 12).

Die erste Phase umfasst die Akquirierung von den Grundlagendaten der Sentinel Satelliten, bis zur Bereitstellung der Zonal Statistics in einer Commaseparated value (CSV) Tabelle. In dieser Phase wurde die Basis für die spätere halbautomatisierte Auswertung der NDVI-Werte geschaffen. Mit Hilfe von Geoinformationssystemen (in diesem Fall mit QGIS) wurde sichergestellt, dass für eine weitere Prozessierung und Auswertung möglichst bereinigte Daten vorliegen.

Die zweite Phase nimmt Bezug auf die Analyse von NDVI Zeitreihen-Werte durch einen Algorithmus. Mit diesem konnte eine grosse Anzahl von Nutzungsflächen nach bestimmten Kriterien automatisiert ausgewertet und zugleich visualisiert werden.

Die dritte Phase beschreibt die Interpretation der Resultate, sowie deren Einordnung nach ihrer Relevanz für die Beurteilung von Zeiträumen mit potenziellen Schnittzeitpunkten.

4.3 Prozessablauf

Die in Kapitel 4.2 beschriebenen Phasen lassen sich in sieben Prozessschritte (gemäß Abbildung 12) gliedern.

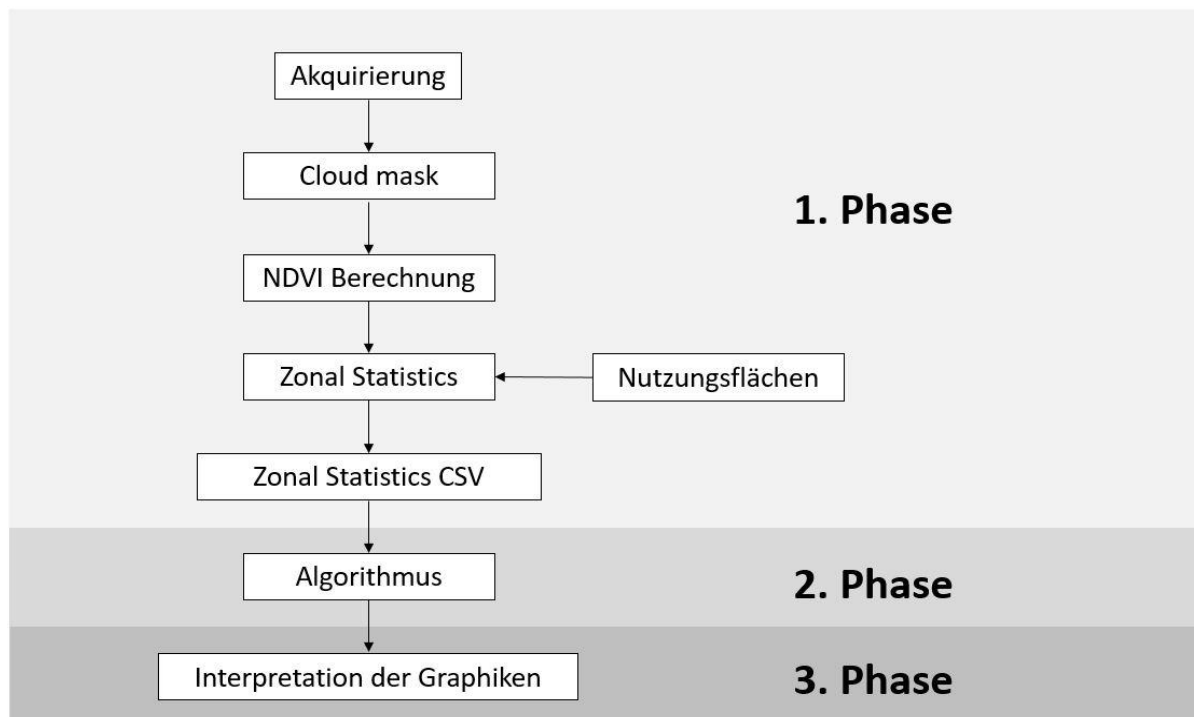


Abbildung 12: Prozessablauf

4.3.1 Aquirierung

In einem ersten Schritt wurden verfügbare Satellitenbilder der Sentinel 2 Satelliten vom Untersuchungsperimeter heruntergeladen. Diese Bilder können direkt von der Copernicus Open Access Hub Seite von der ESA, oder mit diversen Tools bzw. Plugins, welche auf die Daten der ESA zurückgreifen, heruntergeladen werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Produkt Level 2A mit dem Plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SACP) von QGIS heruntergeladen. Die maximale Wolkenbedeckung wurde auf 70% festgelegt.

4.3.2 Cloud Mask

Das Produkt Level-2A von der ESA, mit welchem im Rahmen dieser Masterarbeit gearbeitet wurde, beinhaltet unter anderem Wolkenmasken. Die Maskenberechnung basiert auf einer Auflösung von 60 m und den Spektralbändern 1, 2 und 10, sowie einem SWIR, entweder von Band 11 oder Band 12 (ESA 2015). Die, im Lieferumfang enthaltenen, Wolkenmasken wurden für die Aufbereitung der Spektralbilder 8 und 4 genutzt, welche im nächsten Schritt (Kapitel 4.3.3) zur NDVI Berechnung herangezogen wurden.

4.3.3 NDVI Berechnung

Für die Berechnung des NDVI wurden die Spektralbänder 8 und 4 von den Sentinel 2 Satelliten verwendet (siehe Kapitel 3.3.1). Daraus ergibt sich folgende Formel für die Berechnung:

$$NDVI = \frac{(Band\ 8 - Band\ 4)}{(Band\ 8 + Band\ 4)}$$

Die Berechnungen wurde mit QGIS Version 2.18 mit dem Raster Calculator durchgeführt.

4.3.4 Zonal Statistics

Mit Hilfe von Zonal Statistics wurde der durchschnittliche NDVI-Wert pro Nutzungsfläche von jedem Aufnahmetag berechnet.

4.3.5 Zonal Statistics in CSV

Für nachfolgende Berechnungen mit dem Algorithmus, wurden die ermittelten durchschnittlichen NDVI-Werte pro Nutzungsfläche als Dateiformat CSV exportiert.

4.3.6 Algorithmus

Aufbauend auf der phänologischen Entwicklung von BFF (siehe Kapitel 3.1) und der Konzeptionsphase (siehe Kapitel 4.1), wurde mittels eines Algorithmus (siehe Abbildung 13) der Zeitraum von Pflegeschnitten ermittelt. Der Algorithmus wurde mit Python 2.7 geschrieben.

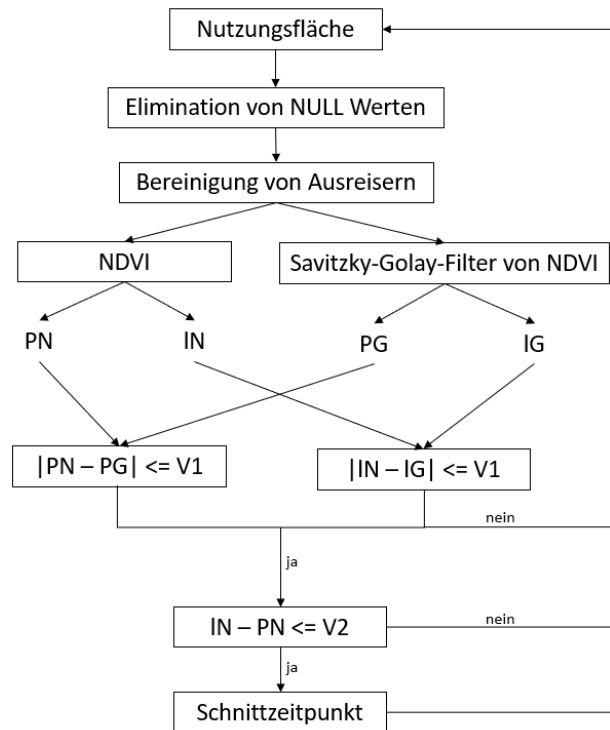


Abbildung 13: Schema des Algorithmus zur Ermittlung von Schnittzeitpunkten (PN = peak NDVI, IN = lowest Point NDVI, PG = peak Savitzky-Golay-Filter, IG = lowest Point Savitzky-Golay-Filter)

Ausgehend von der ersten Nutzungsfläche und den durchschnittlichen NDVI-Werten pro Nutzungsfläche in der CSV Tabelle (siehe Abbildung 14), arbeitet sich der Algorithmus Schritt für Schritt durch die einzelne Nutzungsflächen.

Als Erstes wurden entstandene NULL Werte (Tage ohne NDVI-Werte) aus der Wolken Maskierung entfernt, damit die Zeitreihe durch diese unbeeinflusst bleibt.

