



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Master-Arbeit

Master-Studiengang in Umweltnaturwissenschaften

Grünflächenveränderungen in Siedlungsgebieten der Schweiz: Mit Fernerkundungsdaten zum Vergleich der Grünflächenveränderungen auf Gemeindeebene

Silvana Felber (14-937-098)

Referent:

Prof. Dr. Felix Kienast

Eidg. Forschungsanstalt für Wald,
Schnee und Landschaft (WSL),
Landnutzungssysteme

Koreferent:

Christian Ginzler

Eidg. Forschungsanstalt für Wald,
Schnee und Landschaft (WSL),
Fernerkundung

Enthält ergänzende Teile zur Masterarbeit von Corina Wittenwiler (2020).

23. März 2020

Zusammenfassung

Die Grünflächen in den Siedlungsgebieten der Schweiz stehen durch die Siedlungsentwicklung nach innen und die Verdichtung unter zunehmendem Druck. Deshalb ist es wichtig, die Entwicklung der Grünflächen zu verfolgen. Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, wie sich die Grünflächen in den Siedlungsgebieten der Schweizer Gemeinden in den letzten 35 Jahren entwickelt haben. Basierend auf Satellitendaten von Landsat wurde der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bestimmt und damit die Zu- und Abnahme der Grünfläche und der Grünheit der Vegetation im Siedlungsgebiet jeder Gemeinde berechnet. Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse zur Grünflächenveränderung sollten auch den Behörden in den Gemeinden einen Nutzen bringen. Deshalb zielte diese Arbeit ebenfalls darauf ab, ein Instrument für die Gemeinden zu entwickeln, womit sie die Grünflächenveränderung selbst und ohne hohe Kosten berechnen können.

Die berechnete Grünflächenveränderung in der gesamten Schweiz wurde auf verschiedene Weisen bewertet und verglichen. Zuerst wurden die Mittelwerte der Veränderung über verschiedene Zeiträume für die gesamte Schweiz verglichen, dann Ranglisten der Gemeinden mit besonders positiver oder negativer Entwicklung erstellt. Weiter wurden die Unterschiede zwischen Gemeindegruppen analysiert, aufgeteilt nach der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» oder den Kantonen. Abschliessend wurde noch ein Vergleich mit verschiedenen Satellitendaten durchgeführt. Der Vergleich der Ergebnisse mit Landsat- und Sentinel-Daten sollte zeigen, ob sich die entwickelte Methode für zukünftige Analysen auch auf die höher aufgelösten Sentinel-Daten übertragen lässt.

Der erwartete Unterschied von städtischen zu ländlichen Gemeinden liess sich in den Vergleichen nicht bestätigen. Dafür zeigte die Grünflächenveränderung kantonale Unterschiede. Besonders positiv fiel der Kanton Tessin bzw. einzelne Gemeinden davon auf. Dort überwiegt die Grünflächenzunahme. Was der Hauptgrund für die kantonalen Unterschiede ist und wieso die Entwicklung im Tessin besonders positiv war, liess sich jedoch nicht abschliessend klären.

Mit dem NDVI-Tool gelang es ein Instrument zu entwickeln, das von einer Gemeinde in der Praxis angewendet werden könnte. Die Bedienung des Tools braucht zurzeit mehr Arbeitsschritte als ursprünglich erwartet, weshalb für den tatsächlichen Einsatz noch einige Anpassungen nötig wären. Ebenfalls weitere Anpassungen wären beim Übertragen der Methode auf Sentinel-Daten nötig. Der Vergleich führte zum Ergebnis, dass sich die Daten auf die hier angewendete Weise noch zu wenig kombinieren lassen, da die Abweichungen der NDVI-Resultate basierend auf Landsat- oder Sentinel-Daten noch zu gross ausfallen.

Inhalt

Zusammenfassung.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungen.....	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung ins Thema.....	1
1.2 Übersicht quantitative und qualitative Untersuchung der Grünflächen.....	1
1.3 Ziel und Fragestellung der Arbeit.....	3
2 Stand des Wissens.....	4
2.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).....	4
2.2 Satellitendaten.....	5
2.2.1 Landsat.....	5
2.2.2 Sentinel.....	5
2.2.3 Vergleich der Grundlagen von Landsat und Sentinel.....	6
2.3 Quantitative Veränderung von Grünflächen.....	6
2.4 Qualität von Grünflächen.....	7
2.5 Typologie «Raum mit städtischem Charakter».....	7
2.6 Instrumente zur Ermittlung der Grünflächen und deren Veränderung.....	7
3 Material und Methoden.....	9
3.1 Datengrundlage.....	9
3.2 Siedlungsfläche.....	9
3.2.1 Definition der Siedlungsfläche.....	9
3.2.2 Verifizierung mit der Arealstatistik.....	10
3.3 Wahl der Zeitpunkte für die Zeitserien mit Fernerkundungsdaten.....	11
3.4 Auswahl der Satellitendaten.....	11
3.4.1 Zeiträume der Satellitendaten.....	11
3.4.2 Landsat oder Sentinel?.....	12
3.5 Berechnung des NDVI pro Zeitpunkt.....	12
3.6 Grünflächenveränderung.....	13
3.6.1 Berechnung der Grünflächenveränderung.....	13
3.6.2 NDVI-Tool.....	14
4 Resultate.....	16
4.1 Verifizierung der Siedlungsfläche.....	16
4.2 Veränderung in der ganzen Schweiz.....	16
4.2.1 Zeitliche Veränderung.....	16