1	11111	02.04.2018	07.04.2018	10.04.2018	17.04.2018	20.04.2018	22.04.2018	25.04.2018	27.04.2018	30.04.2018	05.05.2018	07.05.2018	12.05.2018	25.05.2018	30.05.2018	04.06.2018	06.06.2018	09.06.2018
2	94386	0.57131697	0.62958899	0.61441285	0.66717898	0.67270544	0.66180028	0.67299252	0.70543381	0.73173689		0.73471929	0.75877187		0.71695639	0.57271238	0.29540693	0.
3	98982	0.59683655	0.63117471	0.60476399	0.66151511	0.65503849	0.67156125	0.68574769	0.69804063	0.7105752		0.7167673	0.74542112		0.69334778	0.54715898	0.37705289	0.59
4	84206	0.5978001	0.73023509	0.77541717	0.77337826	0.84171467	0.70614577	0.64785446	0.75586881	0.5319898	0.51055715	0.52878015	0.54721369	0.6985746	0.76314661	0.53977821	0.32785206	0.49
5	93502	0.35692173	0.31688956	0.34067777	0.2890856	0.35740846	0.23118744	0.23437524	0.28052424	0.28261666	0.31617116	0.28882464	0.26486851		0.40899896	0.61661415	0.53512211	0.60
6	93493	0.36327964	0.34152131	0.34540568	0.33183105	0.34387423	0.25578269	0.26514217	0.30125958	0.25531931	0.28609428	0.28731564	0.28123537		0.39707266	0.63993928	0.50716403	0.57
7	85499	0.35700201	0.33430541	0.35450515	0.31135193	0.36705656	0.25670054	0.26691476	0.29972408	0.28160683	0.31112205	0.3015854	0.28534262		0.3988108	0.59422084	0.50982901	0.56
8	23979	0.36483274	0.29275786	0.29482538	0.30845901	0.25917238	0.31828753	0.33235677	0.20276726	0.17200736		0.19386153	0.32320024	0.48147898	0.374747	0.590287	0.49524964	0.7
9	27586	0.51944451	0.57918193	0.58800834	0.66078053	0.73422236	0.6773827	0.68930948	0.71558416	0.74690663		0.76481343	0.71953765	0.74855951	0.74285494	0.7650804	0.25551027	0.74
10	24030	0.5240935	0.61449599	0.65927634	0.73153388	0.80232801	0.71130696	0.69936131	0.79160458	0.80916436		0.79052368	0.68209124	0.69960706	0.74262983	0.66872272	0.41902066	0.67
11	27914	0.55425257	0.58922306	0.62821812	0.68194033	0.72213303	0.65802591	0.55414272	0.6772396	0.71738914	0.72138177	0.70548832	0.70118438	0.72117546	0.67959237	0.72819347	0.5918131	0.58
12	27916	0.48607032	0.475198	0.48517964	0.5197885	0.53873	0.53966835	0.53682774	0.54118625	0.49762097	0.57844931	0.55800521	0.55592744	0.59635983	0.54209945	0.61132903	0.50668817	0.53
13	27920	0.51296716	0.51739313	0.53938417	0.60673368	0.62724603	0.59556386	0.55740196	0.62230866	0.64438972	0.66984495	0.64804001	0.65139145	0.70458067	0.64572009	0.70354481	0.59195513	0.62
14	27917	0.46465726	0.48460447	0.50207512	0.54795898	0.58404274	0.54987453	0.4687368	0.57793911	0.54621896	0.59507281	0.59137019	0.56933999	0.60034746	0.57760971	0.60244926	0.52637378	0.59
15	25485	0.54417211	0.55031917	0.55430034	0.64686905	0.6643089	0.66959403	0.4344995	0.71525736	0.74266166	0.36783885	0.74194398	0.72462879		0.71685398	0.69403005	0.65547483	0.63
16	109574	0.50728735	0.34651806	0.2706555	0.32100062	0.31717116	0.28494695	0.3336955	0.34683444	0.39874102	0.35809002	0.5385856	0.61184657	0.77542595	0.80574503	0.75514147		0.20
17	109684	0.7097509	0.72599524	0.73974002	0.77204277	0.80488664	0.80427095	0.79698092	0.829554	0.3661762	0.80367528	0.83317548	0.83058257	0.82921987	0.76301256			0.73
18	109683	0.69761448	0.71529612	0.72014923	0.75432478	0.78161643	0.78339912	0.77748872	0.81116612	0.41017187	0.77077076	0.80945064	0.80327697	0.79810467	0.73441496			0.69
19	129450	0.5772348	0.65415458	0.62415023	0.68226266	0.79114279	0.6929252	0.7124062	0.79690504	0.10477412	0.75316485	0.8101619	0.76951473	0.79190438	0.74471481	0.71245439	0.041784	
20	119394	0.68978493	0.7230891	0.67570919	0.72280502	0.78897317	0.74685591	0.76639901	0.78726848	0.32021275	0.78842454	0.8045972	0.80666972	0.80328475	0.75115205	0.7258411	0.41291545	0.31
21	121187	0.68462682	0.72727213	0.72732276	0.75057169	0.81652885	0.76712147	0.7818644	0.80931131	0.54859841	0.79343242	0.81312964	0.80375802	0.80096373	0.74864709		0.50542378	0.38
22	98208	0.65956731	0.71814805	0.72398019	0.71481108	0.72533307	0.72803845	0.77477617	0.80647954	0.83168765	0.7425247	0.67830318	0.65145901	0.74280766	0.80112401	0.81396531	0.55875502	0.81
23	98221	0.43703909	0.48032703	0.48062284	0.56811743	0.5741337	0.63190095	0.71419172	0.70661018	0.61748338	0.7583072	0.73700812	0.79158215	0.7222565	0.76243816	0.75784132	0.55134129	0.75
24	27991	0.64814436	0.74497914	0.76956445	0.81328663	0.77769983	0.78204492	0.74793217	0.77015293	0.74575457	0.66089571	0.72925025	0.79306576	0.75188297	0.80732587	0.79381487	0.74343211	0.7
25	28355	0.64794126	0.62632364	0.62518081	0.71272725	0.78653269	0.73414282	0.7707082	0.79483354	0.7526836	0.75617273	0.80879699	0.75374603	0.72108728	0.74426528		0.19441128	0.79

Abbildung 14: Ausschnitt aus dem CSV mit den durchschnittlichen NDVI-Werten pro Nutzungsfläche und Tag, sowie den NULL Werten

Aufgrund der nicht vollständig eliminierten Wolkenbedeckungen in Phase 1, wie z.B. Schnee, Schattenwürfen von näher gelegenen Hügelszügen, Bergen oder auch möglicher atmosphärischer Einflüsse, konnte es zu starken Ausreißern der NDVI-Werten kommen (siehe Kapitel 4.1). Mittels nachstehender Formel wurden diese in einem ersten Schritt, in Abhängigkeit des Medians aller NDVI-Werte einer Nutzungsfläche, entfernt.

```
def reject_outliers(data, m = 2.):
    d = np.abs(data - np.median(data))
    mdev = np.median(d)
    s = d/mdev if mdev else 0.
    return data[s<m]
```

Trotz gründlicher Bereinigung der Sentinel Daten in QGIS und der Elimination von markanten Ausreißern, bleibt ein Restrauschen verankert (Cao et al. 2018). Dieses kann weiterhin von atmosphärischen, als auch anderen Faktoren verursacht werden. Das Restrauschen kann die Identifikation von abrupten vegetativen Veränderungen negativ beeinflussen. Damit dieser Einfluss auf ein Minimum gesenkt wird, wurde wie im Kapitel 4.1 beschrieben, bei der Analyse mit dem Algorithmus eine Glättung des effektiven NDVI miteinbezogen. Aufgrund der guten Aufrechterhaltung der Integrität (d.h. Amplitude und Form) des wahren phänologischen Signales, wurde der Savitzky-Golay-Filter von Savitzky und Golay (1964) eingesetzt (Hird and McDermid 2009).

Ausgehend von der Annahme, dass kurze Abfolgen von peaks und tiefsten Werten in einer NDVI Zeitreihe Indizien für einen mechanischen Eingriff bei einer Ackerkultur und in diesem Fall einer BFF sind, wurden anschliessend deren Verhältnisse zueinander verglichen.

Dazu wurden mittels PeakUtils von Lucas Hermann Negri (2020), die peaks (PN) und die tiefsten Werten (IN) der NDVI Zeitreihe ermittelt. Die minimale Intervalldistanz zwischen den jeweiligen Peaks und den tiefsten Werten wurde dabei auf 10 Intervallpunkte festgelegt.

Um die Plausibilität der Peaks und der lowest points der NDVI Zeitreihen verifizieren zu können und um den Einfluss des Restrauschens zu minimieren, wurden jene Werte mit den peaks (PG) als auch der lowest points des Savitzky-Golay-Filters (IG) verglichen. Der Algorithmus vergleicht die maximale Distanz zwischen PN und PG, sowie zwischen IN und IG (siehe Abbildung 15), in Abhängigkeit mit der interaktiv eingegebenen Variable 1 (V1). Sofern die Bedingung $|PN - PG| \leq V1$ erfüllt ist, wurden diese als plausibel verifiziert. Wurde die Bedingung

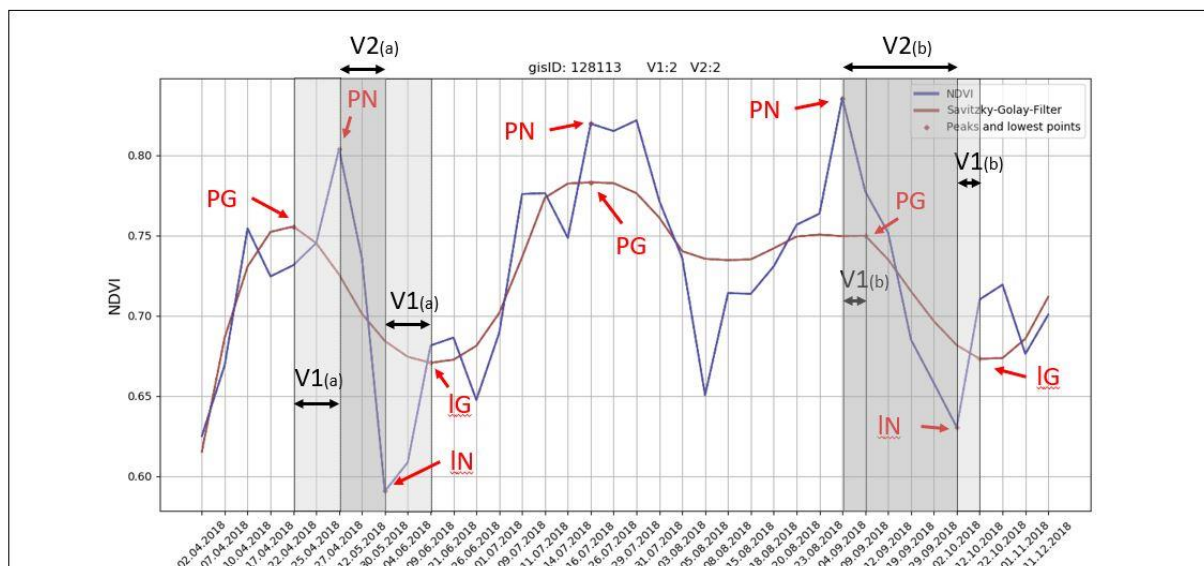


Abbildung 15: Output des Algorithmus mit folgenden zusätzlichen Beschriftungen und Visualisierungen: peak von Savitzky-Golay-Filter (PG), peak von NDVI (PN), lowest point von NDVI (IN), lowest point von Savitzky-Golay-Filter (IG), Variable 1 (V1) und Variable 2 (V2)

nicht erfüllt, ging der Algorithmus davon aus, dass die peaks und lowest points nicht plausibel seien, bzw. nicht verifiziert werden können. In diesem Fall wurde die weitere Analyse abgebrochen und bei der nächsten Nutzungsfläche wieder aufgenommen. Wurde die Bedingung erfüllt, wurde mit der, wiederum interaktiv eingegebenen Variable 2 (V2), die maximale Distanz zwischen PN und IN verglichen. Dabei überprüfte der Algorithmus, ob die Bedingung $IN - PN \leq V2$ erfüllt wurde (siehe Abbildung 15). Wurde auch diese Bedingung erfüllt, so generierte der Algorithmus eine Grafik von der entsprechenden Nutzungsfläche mit der Zeitreihe des NDVI und dem Savitzky-Golay Filter und legte diese ab. Anschliessend wurde mit der nächsten Nutzungsfläche die Analyse fortgeführt.

Die, in Abbildung 15 visualisierte Nutzungsfläche mit der gisID 128113, wurde beispielsweise mit den Variablen $V1 = 2$ und $V2 = 2$ analysiert. Zusätzlich zum Output des Algorithmus, wurden sowohl die PN, IN, PG und IG, als auch V1 und V2 (unterteilt in a und b) visualisiert. In

diesem Beispiel wurden die ersten, sowie letzten beiden PN und IN als plausibel verifiziert, da $|V1(a)|$ wie auch $|V1(b)| \leq 2$ sind. Die Bedingung $V2 \leq 2$ erfüllt nur $V2(a)$. $V2(b)$ beträgt in diesem Fall 5, weshalb dieser in diesem Analysedurchgang nicht als ein Zeitraum identifiziert wurde, in dem ein Pflegeschnitt stattgefunden haben könnte. Auch PN am 16.07.2018 wurde nicht berücksichtigt, da kein IN innerhalb von $\leq V2$ identifiziert wurde. Die Analyse dieser Nutzungsfläche lässt den Schluss zu, dass mit $V1 = 2$ und $V2 = 2$, ein Pflegeschnitt zwischen dem 27.04.2018 und dem 30.05.2018 stattgefunden haben muss.

4.3.7 Interpretation der Grafiken

Aufgrund des Restrauschens, welches trotz mehrstufiger Prozessierung immer noch vorkam und falsch identifizierte Nutzungsflächen mit Schnittzeitpunkten hervorrufen konnte, wurde eine finale Beurteilung der Grafiken durch den Autor dieser Arbeit unumgänglich.

Die Intervalle zwischen den verifizierten PN und IN bilden wie in Kapitel 4.1 beschrieben den Zeitraum eines potenziellen Schnittzeitpunktes, sofern $IN - PN \leq V2$. Die Fachperson sollte anhand der NDVI-Werte und des Savitzky-Golay-Filters beurteilen, ob der identifizierte Zeitraum, in dem ein Pflegeschnitt stattgefunden hat, plausibel ist. Je nach verfügbaren Aufnahmen und diversen anderen Einflüssen (siehe Kapitel 3), können die Intervalle zwischen den einzelnen NDVI-Werten in einer Grafik, von minimal zwei Tagen bis zu mehreren Wochen betragen.

Bei der Interpretation der Daten sollten verschiedene Punkte berücksichtigt werden. Zum einen sollte der gesamte Verlauf der Zeitreihe untersucht werden, gestützt auf den Grundlagen aus Kapitel 3.1. Zum anderen sollte das individuelle Restrauschen bei unterschiedlichen Nutzungsflächen, als auch ausserordentliche Ereignisse, z.B. anhaltende Trockenperioden, analysiert werden.

Die interaktiv eingegebenen Variablen 1 und 2 ermöglichten es, bei der Analyse auf variierende Einflüsse einzugehen. Eine Fachperson hat somit die Möglichkeit, zu entscheiden, wie gross die Streuung der Analyse ausfallen soll. Das bedeutet im Weiteren, dass auf spezifische Ereignisse (wie z.B. Unwetter, Trockenperiode oder sonstiges Rauschen) eingegangen werden kann.

5. Resultate

Im Gesamten wurden 15'239 Nutzungsflächen im Kanton Zürich untersucht. Die, durch den Algorithmus ermittelten Nutzungsflächen mit einem potenziellen Schnitt, wurden anschliessend auf ihre Plausibilität überprüft. Die Überprüfung wurde visuell, auf den Grundlagen der phänologischen Entwicklungen von BFF und dem konzeptionellen Modell (siehe Kapitel 3.1 und Kapitel 4.1), vom Autor dieser Arbeit durchgeführt. Zusätzlich wurden stichprobenmässig Satellitenbilder konsultiert, um die Plausibilität der Klassifizierungen zu überprüfen. Die, vom Algorithmus ermittelten Nutzungsflächen mit einem potenziellen Schnittzeitpunkt, wurden als «plausibel», «nicht plausibel» oder «unklar» eingestuft. Als plausibel wurden jene Nutzungsflächen eingestuft, welche unter Berücksichtigung von V1 und V2, eine abrupte Veränderung des NDVI aufweisen. Bei der Nutzungsfläche mit der gisID 124992 in Abbildung 16, wurde beispielsweise der Schnittzeitpunkt als plausibel eingestuft. Vom 04.06.2018 zum 16.06.2018 ist ein abrupter Fall des NDVI zu erkennen, was auf einen Schnitt in diesem Zeitraum hindeuten kann. Danach steigt der NDVI bis Mitte Juli wieder kontinuierlich an. Die Beurteilung wurde immer unter der Berücksichtigung des Savitzky-Golay-Filters (rot) durchgeführt. Durch diesen können Ausreisser (wie z.B. am 25.04.2018) richtig eingeordnet werden. In diesem Beispiel wird die Einstufung zusätzlich durch den Zeitpunkt des tiefsten NDVI-Wertes bekräftigt. Im Kanton Zürich dürfen die meisten BFF nicht vor dem 15. Juni geschnitten werden (Bundesrat 2013a). Das der tiefste NDVI-Wert einen Tag (16.06.) danach ist, könnte darauf zurück zu führen sein, dass viele Landwirte in diesem Zeitraum den ersten Schnitt durchführen.

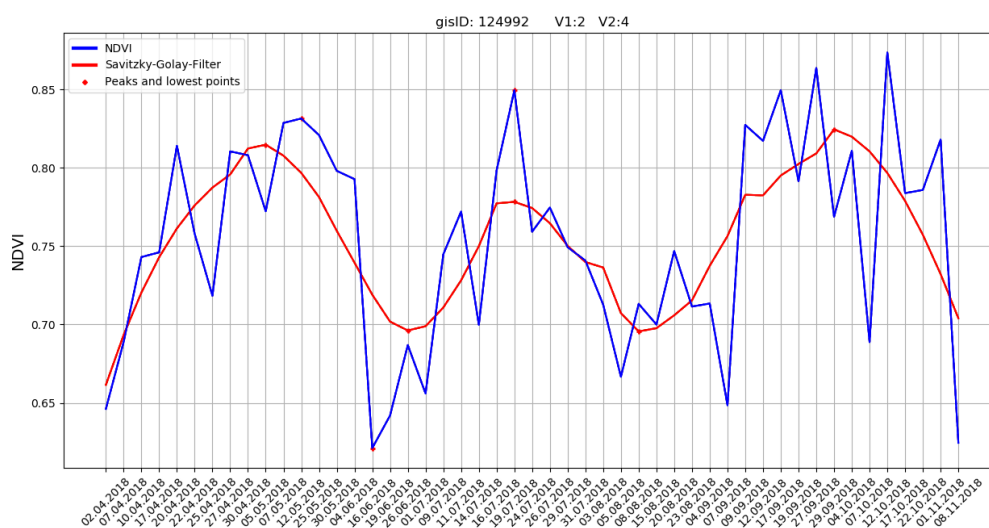


Abbildung 16: Ermittelte Nutzungsfläche mit einem als «plausibel» eingestuftem Schnittzeitpunkt

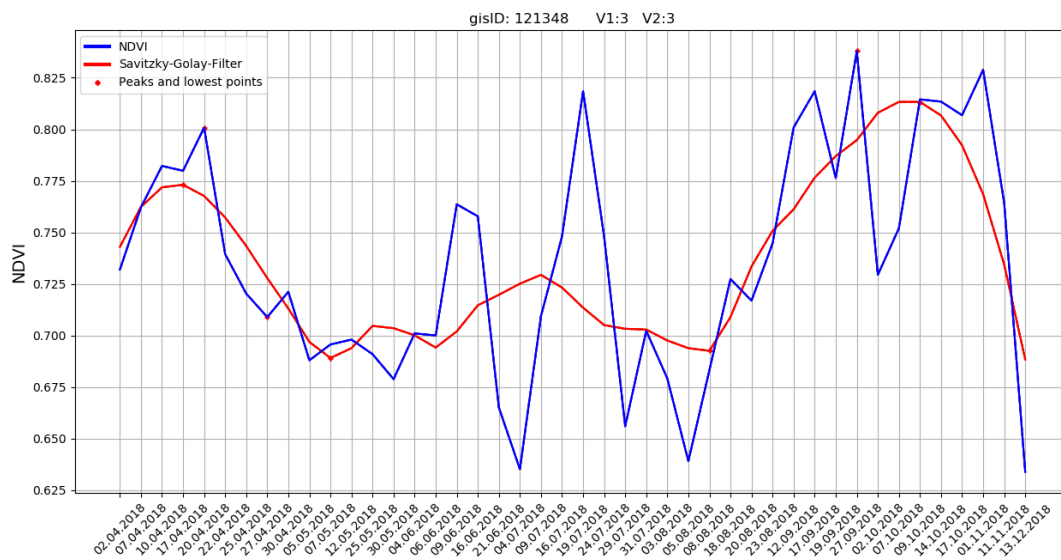


Abbildung 17: Ermittelte Nutzungsfläche mit einem als «nicht plausibel» eingestuftem Schnittzeitpunkt

Als nicht plausibel wurden Flächen eingestuft, wenn ein potenzieller Schnittzeitpunkt aufgrund von Ausreißern ermittelt wurde, oder sonstige Konstellationen eine offensichtliche Fehlbeurteilung begünstigten.

Bei Abbildung 17 wurde mit V1: 3 und V2: 3 ein falscher Schnittzeitpunkt ermittelt. Ab Ende April ist sowohl beim NDVI, als auch beim Savitzky-Golay-Filter eine kontinuierliche Reduktion des NDVI zu erkennen. Ein abrupter Wechsel von einem hohen zu einem niedrigen NDVI, mit anschliessend steigenden NDVI-Werten nach dem IN, ist nicht zu erkennen. Ein Grund, wieso diese Fläche vom Algorithmus als eine Fläche mit einem potentiellen Schnittzeitpunkt ermittelt wurde, könnten einerseits zu hohe V1 und V2 Werte sein, aber auch die anhaltende Trockenheit welche im Sommer 2018 das Wachstum der Pflanzen stark beeinträchtigte (BAFU 2019). Weitere mögliche Ursachen werden in Kapitel 6 näher diskutiert.