4.2.2	Vergleich der Gemeindemittelwerte in den Vergleichsgruppen	18
4.2.3	Rangierung der Kantone und Gemeinden.....	20
4.3	Veränderungen auf Gemeindeebene.....	26
4.3.1	NDVI-Tool für eine Gemeinde	26
4.3.2	Veränderung einer Gemeinde im Vergleich zur gesamten Schweiz	28
4.4	Vergleich des NDVIs mit Landsat und Sentinel	30
5	Diskussion.....	32
5.1	Methoden.....	32
5.2	Resultate.....	33
5.2.1	Siedlungsfläche.....	33
5.2.2	Zeitliche Veränderung	34
5.2.3	Vergleich der Gemeindemittelwerte in den Vergleichsgruppen	34
5.2.4	Ranglisten	35
5.2.5	Veränderungen auf Gemeindeebene.....	35
5.2.6	NDVI-Vergleich von Landsat und Sentinel.....	36
6	Synthese	38
6.1	Veränderung Grünflächen Schweiz	38
6.2	NDVI Tool.....	39
7	Schlussfolgerung.....	41
	Danksagung	42
	Literaturverzeichnis.....	43
	Anhang	45
A.	Skripts aus Google Earth Engine.....	45
B.	ArcGIS Modelle.....	50
C.	R-Code aus RStudio	61
	Eigenständigkeitserklärung	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diese Darstellung zeigt die einzelnen Schritte der sich ergänzenden Masterarbeiten von Felber und Wittenwiler zu den Grünflächenveränderungen in Siedlungsgebieten von Schweizer Gemeinden.....	2
Abbildung 2: Theoretische Reflektion der Vegetation im Bereich der sichtbaren und nahen infraroten Strahlung (Pettorelli, 2013).....	4
Abbildung 3: Grünflächenanteil in acht Schweizer Städten (BFS, 2019a).....	8
Abbildung 4: Berechnung der Siedlungsfläche. a. Gebäudegrundrisse b. Gebäude mit max. 100m Abstand aggregiert, Flächen mit min. 1ha ausgewählt c. 30m Puffer um berechnete Fläche gelegt d. Lücken <15ha innerhalb der Fläche geschlossen	10
Abbildung 5: Zeitstrahl mit den gewählten Zeitpunkten	11
Abbildung 6: Schweizweite Mittelwerte der gewichteten relativen Grünflächenabnahme und -zunahme für verschiedene Zeitabschnitte. Die unterschiedlichen Symbole stellen unterschiedliche Zeitspannen dar (Quadrate = 11 Jahre, Kreise = 22 Jahre, Dreieck = 33 Jahre). Die Kreise verdeutlichen die Gruppen, die sich aus den gleich langen Zeitspannen ergaben. Die Achsen haben keine Einheiten, da es sich um gewichtete und aufsummierte Flächenanteile (wie in Kapitel 3.6.1 beschrieben) handelt.....	17
Abbildung 7: Boxplots zum Vergleich der Grünflächenveränderung in den Schweizer Kantonen. Die Verteilung zeigt die Gemeindemittelwerte nach Kanton gruppiert und der Querbalken stellt den Median für den Kanton dar. Der Gemeindemittelwert berechnet sich aus den kategorisierten Veränderungen des NDVIs und ist deshalb einheitslos. a. Veränderung für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19. b. Veränderung für den Zeitraum von 1985/86 bis 2018/19.....	19
Abbildung 8: Boxplots zum Vergleich der Grünflächenveränderung (Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19) in den Gemeindegruppen nach der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» (Tabelle 5). Der Gemeindemittelwert ist einheitslos, da die kategorisierten Veränderungswerte des NDVIs gemittelt wurden.	20
Abbildung 9: Einteilung der Gemeinden in drei Gruppen mithilfe der Abnahme und Zunahme aller Gemeinden im Vergleich zum Schweizer Mittelwert und die Distanz zum Mittelwert am Beispiel der Gemeinden für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19. Die Werte der Achsen sind einheitslos, weil es sich dabei um die Summe der gewichteten Flächenanteile (Kapitel 3.6.1) handelt.	21
Abbildung 10: Zunahme und Abnahme der Grünflächen in den Siedlungsgebieten aller Gemeinden von 2007/08 bis 2018/19. Gemeinden mit gleich grosser Abnahme und Zunahme befinden sich auf der grauen, diagonalen Linie. Der blaue Punkt stellt den Mittelwert aller Schweizer Gemeinden dar. Die orangen Punkte entsprechen den Kernstädten aus Tabelle 8.	24
Abbildung 11: Zunahme und Abnahme der Grünflächen in den Siedlungsgebieten aller Gemeinden von 2007/08 bis 2018/19. Gemeinden mit gleich grosser Abnahme und Zunahme befinden sich auf der grauen, diagonalen Linie. Der blaue Punkt stellt den Mittelwert aller Schweizer Gemeinden dar. Die orangen Punkte entsprechen den Kernstädten aus Tabelle 9.	25
Abbildung 12: Ist-Zustand der grünen Vegetation von Juni bis August 2019 in der Gemeinde Wil (SG) gemessen am NDVI. Diese Karte ist ein Resultat aus den Berechnungen mit dem NDVI-Tool. Dunkelblauer Kreis links: Grünfläche um Psychiatrie. Dunkelblauer Kreis rechts: Stadtpark Weiherwiese.	27
Abbildung 13: Veränderung der Grünflächen in der Gemeinde Wil (SG) von 2007/08 bis 2018/19 berechnet mit dem NDVI-Tool. Der rote Kreis zeigt das Beispiel einer Abnahme, die sich durch den Bau von neuen Häusern in diesem Zeitraum ergab. Im blauen Kreis ist eine Zunahme der Grünfläche aufgrund eines abgeschlossenen Bauprojekts erkennbar.....	28
Abbildung 14: Vergleich der Grünflächenveränderung in der Gemeinde Hochdorf (roter Punkt) verglichen mit allen anderen Schweizer Gemeinden für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19.	29
Abbildung 15: Histogramm der Mittelwerte der gesamten Grünflächenveränderung aller Schweizer Gemeinden. Der rote Punkt zeigt den Mittelwert der Gemeinde Hochdorf an.	30
Abbildung 16: Kartenausschnitt der berechneten Differenz der NDVI Daten von Landsat und Sentinel mit einer Auflösung von je 30m. Auf der linken Seite ist die Reuss als eine orangerote Schlangenlinie zu erkennen. Rechts befindet sich der Zürichsee (orangerote Fläche) und die Stadt Zürich am nördlichen Seeufer.	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Grundlagen von Landsat und Sentinel-2 (ESA, 2015).....	6
Tabelle 2: Verwendete Daten mit Quelle und Stand der Daten	9
Tabelle 3: Kategorisierung der NDVI-Daten für die Ist-Zustandskarten.....	13
Tabelle 4: Kategorisierung der NDVI-Differenzen für die Grünflächenveränderung	13
Tabelle 5: Kategorien der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» und ihre entsprechenden Codes (BFS, 2019b).	20
Tabelle 6: Rangliste der Kantone mit positiver Entwicklung der Grünflächen im Zeitraum 2007/08 bis 2018/19. Die ausgewählten Kantone haben bezogen auf das schweizerische Mittel eine kleinere mittlere Grünflächenabnahme und eine grössere mittlere Grünflächenzunahme. Die Distanz zum Schweizer Mittelwert ist in der Abbildung 9 erklärt.....	22
Tabelle 7: Rangliste der Kantone mit negativer Entwicklung der Grünflächen im Zeitraum 2007/08 bis 2018/19. Die ausgewählten Kantone haben bezogen auf das schweizerische Mittel eine grössere mittlere Grünflächenabnahme und eine kleinere mittlere Grünflächenzunahme. Die Distanz zum Schweizer Mittelwert ist in der Abbildung 9 erklärt.....	22
Tabelle 8: Rangliste der Gemeinden aus der Kategorie «Agglomerationskerngemeinde (Kernstadt)» mit kleinerer Grünflächenabnahme und grösserer Grünflächenzunahme als der gesamtschweizerische Mittelwert für den Zeitraum 2007/08 bis 2018/19.....	24
Tabelle 9: Rangliste der Gemeinden aus der Kategorie «Agglomerationskerngemeinde (Kernstadt)» mit grösserer Grünflächenabnahme und kleinerer Grünflächenzunahme als der gesamtschweizerische Mittelwert für den Zeitraum 2007/08 bis 2018/19.....	26
Tabelle 10: Rangliste der Gemeinden Wettingen, Wil, Uster und Hochdorf im Zeitraum 2007/08 bis 2018/19.	38

Abkürzungen

BFS	Bundesamt für Statistik
EBL	Einwohner, Beschäftigte und Äquivalente für Logiernächte
EEA	European Environment Agency
ESA	Europäische Weltraumorganisation
GEE	Google Earth Engine
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
USGS	U.S. Geological Survey

1 Einleitung

1.1 Einführung ins Thema¹

Die Schweizer Landesfläche ist durch die landwirtschaftlichen und die bestockten Flächen zu einem grossen Teil mit grüner Vegetation bedeckt. Das Siedlungsgebiet beansprucht im Vergleich einen kleinen Anteil. Im Jahr 2009 betrug die Siedlungsfläche der Schweiz 7.5% der Gesamtfläche. Doch auch im Siedlungsgebiet gibt es Grünflächen (Bundesamt für Statistik BFS, 2015). Diese Grünflächen sind wichtige Freiräume, welche vielfältige Funktionen erfüllen. Neben der Erholungsfunktion bieten Grünflächen vielseitige ökologische Funktionen, wie beispielsweise Temperaturregulation oder Verbesserung der Biodiversität (Obrist et al., 2012). Von diesen Ökosystemleistungen profitieren wir Menschen. Deshalb muss gewährleistet sein, dass es qualitativ hochwertige Frei- und Grünflächen in Siedlungen gibt. Mit der Revision des Schweizer Raumplanungsgesetzes im Jahr 2014 setzte der Schweizerische Bund ein Zeichen gegen die Zersiedelung und in Richtung Siedlungsentwicklung nach innen. Die geforderte Innenentwicklung birgt Herausforderungen für Freiräume innerhalb der Siedlung. Die innerörtlichen Frei- und Grünflächen stehen im Fokus der Verdichtungsmassnahmen, da diese einfacher und schneller überbaut werden können als bebaute Gebiete (Kröger et al., 2016). Da die Grünsysteme in den Städten teilweise zu wenig wertgeschätzt werden, wird in ihnen häufig ein Stadtentwicklungspotenzial gesehen (Otaru, 2015). Die Grünflächen geraten durch diese Siedlungsentwicklung vermehrt unter Druck und gehen dadurch zurück (Obrist et al., 2012; Otaru, 2015). In der Baukultur ist zu beachten, dass die Entwicklung nicht darauf hinausläuft, dass die letzten Freiflächen in den Siedlungen aufgefüllt werden. Ansonsten führt das in Zukunft zu mangelnden und mangelhaften Frei- und Grünflächen (Howald, 2016). Ungefähr drei Viertel der Schweizer Bevölkerung lebt in städtischen Räumen. Die Naturbegegnungen im Alltag dieser Menschen geschieht meist mit städtischem Grün. Durch diese Frei- und Grünflächen wird ihre Vorstellung über die Natur geprägt. Die Planung dieser Grün- und Freiflächen ist deshalb entscheidend (Obrist et al., 2012). Im Raumplanungsgesetz des Bundes ist geschrieben, dass in Siedlungen viele Bäume und Grünflächen enthalten sein sollen (Art. 3 Abs. 3e RPG). Die Kantone und Gemeinden sind dafür verantwortlich, diese verbindlichen Forderungen mit gezielten Massnahmen umzusetzen (Bundesrat, 2017). Somit spielen Kantone und Gemeinden für die Grünflächenveränderung eine entscheidende Rolle. In dieser Arbeit wird auf die Gemeindeebene fokussiert, da auf dieser Ebene die Umsetzung der räumlichen Entwicklung stattfindet (Kaiser et al., 2016). Durch die beiden Masterarbeiten wird ein gesamtheitlicher Überblick über die Grünflächenveränderungen in den Gemeinden gewonnen. Die eine Arbeit konzentriert sich mit einem vertieften Blick auf einzelne Gemeinden (Wittenwiler, 2020). Diese Arbeit befasst sich mit einem quantitativen Blick auf die flächenmässige Veränderung. Mit Satellitendaten werden die Veränderungen der grünen Vegetation aus der Ferne gemessen und schweizweit verglichen.

1.2 Übersicht quantitative und qualitative Untersuchung der Grünflächen²

Die beiden Masterarbeiten von Felber und Wittenwiler ergeben zusammen eine gesamtheitliche Untersuchung über die Grünflächenveränderungen in Schweizer Siedlungsgebieten (Abbildung 1). Im Teil von Felber werden die Grünflächen mithilfe von Fernerkundungsdaten quantitativ analysiert und interpretiert. Im ergänzenden Teil von Wittenwiler (2020) wird in einer qualitativen Einzelfallstudie auf spezifische Gemeinden eingegangen und deren Grünflächen untersucht.

¹ Die Ausgangslage für beiden Arbeiten ist dieselbe. Deshalb sind Teile der Einleitungen von dieser Arbeit und von Wittenwiler (2020) identisch.

² Da sich die beiden Arbeiten gegenseitig ergänzen, ist dieses Übersichts-kapitel in beiden Arbeiten identisch vorhanden, um die Zusammenhänge beider Arbeiten zu zeigen (vgl. Wittenwiler, 2020).

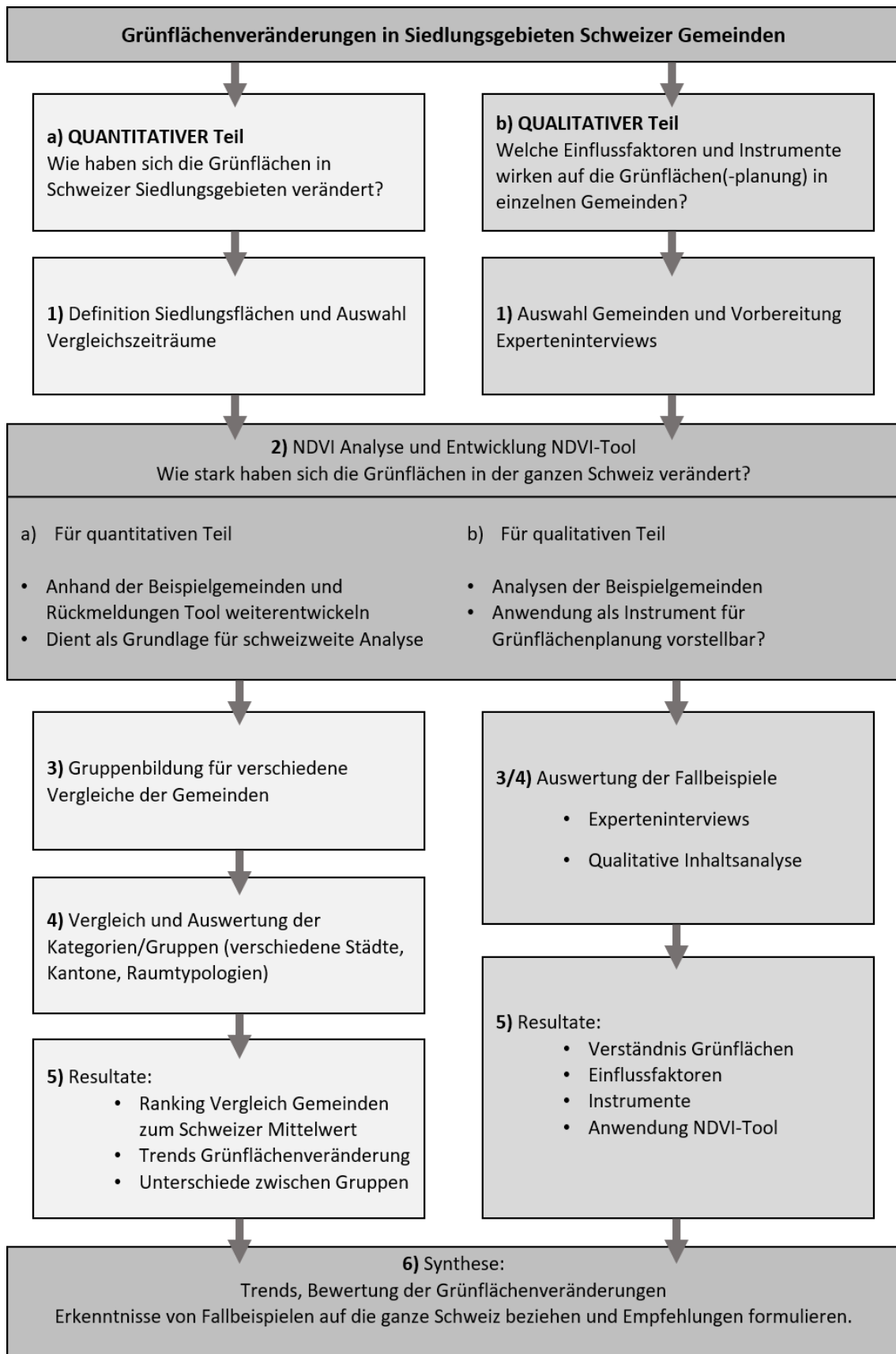


Abbildung 1: Diese Darstellung zeigt die einzelnen Schritte der sich ergänzenden Masterarbeiten von Felber und Wittenwiler zu den Grünflächenveränderungen in Siedlungsgebieten von Schweizer Gemeinden.

1.3 Ziel und Fragestellung der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist es, die Grünflächenveränderung im Laufe der letzten paar Jahrzehnte in den Siedlungsgebieten gesamtschweizerisch zu erfassen und auf Gemeindeebene zu vergleichen. Dies soll mithilfe von Satellitendaten und dem daraus berechneten Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) erreicht werden. Auf diese Weise sollen die Grünflächen und deren Veränderungen grossflächig und mit wenig Aufwand quantifizierbar werden.

Dieses Ziel führte zu folgenden Fragen, die mit dieser Arbeit beantwortet werden sollen:

- Haben alle Schweizer Gemeinden im Zeitraum von 1985 bis 2019 in den Siedlungsgebieten Grünflächen verloren? Und wie hat sich die Veränderung mit der Zeit entwickelt?
- Nimmt die Grünfläche, vor allem aufgrund der Verdichtungsmassnahmen, in den Siedlungsgebieten der städtischen Gemeinden stärker ab als in ländlichen Gebieten? Und gibt es kantonale Unterschiede bei der Veränderung?
- Gibt es eine kostengünstige Variante, mit der die Gemeinden ihre Grünflächenveränderung mit Fernerkundungsdaten selbst berechnen können?

2 Stand des Wissens

2.1 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) ist ein Vegetationsindex und liefert Informationen zur Bodenbedeckung durch grüne Vegetation. Mit Hilfe von Satelliten wird das reflektierte Licht der Erdoberfläche gemessen. Durch die Physiologie und den Aufbau der Blätter reflektiert die grüne Vegetation die solare Strahlung in einem typischen Muster. Bestimmte Wellenlängen werden besonders stark absorbiert, andere besonders stark reflektiert (Abbildung 2). Dadurch lässt sich die grüne Vegetation von anderen Arten der Bodenbedeckung unterscheiden. Mit den Satellitendaten können so die Flächen mit grüner Vegetation grossflächig und mit geringem Aufwand bestimmt werden (Pettorelli, 2013; Yengoh et al., 2015).

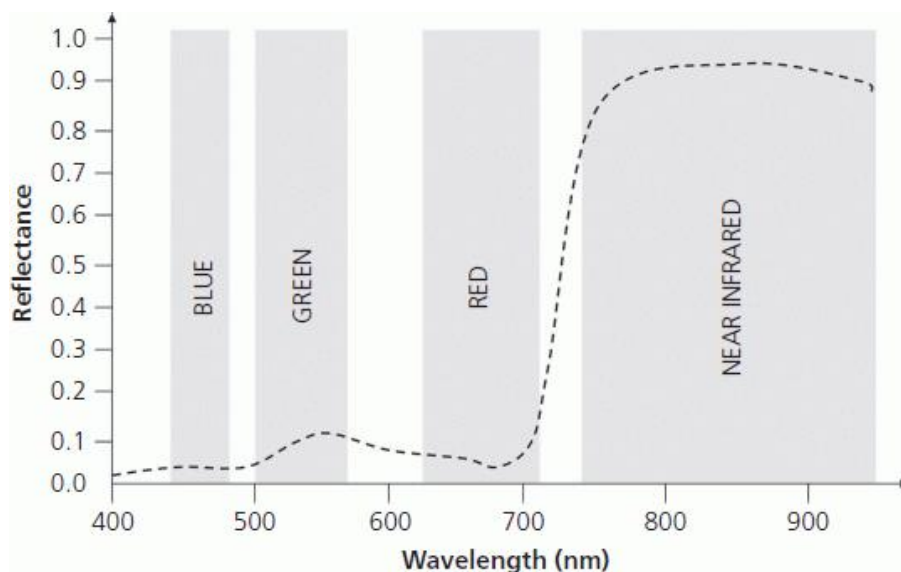


Abbildung 2: Theoretische Reflektion der Vegetation im Bereich der sichtbaren und nahen infraroten Strahlung (Pettorelli, 2013).