Als «unklar» wurden Flächen eingestuft, wenn die Daten nicht eindeutig als plausibel oder nicht plausibel eingestuft werden konnten. Wie im Beispiel in Abbildung 18 ersichtlich, kann dies durch einen Verlauf des NDVI verursacht werden, der sich durch die alleinige Interpretation der Grafik nicht einordnen lässt. Der ermittelte erste IN scheint auf den ersten Blick plausibel, jedoch ist es schwierig den anschliessenden Abfall der NDVI-Werte bis zum 26.06.2018 richtig zu interpretieren. Der Abfall könnte durch einen stufenweisen Schnitt der BFF über mehrere Tage verursacht worden sein, aber auch durch Dunst, Wolkenbedeckung u.a..

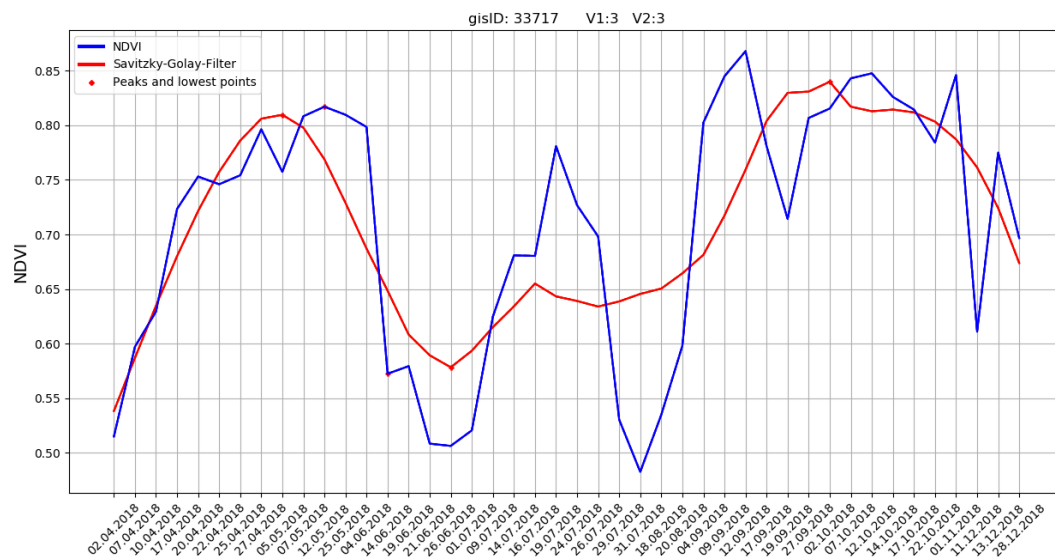
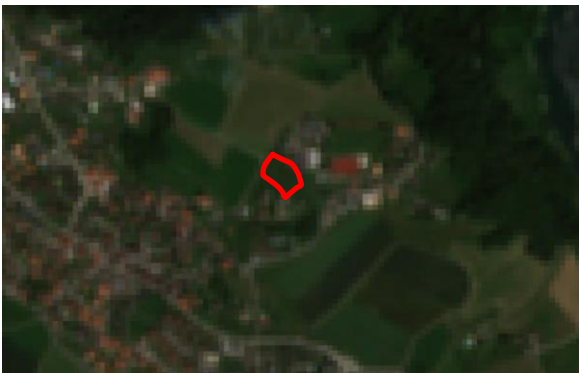


Abbildung 18: Ermittelte Nutzungsfläche mit einem als «unklar» eingestuftem Schnitzeitpunkt

Werden die Satellitenbilder von dem entsprechenden Zeitraum betrachtet, lässt sich der Verlauf des NDVI besser nachvollziehen. Wie in Tabelle 1 ersichtlich ist, wurde die erste Reduktion des NDVI-Wertes am 14.06.2018 durch eine Wolkenbedeckung verursacht, die bei der vorangegangenen Prozessierung in Phase 1 nicht eliminiert wurde. An den anschliessenden Tagen ist eine bräunliche Verfärbung der BFF zu erkennen, was darauf hindeutet, dass ein Schnitt stattgefunden hat. Die erneute Minderung des NDVI-Wertes nach dem 19.06.2018 lässt sich in diesem Fall aber nicht abschliessend erklären. Auch ob ein Pflegeschnitt bereits am oder vor dem 14.06.2018 stattgefunden hat, lässt sich anhand der Bilder nicht feststellen. Zusätzlich ist in der Zeitreihe eine starke und abrupte Minderung des NDVI am 29.07.2018 zu erkennen, um welchen weder ein peak noch ein lowest Point und somit auch kein Schnitzeitpunkt identifiziert wurde. Aus diesem Grund und bezogen auf das zuvor angeführte Beispiel, konnte eine Einordnung der Zeitreihe einzig anhand der Grafik nicht durchgeführt werden.

Tabelle 1: Die Nutzungsfläche mit der gisID: 33717 rot umrandet, im Zeitraum vom 04.06.2018 bis zum 21.06.2018

	
04.06.2018	14.06.2018
	
19.06.2018	21.06.2018

Wie bereits in Kapitel 4.3.7 beschrieben wird, ermöglicht es die interaktive Eingabe von V1 und V2, die Genauigkeit des Algorithmus zu beeinflussen. In Tabelle 2 und Tabelle 3 ist ersichtlich, welchen Einfluss unterschiedliche V1 und V2 Werte auf die Ergebnisse der Analysen haben. Es wurde mit den tiefsten V1 und V2 Werten gestartet, bei welchen Nutzungsflächen mit potenziellen Schnitzeitpunkten erkannt wurden. Der Algorithmus wurde mit stetig steigenden Variablen über die Nutzungsflächen laufen gelassen, bis die Fehlerquote (Anzahl «nicht plausibel») 60% deutlich überstieg.

Tabelle 2: Resultat Plausibilitätsprüfung (absolute Werte)

V1	V2	ausgegeben	plausibel	nicht plausibel	unklar
1	1	0			
1	2	0			
1	3	4	2	0	2
1	4	28	3	17	8
1	5	108	7	85	16
2	1	0			
2	2	6	4	1	1
2	3	35	21	6	8
2	4	136	52	37	47
2	5	465	53	343	69
3	1	6	0	4	2
3	2	37	14	10	12
3	3	126	32	53	41
3	4	402	60	281	61
4	1	23	5	15	3
5	1	54	14	34	6
6	1	84	16	60	8

Tabelle 3: Resultat Plausibilitätsprüfung (Prozent)

V1	V2	ausgegeben	plausibel	nicht plausibel	unklar
1	1	0			
1	2	0			
1	3	4	50.0%	0.0%	50.0%
1	4	28	10.7%	60.7%	28.6%
1	5	108	6.5%	78.7%	14.8%
2	1	0			
2	2	6	66.7%	16.7%	16.7%
2	3	35	60.0%	17.1%	22.9%
2	4	136	38.2%	27.2%	34.6%
2	5	465	11.4%	73.8%	14.8%
3	1	6	0.0%	66.7%	33.3%
3	2	37	37.8%	27.0%	32.4%
3	3	126	25.4%	42.1%	32.5%
3	4	402	14.9%	69.9%	15.2%
4	1	23	21.7%	65.2%	13.0%
5	1	54	25.9%	63.0%	11.1%
6	1	84	19.0%	71.4%	9.5%

Mit vier ausgegebenen Nutzungsflächen hat der Algorithmus mit V1: 1 und V2: 3 die geringste Anzahl an Nutzungsflächen mit potenziellen Pflegeschnitten identifiziert. Die ausgegebenen Nutzungsflächen mit potenziellen Pflegeschnitten steigen mit höheren Werten bei V1 und V2 kontinuierlich an. Mit V1: 2 und V2: 4 wurden mit 136 die meisten potenziellen Nutzungsflächen mit Pflegeschnitten ermittelt, bei welchen die Fehlerquote unter 60% lag. Die geringste Fehlerquote lag mit 0% bei V1: 1 und V2: 3. Mit diesen Variablen wurden jedoch lediglich vier Flächen ausgegeben. Die höchste Quote mit «plausibel», wurde mit 66.7% mit V1:2 und V2:2 erreicht. Auch hier wurde jedoch mit sechs Flächen eine geringe Anzahl identifiziert. Der Anteil von denen als «unklar» identifizierten Nutzungsflächen bewegt sich mit einer Ausnahme zwischen 9.5% und 35%.

Bei der V1/V2 Kombination von 1/1, 1/2 und 2/1, wurden keine Nutzungsflächen ausgegeben. Bei 3/1 waren es nur sechs Flächen, von welchen keine als plausibel eingestuft wurden. Abgesehen von diesen Ausnahmen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird, zeigt die Abbildung 19, dass eine Korrelation zwischen V2, der Anzahl ausgegebenen Grafiken, sowie der als plausibel und nicht plausibel eingestuften Nutzungsflächen besteht, solange V1 konstant bleibt. Ist V1 = 1, nehmen die als plausibel eingestuften Grafiken ab, je höher der Wert V2 ist. Im Gegenzug nimmt die absolute Anzahl an ausgegebenen Grafiken zu, wie auch die als nicht plausibel eingestuften Grafiken. Die Korrelation ist bei V1 = 1, wie auch bei V1 = 2 und V1 = 3 zu erkennen. Ob die Korrelation auch bei höheren V1 Werten besteht kann anhand der durchgeführten Auswertung nicht eindeutig belegt werden.