Der NDVI misst eigentlich die Grünheit oder in anderen Worten das photosynthetisch aktive Material. Für die Photosynthese brauchen die Pflanzen Energie. Diese Energie beziehen sie aus der solaren Strahlung. Die Chlorophyllpigmente der grünen Pflanzen absorbieren dafür hauptsächlich die rote und blaue Strahlung im sichtbaren Bereich. Die Strahlung im nahen Infrarotbereich liefert zu wenig Energie für die Photosynthese und kann höchstens zur Überhitzung der Blätter führen. Deshalb wird die Strahlung im Bereich des nahen Infrarots durch die Struktur der Blätter besonders stark reflektiert. Aus diesem Grund eignen sich der rote Bereich und der nahen Infrarot Bereich zur Identifikation der grünen Vegetation (Pettorelli, 2013).

Aus den Satellitenmessungen wird ein Verhältnis der Differenz der reflektierten Strahlung im nahen Infrarotbereich (NIR) und im roten Bereich (R) und der Summe der beiden Bereiche berechnet (Rouse et al., 1974).

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

Dies ergibt für den NDVI Werte zwischen -1 und 1. Je höher der NDVI Wert ist, desto höher ist der Grünanteil der Vegetation. Sehr tiefe Werte ergeben sich für offene Wasserflächen, Felsen, Sand oder Schnee. Unbedeckter Boden erreicht eher tiefe Werte ungefähr zwischen 0.1 und 0.2. Lichte Vegetation weist Werte zwischen ca. 0.2 und 0.5 auf und dichte Vegetation, wie z.B. geschlossene Nadelwälder, hohe Werte von ungefähr 0.6 bis 0.9 (Pettorelli, 2013). Der NDVI lässt keine direkte

Aussage zur Qualität der Grünflächen zu. Auch positive Entwicklungen des NDVIs bedeuten nicht zwingend, dass die Qualität der Grünflächen zugenommen hat. Die Artenzusammensetzung der Vegetation und die Wahrnehmung der Grünfläche, welche wichtige Faktoren für Qualität sind, können sich trotz höherem NDVI negativ entwickelt haben (Yengoh et al., 2015).

Der NDVI kann durch verschiedene Umweltfaktoren beeinflusst werden. Einen besonders starken Einfluss können Wolken und Schadstoffe in der Luft haben. Sie befinden sich zwischen der Erdoberfläche und den Satellitenmessgeräten und verändern die Strahlungsmessungen. Aus diesem Grund wird die Qualität der Satellitenbilder teilweise nach der Bewölkung oder anderen atmosphärischen Einflüssen gewertet. Je nach Verwendungszweck werden dann nur die qualitativ hochwertigen Bilder mit wenig Wolken für weitere Berechnungen einbezogen (Pettorelli, 2013).

2.2 Satellitendaten

Seit Mitte des 20. Jahrhunderts wird die Erde aus dem All beobachtet (Pettorelli, 2019). Unzählige Satelliten messen den Zustand der Erdoberfläche und der Atmosphäre. Dies geschieht auf viele unterschiedliche Arten und mit verschiedenen Sensoren. Als Folge entstehen nicht nur verschiedene Messresultate, sondern auch Aufnahmen mit unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Auflösungen. Zwei bekannte Programme, deren Daten für diese Arbeit verwendet wurden, werden im Folgenden kurz vorgestellt.

2.2.1 Landsat

Der erste Landsat-Satellit wurde im Juli 1972 in Betrieb genommen. Seither werden durch das Landsat-Programm laufend Daten zur Erdoberfläche erhoben. Das Programm liefert die längsten kontinuierlichen Daten zur Erdoberfläche und ihrer Veränderung. Gestartet wurde das Programm von der National Aeronautics and Space Administration (NASA). Nachdem das Landsat-Programm für eine kurze Phase dem privaten Sektor angehörte, wurde es mit Landsat 7 wieder von der NASA und dem U.S. Geological Survey (USGS) übernommen (Williams et al., 2006). Inzwischen sind Landsat 7 und Landsat 8 in Betrieb und Landsat 9 ist bereits in Planung. Jeder Satellit des Landsat-Programms wurde im Vergleich zum vorherigen optimiert und durch neuere Messgeräte ausgestattet. Dabei wurde darauf geachtet, konsistente Daten zu erheben. Dies ermöglicht es, Vergleiche und Veränderungen über den gesamten Zeitraum zu untersuchen (USGS, 2016).

Die Landsat-Satelliten sind mit passiven Sensoren ausgestattet. Das bedeutet, sie messen das Sonnenlicht, das durch die Erdoberfläche reflektiert wird (Pettorelli, 2019). Dabei werden nur bestimmte Frequenzen der Strahlung gemessen. Die für diese Arbeit relevanten Daten zur Reflektion der Erdoberfläche wurde bei Landsat 5 mit dem Thematic Mapper (TM) gemessen. Bei Landsat 7 stammen die Daten vom Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) und bei Landsat 8 vom Operational Land Imager (OLI). Alle diese Daten sind beim Bezug bereits atmosphärisch korrigiert und mit Angaben zur Qualität der Pixel ergänzt worden. So enthalten sie beispielsweise eine Angabe, ob Wolken vorhanden waren (USGS, 2020a). Die verschiedenen Sensoren der Satelliten wurden miteinander kalibriert, damit Zeitreihen und Vergleiche untereinander möglich sind (USGS, 2019).

2.2.2 Sentinel

Mit Sentinel hat auch die Europäische Weltraumorganisation (ESA) eine Serie zur Beobachtung der Erdoberfläche gestartet. Die Sentinel-Satelliten gehören zum Copernicus-Programm. Das Spezielle an Sentinel-2 ist, dass es sich dabei nicht nur um einen, sondern um zwei identische Satelliten handelt. Die Satelliten Sentinel-2A und Sentinel-2B kreisen in der gleichen Umlaufbahn, aber um 180° phasenverschoben. Dadurch werden die Anzahl Aufnahmen für einen Ort am Äquator in der gleichen Zeit verdoppelt bzw. die Wiederkehrdauer halbiert. Dies ermöglicht eine hohe zeitliche Auflösung der Sentinel-2-Daten von 5 Tagen. Die beiden Satelliten sind mit einem Multi-Spectral Instrument (MSI)

ausgestattet. Diese messen verschiedene Bereiche des Sonnenlichts, das von der Erde reflektiert wird. Es werden 13 verschiedene Kanäle im Bereich der sichtbaren, nahen infraroten und kurzwelligen infraroten Strahlung gemessen (Drusch et al., 2012; ESA, 2015). Der erste Satellit Sentinel-2A ist seit 2015 in Betrieb. Sentinel-2B startete zwei Jahre später im Jahr 2017 (ESA, 2020).

2.2.3 Vergleich der Grundlagen von Landsat und Sentinel

Sowohl Sentinel als auch Landsat sind sonnensynchrone Satelliten mit passiven Sensoren. Sie messen das reflektierte Sonnenlicht der Erdoberfläche. Die jüngeren Sentinel-2-Satelliten sollen dabei als Ergänzung zu den Landsat-Satelliten dienen (Drusch et al., 2012). Ein Ziel der Sentinelmission war es, die Kontinuität der Multispektraldaten, wie sie auch von Landsat erhoben werden, sicherzustellen. Die Messbereiche von Sentinel-2 richten sich daher unter anderem nach den Bereichen von Landsat. Die Breite der Spektralbänder, die gemessen werden, wurde jedoch im Vergleich zu Landsat verkleinert. Dadurch reduziert sich der Einfluss der atmosphärischen Bestandteile, zu denen auch Wasserdampf gehört (ESA, 2015). Bezogen auf die Spektralbänder messen die beiden Satellitenprogramme Vergleichbares. Bei der räumlichen und zeitlichen Auflösung, so wie dem gemessenen Bereich pro Durchgang gibt es Unterschiede (Tabelle 1). Sentinel-2 liefert viel häufigere und räumlich höher aufgelöste Daten. Hinzu kommt noch das breitere Sichtfeld von Sentinel. Dafür reicht die Zeitreihe der Landsat-Daten einzigartig weit zurück (ESA, 2015; USGS, 2019). Die Kombination von Landsat und Sentinel bietet eine Möglichkeit, zeitlich höher aufgelöste Reihen zu erhalten. Da die Satelliten aber mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattet sind und mit verschiedenen Auflösungen messen, stellt die Kombination noch eine Herausforderung dar (Mandanici et al., 2016).

Tabelle 1: Vergleich der Grundlagen von Landsat und Sentinel-2 (ESA, 2015)

	Landsat	Sentinel-2
Start der Mission	1972	2015
Wiederkehrperiode	16 Tage	5 Tage
Räumliche Auflösung³	30m	10m
Breite des Messstreifen	185km	290km

2.3 Quantitative Veränderung von Grünflächen

In der Schweiz gibt es bislang keine spezifischen Daten zur quantitativen Veränderung der Grünflächen. Und auch in den Siedlungsgebieten ist es über die gesamte Schweiz betrachtet nicht genau bekannt, wie sich die Grünflächen verändern. Im Rahmen der Arealstatistik wird allgemein die Entwicklung der Bodennutzung und Bodenbedeckung ermittelt. Dies beinhaltet zu einem Teil auch Grünflächen. Die Aufnahmemethode unterscheidet sich jedoch deutlich von der Methode in dieser Arbeit. Trotzdem bietet sich ein Vergleich der Resultate mit der Arealstatistik an, da die Arealstatistik eine sehr verlässliche Zeitreihe darstellt. Zudem wurde die Arealstatistik auch zur Verifizierung der Siedlungsfläche beigezogen. Die Arealstatistik wird daher kurz vorgestellt.

Arealstatistik:

Die Arealstatistik gibt Auskunft über die Bodennutzung und die Bodenbedeckung der Schweiz. In der Vergangenheit und auch zukünftig werden zu verschiedenen Zeitpunkten in regelmässigen Abständen Luftbilder der gesamten Schweiz analysiert. Dazu wurde ein Stichprobennetz über die Schweiz gelegt. Alle 100m wurde ein Stichprobepunkt gesetzt. Dort werden die Bodennutzung sowie die Bodenbedeckung auf dem Luftbild mithilfe zusätzlicher Informationen bestimmt. Die Erhebung erfolgt durch das Bundesamt für Statistik (BFS) und wird seit der Arealstatistik 1979/85 nach dieser Methode

³ Bezieht sich auf die Kanäle, die für diese Arbeit verwendet wurden.

ausgewertet. Bisher wurde die Arealstatistik für die Erhebungsperioden von 1979/85, 1992/97, 2004/09 und 2013/18 durchgeführt. Die Klassifizierung wurde mehrmals überarbeitet. Bei der Standardnomenklatur werden die Bodennutzung und die Bodenbedeckung kombiniert kategorisiert. Es gibt 72 Grundkategorien, die zu 27 bzw. 17 Klassen oder vier Hauptbereichen zusammengefasst werden können. Die vier Hauptbereiche sind die Siedlungsflächen, die Landwirtschaftsflächen, die bestockten Flächen und die unproduktiven Flächen. Seit 2004 gibt es neben der Standardnomenklatur auch je eine separate Nomenklatur für die Bodenbedeckung und die Bodennutzung. Um die Vergleichbarkeit über die Jahre sicherzustellen, wurden die älteren Erhebungen nach den aktuellen Nomenklaturen nochmals überprüft und angepasst (BFS, 2017).

2.4 Qualität von Grünflächen

Die Qualität der Grünflächen spielt eine entscheidende Rolle, wie gut eine Grünfläche im Siedlungsgebiet ihre Funktionen für die Bevölkerung aber auch die Biodiversität erfüllen kann. Laut Gloor et al. (2010) bevorzugen sowohl die Menschen als auch die Tiere heterogene Grünräume. So ist beispielsweise die Anzahl Bäume für Vögel ein wichtiges Kriterium für ihren Lebensraum. Je durchmischer die Artenzusammensetzung der Bäume und Sträucher ist, desto besser. Auch die Wirbellosen bevorzugen einen vielfältigen Lebensraum. Dabei hat das zunehmende Alter der Grünflächen einen positiven Effekt auf die kleinen Tiere. Negative Auswirkungen auf die Biodiversität haben hingegen versiegelte Flächen, sowie häufige Pflegeeingriffe (z.B. Rasen mähen). Die Menschen nehmen komplexere Strukturen der Grünräume positiver wahr und bevorzugen strukturreiche Grünflächen in den Siedlungsgebieten (Gloor et al., 2010).

2.5 Typologie «Raum mit städtischem Charakter»

Alle Gemeinden der Schweiz werden vom BFS anhand der Einwohner, der Beschäftigten und einem Äquivalent für Logiernächte (EBL) sowie der Pendlerströme in sieben Kategorien eingeteilt. Diese Kategorien des Raums mit städtischem Charakter dienen hauptsächlich zur Analyse von Daten in Bezug auf die Urbanität der Gemeinden. Die Agglomerationskerngemeinden werden in die drei Kategorien «Kernstadt», «Hauptkern» und «Nebenkern» aufgeteilt. Daneben gibt es noch die Kategorien «Agglomerationsgürtelgemeinde», «Mehrfach orientierte Gemeinde», «Kerngemeinde ausserhalb der Agglomeration» und «Ländliche Gemeinde ohne städtischen Charakter».

Durch die Dichte der EBL (unter anderem Einwohner pro km²) und einer absoluten Mindestgrösse der EBL werden die Kernzonen identifiziert. Diese werden danach basierend auf den Pendlerströmen in Haupt- und Nebenkerngemeinden aufgeteilt. Eine Gemeinde wird als Nebenkerngemeinde gezählt, wenn ein bestimmter Teil der Beschäftigten für die Arbeit in einen anderen Kern pendelt. Die Gemeinde innerhalb der Hauptkernzone mit der grössten Anzahl EBL wird zur Kernstadt. Meist ist dies die namensgebende Gemeinde für eine Agglomeration. Die Agglomerationsgürtelgemeinden werden ebenfalls durch die Pendlerströme in eine nahe gelegene Kernzone bestimmt. Sind die Pendlerströme in mehrere Kernzonen von Bedeutung, wird die Gemeinde als eine mehrfach orientierte Gemeinde kategorisiert. Die potenziellen Agglomerationen werden ebenfalls noch auf die Anzahl EBL untersucht. Zu kleine Agglomerationen werden nicht weiter als solche behandelt. Gibt es ausserhalb der berücksichtigten Agglomerationen Kernzonen mit einer ausreichend hohen EBL-Dichte und Mindestanzahl, zählen diese zur Kategorie der Kerngemeinden ausserhalb Agglomerationen. Alle übrigen Gemeinden werden zur Kategorie «Ländliche Gemeinde ohne städtischen Charakter» gezählt (BFS, 2014).

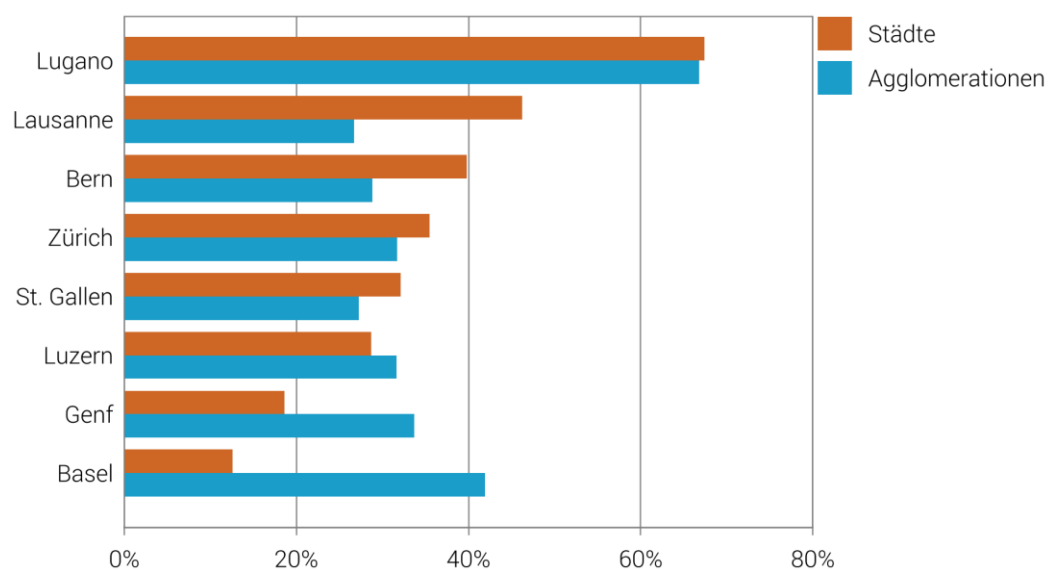
2.6 Instrumente zur Ermittlung der Grünflächen und deren Veränderung

In der Schweiz gibt es zurzeit kein offiziell standardisiertes Instrument, das Fernerkundungsdaten nutzt, um die Grünflächen und deren Veränderung in Siedlungsgebieten flächendeckend zu erheben und zu quantifizieren. Allgemein sind in der Schweiz kaum Indikatoren zur Ausdehnung und

Veränderung der urbanen Grünflächen verbreitet. Das einzige schweizweite Verfahren, das systematisch Informationen zu Grünanlagen erhebt, ist die Arealstatistik. Der Fokus liegt dabei aber nicht speziell auf Grünflächen. Die Arealstatistik hat das Ziel die Bodennutzung und Bodenbedeckung zu erfassen und die Erhebung erfolgt punktwise mit einem Stichprobennetz über die gesamte Schweiz (BFS, 2017). Im Rahmen des Projekts City Statistics vom BFS (2019a) wurde der Grünflächenanteil für acht Schweizer Städte ermittelt (Abbildung 3). Dazu wurden von der Arealstatistik alle Kategorien der Erholungs- und Grünanlagen, sowie die Kategorien der bestockten Flächen ausgewählt und damit der Anteil an der Gesamtfläche der Städte berechnet (BFS, 2019a).