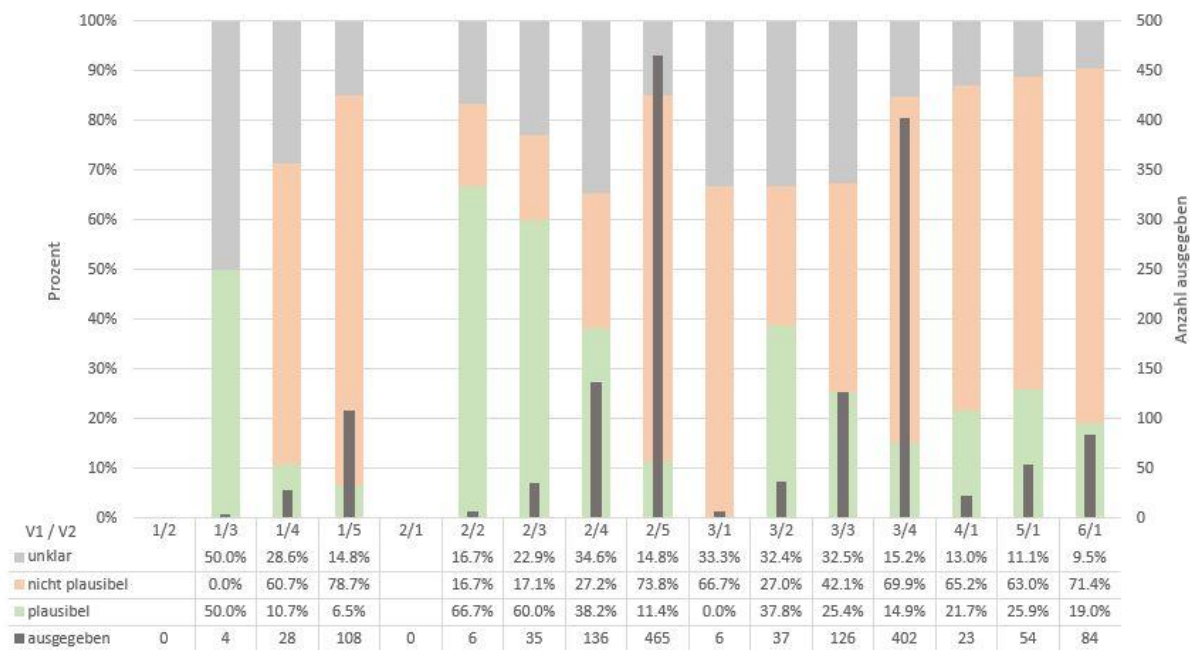


Abbildung 19: Visualisierung der Verteilung des Plausibilitätstest und der Anzahl ausgegebener Grafiken

6. Diskussion

Die Ziele der Masterarbeit konnten erreicht werden. Mit der ausgearbeiteten Methode können halbautomatisiert Auswertungen über mehrere Nutzungsflächen vorgenommen und Zeiträume erkannt werden, in welchen potenzielle Pflegeschnitte stattgefunden haben. Schwieriger zu beziffern ist, welche Genauigkeit die entwickelte Methode aufweist. Auf diesen Umstand wird noch detaillierter eingegangen.

Damit das Ziel dieser Arbeit erfüllt werden konnte, wurden die ausgearbeiteten Prozessschritte in unterschiedliche Phasen unterteilt. Dies geschah mit dem Fokus auf die Entwicklung des Algorithmus in Phase 2 (gemäss Kapitel 4.3). Phase 1 wurde in dieser Arbeit nicht automatisiert.

Die Zuverlässigkeit der Resultate in Bezug auf die, als eindeutig plausibel identifizierten Schnittzeitpunkte, wird durch mehrere Aspekte beeinflusst. Einerseits durch die gewählte Methode und deren Umsetzung, andererseits durch nicht beeinflussbare Faktoren. Gemäss einem Fachbericht von MeteoSchweiz war die landesweit gemittelte Temperatur in der Schweiz von April bis September 2018 die höchste seit Messbeginn im Jahr 1864. Zudem wurde zur selben Zeit der drittgrösste Niederschlagsarmut im Grossraum des Kantons Zürich seit Messbeginn verzeichnet (MeteoSchweiz 2018a). Der Bericht «Hitze und Trockenheit im Sommer 2018» (BAFU 2019) hält die Folgen dieses Jahres für die Umwelt fest. Es wird unter anderem beschrieben, dass die Futterproduktion in der Landwirtschaft in dieser Zeit zusammengebrochen ist. Das Wachstum der Ackerkulturen und des Graslandes wurde durch extreme Bedingungen teilweise stark beeinträchtigt oder gar verhindert. Dies hatte zur Folge, dass sich an vielen Orten die absolute Biomasse verringerte, was sich folglich in den NDVI-Werten der BFF widerspiegelte. Aus diesem Grund mussten viele Landwirte Futter für ihre Tiere zukaufen (BAFU 2019). Auch auf die vorliegende Arbeit hatte dies Auswirkungen. Gemäss DZV gibt es unterschiedliche Voraussetzungen an die BFF, wenn für diese Beiträge beantragt werden. Für die meisten BFF werden unter anderem eine Mindestzahl an Schnitte pro Jahr vorausgesetzt. Bei extensiv genutzten Wiesen mit der Qualitätsstufe I wird z.B. mindestens ein Schnitt pro Jahr verlangt, der im Talgebiet nicht vor dem 15. Juni erfolgen darf. Die Trockenheit im Jahr 2018 hatte zur Folge, dass die BFF teilweise nicht geschnitten werden konnten.

In Abbildung 20 ist eine Rebfläche mit natürlicher Artenvielfalt zu sehen, bei welcher sich die Trockenperiode im Sommer 2018 anhand der Zeitreihe deuten lässt. Nach einem kurzen Anstieg der NDVI-Werte im Frühling, sinken die Werte ab Juni kontinuierlich. Ein Vergleich mit dem Klimabulletin August 2018 von MeteoSchweiz (2018b) zeigt, dass vom 23.-25. August drei Tage aneinander Niederschlag registriert wurde. Die Vermutung liegt nahe, dass die gestiegenen NDVI-Werte nach dem 20.08.2020 auf diese Niederschlagstage zurückzuführen

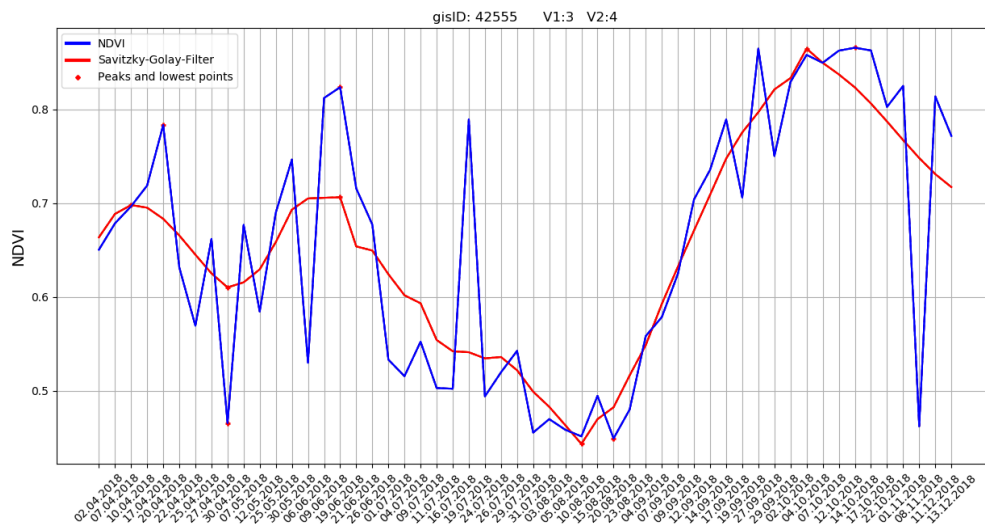


Abbildung 20: Rebfläche mit natürlicher Artenvielfalt, bei welchen der NDVI von Mitte Juni bis Anfang August kontinuierlich abnimmt

sind. Es ist anzunehmen, dass in einem durchschnittlichen Jahr ohne extreme Wetterbedingungen, mehr Schnittzeitpunkte durch den Algorithmus erfasst worden wären. Die ausserordentlichen Umstände haben jedoch dazu geführt, dass der Algorithmus einer Art Stresstest ausgesetzt wurde, da wie beschrieben die Umweltbedingungen im Jahr 2018 zur Folge hatten, dass der Verlauf des NDVI über eine Vegetationsperiode oft nicht der angenommenen Norm von BFF entsprachen. Welchen Einfluss solche Faktoren haben, kann im Rahmen dieser Arbeit nur vermutet werden. Eine Vermutung zum Sommer 2018 ist, dass, sofern Schnitte durchgeführt wurden, diese häufig nicht nach einem peak der NDVI-Werte stattfanden. Es könnte sein, dass die Werte durch die Trockenheit bedingt, bei vielen Nutzungsflächen vor dem ersten Schnitt gesunken sind. Dies aufgrund des beeinträchtigten Wasserhaushalts vieler Pflanzen und der damit verbundenen Minderung der Biomasse. Vermutlich sind in dieser Zeit viele Pflanzen bei BFF abgestorben oder verkümmert. Eine andere Vermutung schliesst darauf, dass aufgrund der Trockenheit sich die Differenzen vor und nach einem Pflegeschnitt zu wenig im NDVI niederschlugen, was wiederum Auswirkungen auf die Resultate haben könnte. Trotz diesen Bedingungen konnten Nutzungsflächen mit Pflegeschnitten identifiziert werden. Um den genauen Einfluss des Wetters im Jahr 2018 auf die Resultate einschätzen zu können, wäre es nötig, die Untersuchungen mit anderen Vegetationsperioden zu vergleichen, was im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich war.

Im Hinblick auf die angewendete Methode, beeinflussen insbesondere die Variablen V1 und V2 die Resultate. Wie in Abbildung 19 ersichtlich, unterschied sich die Anzahl hinsichtlich plausibel, nicht plausibel oder als unklar klassifizierten Grafiken, je nachdem, welche Variablen eingesetzt wurden. Wie bereits beschrieben, besteht eine Korrelation zwischen den Klassifikationen und den V2 Werten, solange V1 konstant ist. Welche Kombination der Variablen am

besten geeignet für die Erkennung von potenziellen Schnitzeitpunkten ist, ist abhängig vom Anwendungsbereich sowie diversen externen Faktoren und wird schlussendlich auch vom gewünschten Aufwand und Nutzen mitbestimmt. Hertfelder und Futterknecht (2019) beschreibt in Anlehnung an das bekannte Paretoprinzip nach Vilfredo Pareto das Verhältnis von Aufwand und Nutzen anschaulich. Demnach steht wie in Abbildung 21 ersichtlich, nach einem bestimmten Punkt (hier definiert als Punkt bei dem das Projekt mit 80% Perfektion und hoher Geschwindigkeit zustande kommt) der Aufwand in keinem Verhältnis mehr zum Nutzen. Der zusätzliche Aufwand wird demnach als verschwendete Zeit und Energie definiert, da er zu viele Ressourcen benötigt.