Bestockte und Erholungsflächen, 2013/2018

Anteil an der Gesamtfläche



Quelle: BFS – AREA

© BFS 2019

Abbildung 3: Grünflächenanteil in acht Schweizer Städten (BFS, 2019a)

Ein Blick über die Grenze zeigt, dass sich auch andere Länder mit dieser Thematik beschäftigen. Eine ähnliche Methode, wie in dieser Arbeit, wird momentan auch in Deutschland entwickelt. Dort kommen sowohl Satellitendaten von Sentinel-2 als auch Laserscan-Daten zum Einsatz. Das Ziel dabei ist, eine Methode zur flächendeckenden Erfassung der urbanen Grünflächen für Deutschland zu finden. Dabei soll unter anderem auch eine Anwendung entwickelt werden, die es ermöglicht Daten für ausgewählte Städte zu berechnen (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR, 2020). Bisher besteht für die ganze EU eine interaktive Karte, auf der ausgewählte europäische Städte nach vier Indikatoren klassifiziert wurden (European Environment Agency EEA, 2017b). Die vier Indikatoren zur urbanen grünen Infrastruktur stammen von der European Environment Agency (EEA) und beziehen sich unter anderem auf den Grünflächenanteil und die Verteilung der Grünflächen in den Städten (EEA, 2017a). Diese Indikatoren ordnen jeder Stadt einen Wert zu, geben aber bisher keine Auskunft über die Entwicklung oder die Lage der Grünflächen innerhalb der Städte.

3 Material und Methoden

3.1 Datengrundlage

Alle Berechnungen und Analysen basierten auf den Daten aus Tabelle 2. Die Analysen wurden in Google Earth Engine (Stand: September 2019 bis Januar 2020), ArcMap von ArcGIS Desktop 10.7.1 und R Version 3.6.2 durchgeführt.

Tabelle 2: Verwendete Daten mit Quelle und Stand der Daten

Daten	Quelle	Stand der Daten
Satellitendaten von Landsat 5, Landsat 7 und Landsat 8 (Tier 1)	Google Earth Engine, USGS	11.2019 (Bezugsdatum)
Satellitendaten von Sentinel-2 (Level-1C)	Google Earth Engine, ESA	12.2019 (Bezugsdatum)
Gemeindegrenzen	swissBOUNDARIES3D, swisstopo	01.01.2019
Raumgliederung der Gemeinden	BFS	01.01.2019
Gebäudegrundriss	swissTLM3D, swisstopo	2012 - 2018
Arealstatistik nach Nomenklatur 2004 - Standard	BFS, GEOSTAT	17.02.2020 (Bezugsdatum)

3.2 Siedlungsfläche

3.2.1 Definition der Siedlungsfläche

In der Schweiz gibt es überall grüne Flächen und auch in der Landwirtschaft und in Waldgebieten verändern sich diese Flächen. Für diese Arbeit wurde aber gezielt auf die Grünflächenveränderung im Siedlungsgebiet fokussiert. Die Siedlungsfläche wurde auf Bundesebene vom Bundesamt für Statistik (BFS) wie folgt definiert:

«Zu den Siedlungsflächen gehören neben den durch Hoch- oder Tiefbauten versiegelten Böden auch alle umgebenden Areale, welche Siedlungszwecken dienen. Beispiele dafür sind Hausgärten, Park-, Sport- und Erholungsanlagen, Grünflächen neben Verkehrsbauten, aber auch Flächen, welche vorübergehend ungenutzt sind oder mit der Erstellung von Bauten zusammenhängen (Baustellen, Deponien, Kiesgruben)» (BFS, 2015).

Einen entsprechenden Geodatensatz, der die ganze Schweiz abdeckt und für die Untersuchung der Grünflächen genügend detailliert war, existierte im früheren VECTOR25 Datensatz von swisstopo. Dieser wird aber nicht mehr nachgeführt und war deshalb zu wenig aktuell. Ein vergleichbarer, aktueller Datensatz stand für diese Arbeit nicht zur Verfügung. Einige Kanton verfügen zwar über entsprechende Geodaten zur Siedlungsfläche, diese wurden aber nicht überall gleich definiert und lassen sich deshalb nicht miteinander vergleichen. Daher war es für die schweizweite Analyse nötig, eine eigene Definition der Siedlungsfläche zu erstellen. Diese Definition diente zur Berechnung der Siedlungsflächen für die ganze Schweiz in ArcGIS. Als Siedlungsfläche wurden die Gebiete gewählt, in denen sich viele Gebäude auf engem Raum befinden. Deshalb wurde für die Siedlungsflächenberechnung ein Geodatensatz mit allen Gebäudegrundrissen verwendet (Abbildung 4a). Der Datensatz ist aus dem Jahr 2019 und stammt vom topografischen Landschaftsmodell der Schweiz (swissTLM3D). Der Stand der Gebäude wurde anhand der Luftbilder von 2012 bis 2018 erfasst (swisstopo, 2019), weshalb die neusten Bauten teilweise fehlen. Alle Gebäude, die maximal 100m voneinander entfernt stehen, wurden zu Flächen verbunden (Abbildung 4b). So entstanden Polygone unterschiedlicher Grössen. Um einzelne Gebäude oder kleine Häusergruppen in ländlichen Gebieten auszuschliessen, mussten die Polygone eine Mindestfläche von 1ha aufweisen, damit sie weiter berücksichtigt wurden. Danach wurde um die ausgewählten Flächen eine Pufferzone von 30m

berechnet (Abbildung 4c). So wurden auch Flächen, wie z.B. Gärten, die nicht direkt zwischen zwei Gebäuden liegen, einbezogen. Um zu verhindern, dass grosse unbebaute Flächen (z.B. Parkanlagen) innerhalb der Siedlungsgebiete ausgeschlossen werden, wurden zudem alle «Löcher» bis zu 15ha innerhalb der Siedlungsfläche dazugezählt (Abbildung 4d). Die Siedlungsfläche wurde in ArcGIS in zwei Teilen für die gesamte Schweiz gerechnet und am Schluss zu einem Datensatz zusammengefügt (Anhang B). Für die weiteren Analysen wurde für alle Zeiträume mit dieser Siedlungsfläche von 2019 gearbeitet.