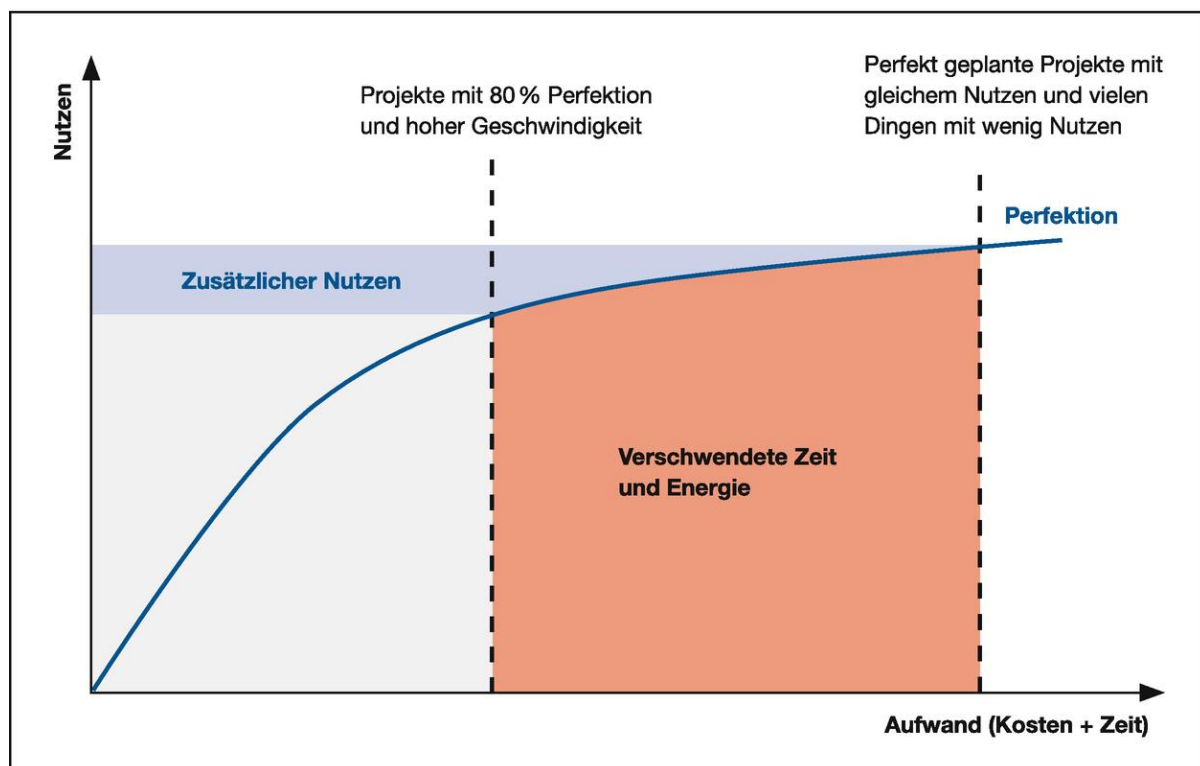


Abbildung 21: Paretoprinzip nach T. Hertfelder et. al. (2019)

Im Rahmen des ausgearbeiteten Analyseverfahrens, setzt sich der Aufwand aus der Interpretation und Klassifikation der Grafiken zusammen. Der Anwendungsbereich des Analyseverfahrens ist ausschlaggebend, wo der zusätzliche Aufwand den zusätzlichen Nutzen überschreitet. Ist das Ziel die absolute Perfektion zu erreichen, d.h. alle Nutzungsflächen mit einem Schnitt zu identifizieren, ist eine Verifikation aller 15'239 Nutzungsflächen durch eine Fachperson unumgänglich. Soll der Aufwand in einem Verhältnis zum Nutzen stehen, bis der Anteil an plausibel eingestufteten Grafiken nicht mehr substantiell zunimmt, kann anhand der Theorie von T. Hertfelder et. al. (2019) und den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit eine Empfehlung gemacht werden.



Abbildung 22: Analyse von Nutzen und Aufwand der V1/V2 Kombination

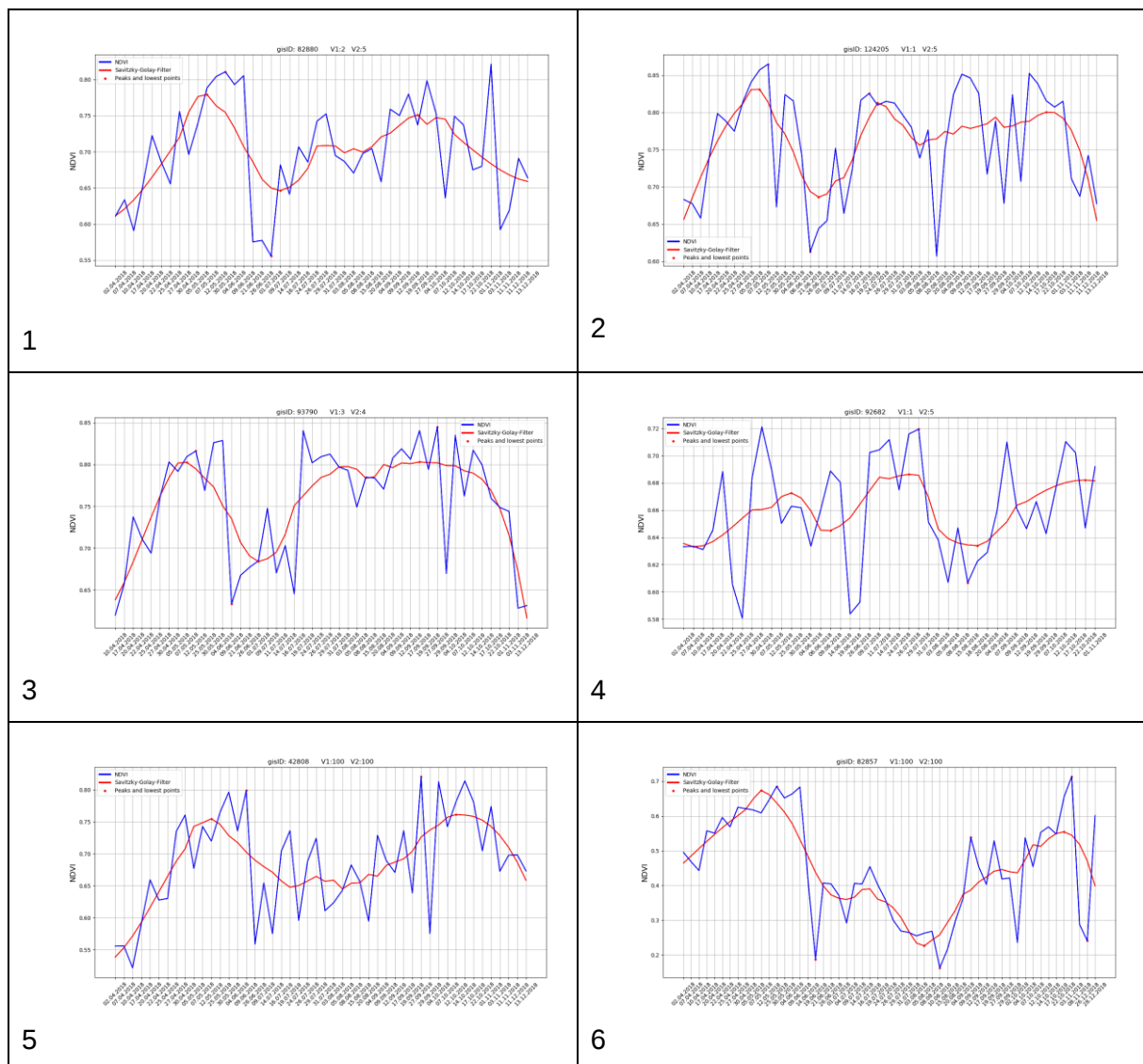
Vorgängig müssen zwei Aspekte beachtet werden. Je nach Kombination von V1 und V2 wird eine andere Anzahl an Grafiken ausgegeben (siehe Abbildung 22) die unterschiedliche Plausibilitätsraten aufweisen. Ein weiterer Aspekt ist, dass mit höheren V1 und V2 Werten sich die Menge der einzelnen Klassifikationen akkumulieren können aber nicht müssen.

Ein Beispiel ist die V1/V2 Kombination von 2/3, 2/4 und 3/3. Alle Grafiken, die mit der Kombination von 2/3 ausgegeben werden, werden auch mit der Kombination von 2/4 erkannt, da die Bedingung 2/3 auch hier gegeben ist. In diesem Fall ist die Kombination abwärtskompatibel. Ausserdem besteht nur eine bedingte Kompatibilität zwischen 2/4 und 3/3. Alle potenziellen Schnitzeitpunkte, welche die Bedingung 2/3 erfüllen sind in beiden Kombinationen vorhanden. Der Unterschied liegt in den Grafiken, welche durch 2/4 oder 3/3 zusätzlich erkannt werden und sich voneinander unterscheiden. Unter diesen Bedingungen kann eine Gruppierung mit denjenigen V1 und V2 Kombinationen durchgeführt werden, die abwärtskompatibel sind. Mit der V1/V2 Kombination von 2/5 und 3/4 wurden etwa dreimal so viele Nutzungsflächen mit potenziellen Schnitzeitpunkten ausgegeben wie mit den übrigen Kombinationen. Werden deren Ergebnisse den anderen gegenübergestellt, überschreitet bei diesen beiden der Aufwand den Nutzen (siehe Abbildung 22). Auf den Grundlagen der vorliegenden Ergebnisse wird deshalb empfohlen, das Analyseverfahren mit den V1/V2 Kombinationen 2/4, 3/3, 6/1 und 1/5 durchzuführen. Diese sind abwärtskompatibel mit denjenigen Kombinationen, welche das beschriebene Verhältnis von Aufwand und Nutzen nicht überschreiten.