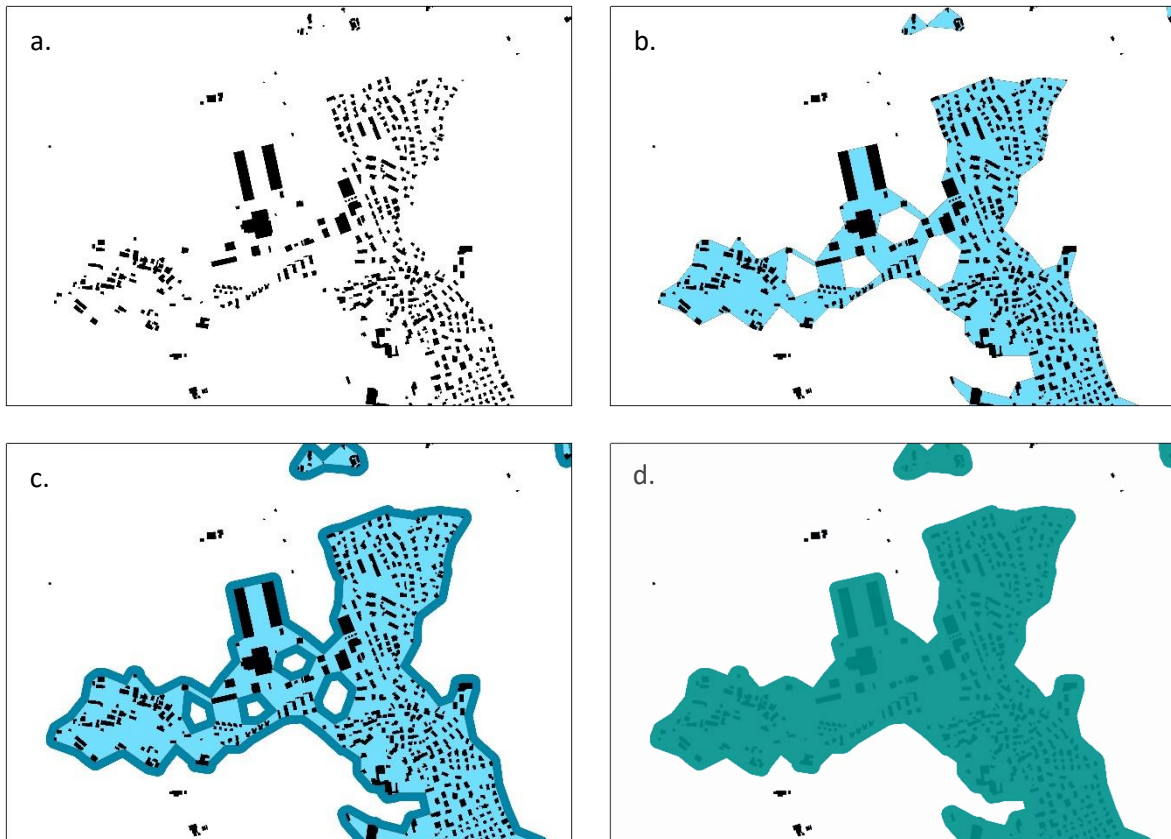


Abbildung 4: Berechnung der Siedlungsfläche. a. Gebäudegrundrisse b. Gebäude mit max. 100m Abstand aggregiert, Flächen mit min. 1ha ausgewählt c. 30m Puffer um berechnete Fläche gelegt d. Lücken <15ha innerhalb der Fläche geschlossen

3.2.2 Verifizierung mit der Arealstatistik

Diese selbst erstellte Siedlungsfläche wurde nun mit der Arealstatistik vom BFS verglichen. Letztere enthält ebenfalls Angaben zur Siedlungsfläche. Jedoch sind diese Daten in Form eines Stichprobennetzes und nicht kontinuierliche Flächen, wie sie für diese Analysen benötigt würden. Die Arealstatistik eignet sich aber zur Verifizierung der selbst berechneten Siedlungsfläche. Um die Datenmenge und Berechnungszeit etwas zu reduzieren, wurde für die Verifizierung der Siedlungsfläche mit der Arealstatistik eine Testfläche gewählt. Dieser rechteckige Ausschnitt war rund 1'600km² gross und erstreckte sich von der Stadt Zürich bis zur Stadt Luzern. Der Testausschnitt enthielt Teile des Kantons Aargau, Luzern, Nidwalden, Schwyz, Zug und Zürich. Die Stichprobenpunkte der Arealstatistik 2013/18 und die eigenen Siedlungsflächen wurden für dieses Gebiet übereinander gelagert. Danach wurde berechnet, wie hoch die Übereinstimmung der Arealstatistik und der eigenen Siedlungsfläche innerhalb und ausserhalb der selbst definierten Siedlungsfläche war. Dazu wurde von der Arealstatistik die Einteilung in die vier Hauptbereiche (wie in Kapitel 2.3 beschreiben) verwendet, wovon ein Bereich die Siedlungsflächen abdeckt. Eine gute Übereinstimmung der Methoden wäre, wenn ausserhalb der selbst definierten Siedlungsfläche keine oder nur marginal wenige Siedlungsflächenpunkte der Arealstatistik auftreten würden.

3.3 Wahl der Zeitpunkte für die Zeitserien mit Fernerkundungsdaten

Um die Veränderung des NDVI über die Zeit zu untersuchen, braucht es Zustandsdaten von verschiedenen Zeitpunkten. Durch Landsat stehen als Grundlage kontinuierliche Daten über einen langen Zeitraum zur Verfügung. Das Landsat-Programm besteht aber nicht nur aus einem Satelliten. Über den gesamten Zeitraum bis zum jetzigen Zeitpunkt wurden die Daten von sieben verschiedenen Satelliten geliefert (NASA, 2020a). Kleine qualitative Unterschiede zwischen den Satelliten sind aber nicht auszuschliessen. Daher wurde versucht, den abzudeckenden Zeitrahmen auf möglichst wenige verschiedene Satelliten zu begrenzen. Es wurden nur Daten von Landsat 5, Landsat 7 und Landsat 8 verwendet. So konnte der Einfluss von unterschiedlichen Satellitengenerationen auf die Bildqualität möglichst klein gehalten werden. Durch den Start von Landsat 5 im Jahr 1984 (NASA, 2020b) wird die Wahl der Zeitpunkte auf die Jahre von 1984 bis heute begrenzt. Zudem sollten die Zeitpunkte mit anderen Daten zur Bodenbedeckung und Bodennutzung abgeglichen werden. Naheliegend war deshalb, ähnliche Zeitpunkte wie in der Arealstatistik zu wählen. Ein weiteres wichtiges Kriterium war die Länge der Zeitabschnitte. Damit die Veränderungen über die verschiedenen Zeitabschnitte untereinander vergleichbar waren, sollten die Perioden alle gleich lang sein. Aufgrund der obigen Überlegungen wurden schliesslich vier Zeitpunkte im Abstand von jeweils 11 Jahren gewählt (Abbildung 5). Die gewählten Zeitpunkte waren die Jahre 1985/86, 1996/97, 2007/08 und 2018/19. Um möglichst viele wolkenlose Ausschnitte zu haben, wurden bei jedem gewählten Zeitpunkt geeignete Bilddaten über zwei Jahre einbezogen. Im Text wird einfachheitshalber trotzdem der Begriff «Zeitpunkt» verwendet.

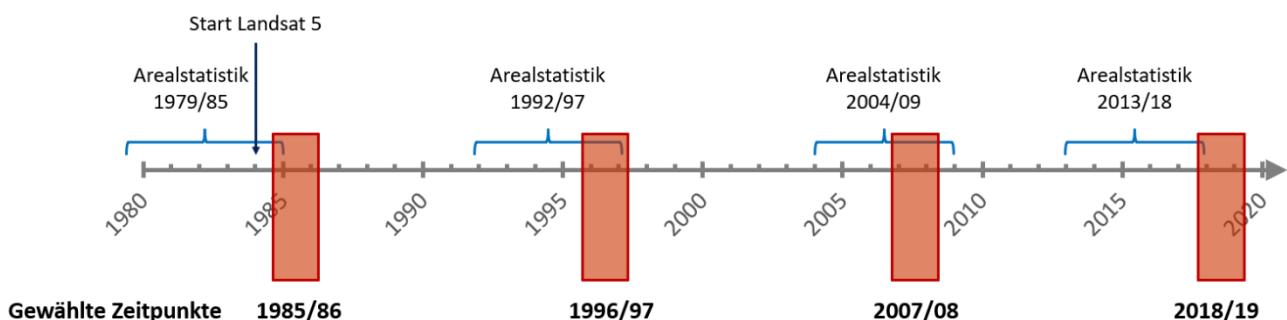


Abbildung 5: Zeitstrahl mit den gewählten Zeitpunkten

3.4 Auswahl der Satellitendaten

3.4.1 Zeiträume der Satellitendaten

Die Berechnung des NDVI zielte darauf ab, alle Flächen mit grüner Vegetation zu erfassen. Da ein grosser Teil der Vegetation (z.B. Laubbäume) in der Schweiz im Winter weniger grün ist, wurden für die NDVI-Berechnungen nur Satellitendaten der Sommermonate Juni, Juli und August verwendet. Während diesen 92 Tagen pro Jahr liefert Landsat jeweils maximal 6 Aufnahmen. Bedingt durch die Bewölkung liessen sich jedoch nicht alle diese Aufnahme verwenden. Daher wurden jeweils die Aufnahmen der Sommermonate von zwei aufeinander folgenden Jahren kombiniert. Trotz diesem breiten Zeitfenster wiesen auch diese Datensätze teilweise noch Lücken auf. Das heisst für ein paar kleine Flächen war es nicht möglich den NDVI zu berechnen, weil die Messwerte durch die Bewölkung für diesen Zweck unbrauchbar waren. Die Lücken befanden sich jedoch vorwiegend in den Alpen und hatten keinen Einfluss auf die Siedlungsgebiete.