Die Genauigkeit der Methode, und im Speziellen des Algorithmus, im Hinblick auf die identifi-

zierten potenziellen Schnitzeitpunkte, kann nur eingeschränkt überprüft werden. Dies liegt einerseits an den genannten ausserordentlichen Umweltbedingungen im Jahr 2018, andererseits daran, dass die ermittelten Schnitzeiträume nicht mit im Feld verifizierten Schnitzeitpunkten verglichen werden konnten. In einem Quervergleich wurden 5% (d.h. 762 BFF) der 15'239 untersuchten BFF anhand der Rohdaten klassifiziert. Dies geschah ohne Algorithmus. Die Nutzungsflächen für den Quervergleich wurden zufällig ausgewählt. Bei sechs Nutzungsflächen wurden anhand der Rohdaten potenzielle Schnitzeitpunkte identifiziert. Vier dieser sechs Nutzungsflächen wurden auch mit dem Algorithmus als Flächen mit einem potenziellen Schnitzeitpunkt identifiziert. Die potenziellen Schnitzeitpunkte von Nummer 5 und 6 in Tabelle 4, wurden nicht erkannt.

Tabelle 4: Nutzungsflächen (1-6) welche im Quervergleich mit plausiblen Schnitzeitpunkten eingestuft wurden.



Mit den Variablen 2/4, 3/3, 6/1 und 1/5, wurden mit dem Algorithmus 93 Nutzungsflächen mit potenziellen Schnittzeitpunkten erkannt. Eine Hochrechnung des Quervergleiches ergäbe 120 potenzielle Pflegeschnitte bei 15'239 BFF. Aufgrund der geringen Anzahl an erkannten potenziellen Pflegeschnitten mit dem Algorithmus sowie im Quervergleich, sollte die Gegenüberstellung der beiden Werte nicht zu stark gewichtet werden. Es lässt sich jedoch erkennen, dass sich das Resultat der angewendeten Methode in einem ähnlichen Rahmen bewegt wie beim Quervergleich, sofern nur die NDVI Zeitreihen für die Erkennung von potenziellen Schnittzeitpunkten herangezogen werden. Damit eine Aussage darüber gemacht werden kann, wie viele der stattgefundenen Pflegeschnitte bei BFF im Untersuchungsgebiet durch den Algorithmus und dem Quervergleich effektiv erfasst werden konnten, müsste die Versuchsanordnung mit Referenzflächen ergänzt werden. Bei diesen könnten die Schnittzeitpunkte vor Ort dokumentiert und mit den Ergebnissen des Algorithmus verglichen werden. Somit liesse sich auch der durchgeführte Plausibilitätstest verifizieren.

Neben der Plausibilitätsrate sollte auch die Menge der als unklar klassifizierten Nutzungsflächen nicht ausser Acht gelassen werden. Diese konnten anhand der alleinigen Klassifizierungen der Grafiken nicht eindeutig als Flächen mit einem plausiblen Schnittzeitpunkt eingestuft werden. Durch eine systematische Konsultierung der Satellitenbilder könnten bei diesen Flächen unter Umständen weitere BFF mit potenziellen Schnittzeitpunkten identifiziert werden. Gerade bei systematischen Kontrollen von Auflagen im Rahmen der DZV würden solche Kontrollen Sinn machen.

Durch die Analyse der Nutzungsflächen mit dem Algorithmus ist es möglich, potenzielle Verstöße gegen die DZV zu erkennen. Beispielsweise erkannte der Algorithmus bei der Nutzungsfläche mit der gisID: 122261 einen potenziellen Schnittzeitpunkt zwischen dem 20.04.2018 und dem 22.04.2018 (siehe Abbildung 23).

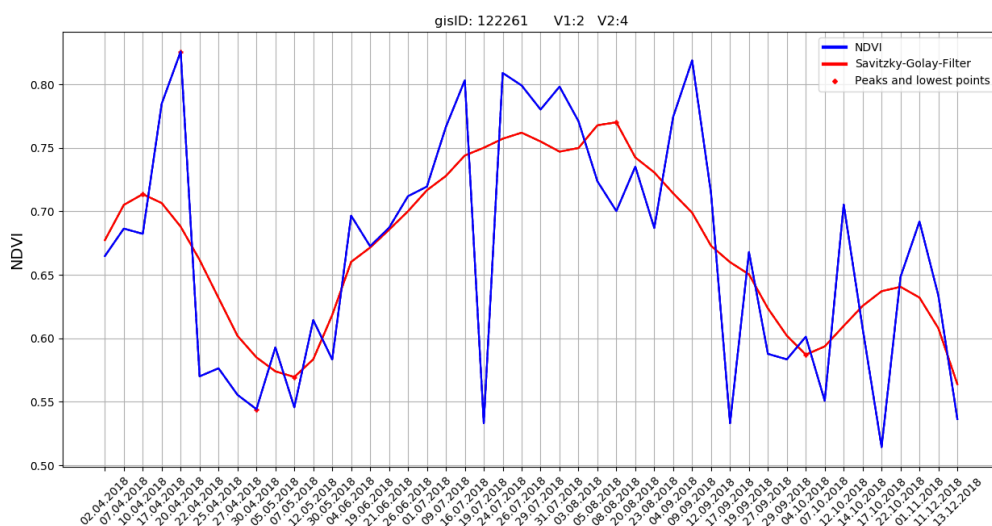


Abbildung 23: Eine extensiv genutzte Wiese, mit einem potenziell zu frühen Schnittzeitpunkt

Gemäss DZV (Bundesrat 2013a) dürfte diese als extensiv genutzte Wiese registrierte Nutzungsfläche, erst ab dem 15. Juni geschnitten werden. Auf den Sentinel 2 Bilder (siehe Tabelle 5) ist zu erkennen, dass in diesem Zeitraum der Boden auf der nördlichen Parzelle umgeackert wurde. Anhand der Bilder ergibt sich die Vermutung, dass auch ein Teil der BFF umgeackert wurde, nämlich dort wo eine deutlich braune Verfärbung zu erkennen ist. Dies hat zur Folge, dass der NDVI in diesem Zeitraum markant sinkt. Ob dies ein erlaubter Eingriff war oder ob andere Umstände zur Verringerung des NDVI-Wertes bei dieser Nutzungsfläche geführt haben, müsste in einem weiteren Schritt untersucht werden.

Tabelle 5: Die Nutzungsfläche mit der gisID: 122261 rot umrandet, im Zeitraum vom 20.04.2018 bis zum 22.04.2018



20.04.2018



22.04.2018

Einfluss auf die Genauigkeit der Resultate kann neben der beschriebenen Veränderung der Variablen V1 und V2, in Phase 1 und 2 genommen werden. Ein möglicher Ansatz in Phase 1 wäre, Satellitenbilder mit einer geringeren Wolkenbedeckung zu verwenden. Dies könnte sich jedoch negativ auf die zur Verfügung stehenden Aufnahmetage auswirken. Ein anderer Ansatz wäre, die von der ESA mitgelieferten Wolkenmasken durch eine manuelle Klassifikation zu ergänzen bzw. zu verbessern. Eine Minimierung des Restrauschens in Phase 1 hätte einen stark erhöhten manuellen Arbeitsaufwand zur Folge, wenn die Automatisierung nicht weiter ausgebaut werden würde. Auch beim Algorithmus in Phase 2 ist eine Ausweitung von Kontrollmechanismen zur Minderung des Restrauschens denkbar. Neben PeakUtils gibt es noch andere Möglichkeiten, um die peaks und die lowest Points in einer Zeitreihe identifizieren zu können. Diese könnten unter Umständen zu anderen Ergebnissen führen und unterschiedlich auf das Restrauschen reagieren. Eine Möglichkeit ist die findpeaks Funktion von MadLab. Wie in Kapitel 4.3.6 beschrieben, wurde im Algorithmus eine Mindestdistanz von zehn Intervallpunkten festgelegt, bis ein neuer peak oder lowest Point mittels PeakUtils identifiziert werden soll. Dies geschah unter der Annahme, dass zwischen zwei Schnitzeitpunkten eine gewisse Zeit vergehen muss, bis die Vegetation nachgewachsen ist. Im Jahr 2018 standen in regelmäßigen Abständen nutzbare Satellitenbilder zur Verfügung, weshalb sich die gewählte Intervalldistanz als praktikabel erwies. Je nachdem, wie viele Bilder über ein Jahr zur Verfügung stehen, sollte die Intervalldistanz überdacht werden. Ansonsten könnten wichtige Wechsel der NDVI Zeitreihen verloren gehen. Welchen Einfluss die verwendeten Indizes zur Identifikation der peaks bzw. den lowest Points auf die Resultate haben, müssten weitere Untersuchungen zeigen.

Das Gleiche gilt für den Savitzky-Golay-Filter. Chen et al. (2004) entwickelten aufbauend auf diesem eine Methode, welche das Restrauschen noch besser berücksichtigen soll, während Hird et al. (2009) auch Vor- und Nachteile andere Optionen aufzeigten.

Wird die Methode dieser Arbeit mit anderen Methoden verglichen, wird deutlich, dass die vorliegende Arbeit Alleinstellungsmerkmale aufweist. Im Bereich der Fernerkundung in der Landwirtschaft fokussieren sich viele Studien entweder auf die Zeitreihenanalyse über mehrere Jahre oder mit der Erkennung von verschiedenen Ackerkulturen. Verbesselt et al. (2010) identifizierten beispielsweise abrupte phänologische Veränderungen mittels Breaks For Additive Seasonal and Trend (BFAST). Auch Kanjir et al. (2018) entwickelte basierend auf BFAST eine Methode, um unerlaubte Umnutzungen von Dauergrünland in Slowenien nachzuweisen. BFAST vergleicht die Phänologie unter Berücksichtigung einer Zeitreihe von mehreren Jahren. D.h. unter Berücksichtigung des phänologischen Verlaufs der NDVI Zeitreihen aus den Jahren zuvor und/oder den Jahren danach wird darauf geschlossen, ob eine abrupte vegetative Veränderung stattgefunden hat. Diese Methode eignet sich insbesondere für Langzeituntersu-

chungen von Lebensräumen. Sie wird beispielsweise angewandt, um Waldbrände identifizieren zu können oder um zu erkennen, ob eine immergrüne Kultur umgenutzt wurde. Anhand der zugänglichen Literatur wird vermutet, dass BFAST sich aber nicht für die Identifikation von abrupten phänologischen Veränderungen, bei welchen keine Referenzjahre miteinbezogen werden können, eignet. Bei den Schnittzeitpunkten handelt es sich um Eingriffe, die stark witterungsabhängig sind und sich daher von Jahr zu Jahr markant unterscheiden können. In diesem Fall würde es keinen Sinn machen, Referenzjahre der gleichen Nutzungsfläche in die Analyse miteinzubeziehen. Würden mehrere Referenzflächen im entsprechenden Untersuchungsgebiet ausgeschieden, bei denen der genaue Schnittzeitpunkt bekannt ist und der phänologische Verlauf mit den untersuchten Nutzungsflächen korreliert, wäre unter Umständen eine Anwendung von BFAST denkbar. In diesem Fall könnten die Referenzflächen, wie die Referenzjahre in den beiden genannten Studien, miteinbezogen werden.

Bellón et al. (2017) entwickelte eine Methode, die auf dem NDVI basierend, grossflächig verschiedene Anbausysteme in Brasilien klassifizieren soll. Die unterschiedlichen Flächen werden dabei mit vorgängig erstellten NDVI-Zeitprofilen abgeglichen (siehe Abbildung 24).

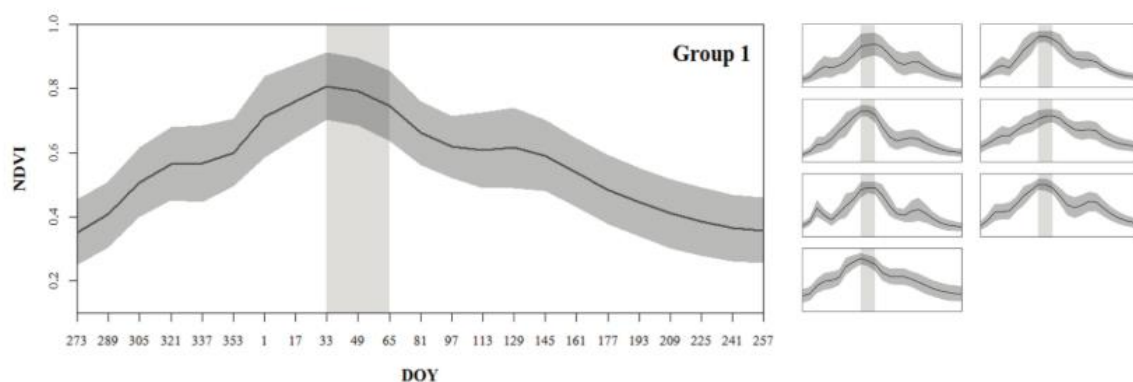


Abbildung 24: Die Abbildungen zeigen den Mittelwert (durchgezogene schwarze Kurve) und die Standardabweichung (schattierte dunkelgraue Kurve) der NDVI-Pixelwerte innerhalb der jährlichen Landwirtschaftsklasse TerraClass für jede Landeinheit mit dem Tag des Jahres (DOY). Links ist ein repräsentatives Landeinheitenprofil für jede der drei erstellten phänologischen Mustergruppen detailliert dargestellt, und rechts sind die Profile der anderen Landeinheiten dargestellt, die zu einer Gruppe gehören. Die Spitzenwerte werden durch hellgraue vertikale Streifen dargestellt und sind zwischen den Darstellungen jeder Gruppe konsistent (Bellón et al. 2017).

Je nachdem wie gross die Abweichungen der effektiven NDVI Zeitreihen zu diesen Zeitprofilen ist, können diese einer bestimmten Ackerkultur zugewiesen werden. Unter der Annahme des in Kapitel 3.1 skizzierten phänologischen Verlaufs von BFF liegt der Verdacht nahe, dass diese Methode auch für die vorliegende Arbeit in Betracht gezogen werden hätte können. Ein wichtiger Unterschied zwischen dem Ziel dieser Arbeit und der Studie in Brasilien liegt im Anwendungsbereich der Zeitreihenanalyse. Um eine Klassifikation durchführen zu können, wurden von Bellón et al. (2017) konstante phänologische Merkmale für die Zeitprofile identifiziert. Dies ist mit der durchgeführten Analyse der Studie von Soja-, Mais- und Reiskulturen möglich.

Diese weisen konstante phänologische Verläufe auf, die mit von Kulturen abhängigen Erntezeitpunkten zusammenhängen, die im Normalfall einmal pro Jahr stattfinden. Wie soeben beschrieben und in Kapitel 4.1 erwähnt, können sich die Schnittzeitpunkte je nach BFF und Jahr stark unterscheiden. Die Erstellung eines Muster-Zeitprofiles für BFF wäre aus diesem Grund sehr schwierig. Zudem ist es für die vorliegende Arbeit von Interesse, den Zeitraum des Schnittes möglichst genau zu identifizieren, um z.B. verschiedene Abweichungen zur DZV identifizieren zu können. Die alleinige Erkennung einer Abweichung zu einem erstellten Zeitprofil wäre aus diesem Grund nicht zielführend. Ausnahmen würden BFF bilden, die, an strikte Vorgaben betreffend Anzahl der Pflegeschnitte und genauen Schnittzeitpunkten gebunden sind und die sich in einem eindeutigen Zeitprofil abbilden lassen. Ob die Methode in einem solchen Rahmen umgesetzt werden kann, sollte Bestandteil nachfolgender Untersuchungen sein.

7. Fazit

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde eine Möglichkeit aufgezeigt, wie mit Open Source Software und Open Data, Zeitreihenaufnahmen der Sentinel 2 Satelliten halbautomatisiert ausgewertet werden können, um potenzielle Schnittzeiträume bei BFF zu erkennen.

Der Algorithmus wurde nicht darauf ausgelegt, verschiedene Nutzungsarten untereinander vergleichen zu können, sondern konzentriert sich auf die Erkennung von generellen Schnittzeitpunkte bei BFF. Im Nachhinein kann dies als möglicher Schwachpunkt des entwickelten Algorithmus angesehen werden. Zudem wäre es interessant zu untersuchen, ob sich die Genauigkeit der Methode je nach Nutzungsart unterscheidet.

Die heute zur Verfügung stehenden Satellitenbilder bieten viele Möglichkeiten in der Fernerkundung und der Analyse von Vegetationen. Eine relativ geringe Auflösung von 10 m und die Herausforderungen mit dem beschriebenen Rauschen, haben aber auch gewisse Grenzen derer Anwendungsmöglichkeiten zur Folge. Aus diesem Grund ist es mit den aktuell zur Verfügung stehenden Mitteln unabdingbar, dass eine Fachperson die ermittelten Schnittzeitpunkte beurteilt und eine Klassifizierung vornimmt.

Weiterführend wäre es sinnvoll, die angewendete Methode, sowie die Resultate durch Kontrollflächen im Feld und mit anderen Vegetationsperioden zu vergleichen. Somit könnte die Genauigkeit der Methode genauer beziffert werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wäre ein anschliessender Ausbau, sowie die Weiterentwicklung der Methode denkbar.

8. Literaturverzeichnis

- A. Gatti, A. Bertolini (2015), 'Sentinel-2 Products Specification Document', 1-496.
- Asrar, Ghassem (1989), 'Theory and Applications of Optical Remote Sensing', 734.
- BAFU (2019), 'Hitze und Trockenheit im Sommer 2018. Auswirkungen auf Mensch und Umwelt', in Bern Bundesamt für Umwelt (ed.), (Umwelt-Zustand, 1909), 91.
- Bellón, Beatriz, et al. (2017), 'A Remote Sensing Approach for Regional-Scale Mapping of Agricultural Land-Use Systems Based on NDVI Time Series', *Remote Sensing*, 9 (6).
- Bundesamt für Landwirtschaft 'Direktzahlungen', <<https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen.html>>, accessed 16.03.2020.
- Bundesrat 'Verordnung über die Direktzahlung an die Landwirtschaft', <<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20130216/index.html>>, accessed 16.03.2020.
- 'Verordnung über die Koordination der Kontrollen auf Landwirtschaftsbetrieben', <<https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20130217/index.html>>, accessed 16.03.2020.
- Caillet-Bois, David , et al. (2019), 'Biodiversitätsförderung auf dem Landwirtschaftsbetrieb - Wegleitung', 6.
- Cao, Ruyin, et al. (2018), 'A simple method to improve the quality of NDVI time-series data by integrating spatiotemporal information with the Savitzky-Golay filter', *Remote Sensing of Environment*, 217, 244-57.
- Chen, Jin, et al. (2004), 'A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky-Golay filter', *Remote Sensing of Environment*, 91 (3), 332-44.
- Clevers, J. G. P. W. and Gitelson, A. A. (2013), 'Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and -3', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 344-51.
- ESA (2015), 'Sentinel-2 User Handbook', 1-64.
- Hird, Jennifer N. and McDermid, Gregory J. (2009), 'Noise reduction of NDVI time series: An empirical comparison of selected techniques', *Remote Sensing of Environment*, 113 (1), 248-58.
- Jakubauskas, Mark E., Legates, David R., and Kastens, Jude H. (2002), 'Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data', *Computers and Electronics in Agriculture*, 37 (1), 127-39.
- Jamali, Sadegh, et al. (2015), 'Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation', *Remote Sensing of Environment*, 156, 182-95.
- Kanjir, Ursa, Đurić, Nataša, and Veljanovski, Tatjana (2018), 'Sentinel-2 Based Temporal Detection of Agricultural Land Use Anomalies in Support of Common Agricultural Policy Monitoring', *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7, 405.
- Kennedy, Robert E, et al. (2014), 'Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing', *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12 (6), 339-46.
- Lillesand, Thomas, et al. (2015), *Remote Sensing and Image Interpretation* (7. A.: Wiley).
- MeteoSchweiz (2018a), 'Hitze und Trockenheit im Sommerhalbjahr 2018 - eine klimatologische Übersicht', *Fachbericht MeteoSchweiz*.
- (2018b), 'Klimabulletin August 2018. Zürich.'
- n.a. <<https://www.mapir.camera/products/mapir-camera-ndvi-blue-nir>>, accessed 21.02.2020.

- Negri, Lucas Hermann 'PeakUtils', <<https://peakutils.readthedocs.io/en/latest/>>, accessed 21.02.2020.
- Ose, K. and Cresson, R. (2019), 'Clear-Cuts Detection Services for The Monitoring Needs of the French Ministry of Agriculture', *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4284-87.
- Savitzky, Abraham and Golay, Marcel J. E. (1964), *Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures*, 8 vols. (36; Analytical Chemistry).
- T. Hertfelder, P. Futterknecht (2019), *Scheitern vorprogrammiert* (Der ERP-Irrglaube im Mittelstand; Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg).
- Verbesselt, Jan, et al. (2010), 'Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series', *Remote Sensing of Environment*, 114 (12), 2970-80.