3.4.2 Landsat oder Sentinel?

Die nötigen Informationen für die Berechnung des NDVIs liefern sowohl die Satelliten von Landsat als auch die von Sentinel. Die Daten von Sentinel sind aber erst seit 2015 verfügbar (ESA, 2020). Daher wurde die Grünflächenveränderung anhand der Landsat-Daten verglichen. Zukünftig wäre es aber möglich, für die gleichen Untersuchungen die Daten von Sentinel zu verwenden. Sentinel hätte den Vorteil, dass die zeitliche und räumliche Auflösung der Daten höher ist (vgl. Kapitel 2.2.3). Daher wurde ein Vergleich mit den Daten der beiden Satellitenprogramme durchgeführt. Da beide theoretisch dasselbe messen, wurde erwartet, dass ungefähr die gleichen Resultate berechnet werden und in der Differenz der beiden Berechnungen keine Muster erkennbar sein werden.

Für den Vergleich von Landsat und Sentinel wurde als erstes der NDVI mit beiden Datensätzen für den Sommer 2019 berechnet. Dieser wurde für die ganze Schweiz nach der Methode in Kapitel 3.5 mit Google Earth Engine (GEE) bestimmt. Das Vorgehen für Landsat wurde mit wenigen Anpassungen einfach auf die Sentinel-Daten übertragen. Die Grundlagedaten waren ebenfalls vom Zeitraum von Juni bis August. Da Sentinel eine höhere räumliche Auflösung hat, wurden die NDVI-Daten von Sentinel in ArcGIS an die Auflösung der Landsat-Daten angepasst. Die Zellen mit einer Auflösung von 10m wurden zu 30m Zellen aggregiert (Mittelwert der neun 10m Zellen), so dass ihre Lage mit den Landsat-Daten übereinstimmte. Um die Sentinel-Daten nun mit den Landsat-Daten zu vergleichen, wurde die Differenz der beiden Datensätze berechnet. Unter der Annahme, dass beide Satelliten dasselbe messen, sollte die Differenz möglichst nahe bei 0 liegen und die Abweichungen lediglich ein ungeklumpertes räumliches Rauschen ergeben.

3.5 Berechnung des NDVI pro Zeitpunkt

Der NDVI für die gesamte Schweiz wurde in Google Earth Engine (GEE) berechnet. Dazu wurden zuerst die Landsat-Daten für die gewünschten Zeiträume und für die Fläche der Schweiz ausgewählt. Da Wolken den NDVI verfälschen, wurden die Daten auf die Bewölkung überprüft. Die Daten von Landsat verfügen bereits über ein Attribut, das Informationen zur Qualität bezüglich der Bewölkung enthält. Mit Hilfe einer Maske wurden in GEE alle qualitativ schlechten Pixel mit vielen Wolken herausgefiltert. Der Code für diese Maske wurde zur Verfügung gestellt (Anhang A) und basiert auf den Beispielcodes für Cloud Masking «Landsat457 Surface Reflectance» und «Landsat8 Surface Reflectance» von GEE. Im gleichen Schritt wurde auch der NDVI aus den Daten zum roten und nahen infraroten Bereich berechnet. Damit der NDVI nicht Werte mit unzähligen Nachkommastellen annimmt und besser lesbar ist, wurde der NDVI mit 10'000 multipliziert. Als nächster Schritt wurden alle übrigen Satellitenbilder mit wenig Bewölkung kombiniert und der Median aller übereinanderliegender NDVIs berechnet. Diese Daten wurden dann als tif-Datensatz exportiert sowie als Karte in GEE dargestellt. Danach wurden die NDVI-Daten in ArcGIS auf die Siedlungsfläche zugeschnitten. Es wurde für alle Zeiträume die Siedlungsfläche von 2019 verwendet. Die NDVI-Werte wurden zudem kategorisiert (Tabelle 3), damit die Ist-Zustandskarten übersichtlicher werden. Alle negativen Werte erhielten den Wert 0, was bedeutet, dass dort keine grüne Vegetation vorhanden ist. Die positiven Werte wurden jeweils in 2'000er Schritten zu einer Kategorie zusammengefasst. Zur groben Überprüfung der NDVI-Karten wurden diese mit Luftbildern und bekannten Gebieten verglichen. Es wurden keine unerklärlichen Auffälligkeiten wie z.B. hohe NDVI-Werte auf vegetationsfreien Flächen entdeckt.

Die oben beschriebene Methode der NDVI Berechnung wurde auch für die Sentinel-Daten angewendet. Um die stark bewölkten Bilder auszusortieren, wurde ebenfalls eine Maske verwendet. Der entsprechende Code dazu war spezifisch für Sentinel-2-Daten und basierte auf dem Beispielcode für Cloud Masking «Sentinel2» von GEE.

Tabelle 3: Kategorisierung der NDVI-Daten für die Ist-Zustandskarten

NDVI-Wert	Kategorie Ist-Zustand
-10'000 – 0	0
0 – 2'000	1
2'000 – 4'000	2
4'000 – 6'000	3
6'000 – 8'000	4
8'000 – 10'000	5

3.6 Grünflächenveränderung

3.6.1 Berechnung der Grünflächenveränderung

Die Veränderung der Grünflächen wurde anhand der Unterschiede im NDVI zwischen zwei verschiedenen Zeitpunkten bestimmt. Als Grünflächenveränderung wird eine Veränderung im NDVI verstanden. Die Grünflächenveränderung beinhaltet also sowohl die Veränderung der Fläche sowie die Veränderung der Intensität der grünen Vegetation.

Zur Berechnung der Veränderung wurden die unkategorisierten NDVI-Daten für die verschiedenen Zeitpunkte verwendet. Diese Daten wurden bereits auf das Siedlungsgebiet der gesamten Schweiz zugeschnitten. Damit die Veränderungen im negativen Bereich des NDVIs nicht als positive oder negative Veränderung der Grünheit gewertet wurden, erhielten alle negativen NDVI-Wert den Wert 0. Danach wurden zwei Zeitpunkte ausgewählt, für deren Zeitraum die Veränderung berechnet werden sollte. Die Veränderung ergab sich aus der Differenz des Zustands am Ende des Zeitabschnitts minus dem Anfangszustand des Zeitabschnitts. Der NDVI konnte nur noch Werte von 0 bis 10'000 aufweisen, folglich lag die Differenz für jeden Punkt zwischen -10'000 und 10'000. Auch diese Werte wurden wieder zu Kategorien zusammengefasst (Tabelle 4). Positive Werte bedeuten eine Zunahme der Grünfläche bzw. der Grünintensität im Vergleich zum Anfang des betrachteten Zeitraums. Die negativen Werte zeigen eine Abnahme der Grünfläche bzw. der grünen Vegetation.

Tabelle 4: Kategorisierung der NDVI-Differenzen für die Grünflächenveränderung

NDVI-Differenz	Kategorie der Veränderung
-10'000 – -9'000	-5
-9'000 – -7'000	-4
-7'000 – -5'000	-3
-5'000 – -3'000	-2
-3'000 – -1'000	-1
-1'000 – 1'000	0
1'000 – 3'000	1
3'000 – 5'000	2
5'000 – 7'000	3
7'000 – 9'000	4
9'000 – 10'000	5

Um die Veränderung weiter analysieren zu können, wurden die Rasterdaten auch statistisch ausgewertet. In einer Tabelle wurde für die Siedlungsfläche jeder Gemeinde die Anzahl Rasterzellen pro Veränderungs-Kategorie gezählt und zudem die gesamte Veränderung gemittelt. Weiter wurde die Tabelle für jede Gemeinde mit der Siedlungsfläche und der Anzahl Rasterzellen im Siedlungsgebiet und einigen geographischen und typologischen Informationen aus dem Raumgliederungsdatensatz ergänzt.

Die Tabellen für die unterschiedlichen Zeiträume wurden exportiert und in R durch weitere Berechnungen ergänzt (Anhang C). Da die Gemeinden sehr unterschiedlich grosse Siedlungsflächen aufweisen, wurde als erstes der relative Flächenanteil pro Kategorie für jede Gemeinde berechnet. Basierend auf diesen Anteilen wurde pro Gemeinde eine Abnahme und eine Zunahme der Grünfläche ermittelt. Die Abnahme und die Zunahme ergaben sich, wie unten mit den Formeln dargestellt, aus der Summe der gewichteten Flächenanteile pro Kategorie. Als Gewichtung wurde der positive Wert der Kategorie gewählt (Lesebeispiel: Die Siedlungsfläche der Gemeinde Hochdorf besteht aus 3253 Pixeln. Davon zählen 10 Pixel zur Veränderungskategorie «minus 3», was 0.3% der Pixel bzw. der Siedlungsfläche von Hochdorf entspricht. Die Kategorie «minus 2» macht 2.1% und die Kategorie «minus 1» 16.1% der Fläche aus. Das ergibt eine gewichtete Abnahme von $0.003 * 3 + 0.021 * 2 + 0.161 * 1 = 0.21$ für Hochdorf. Der Wert ist einheitslos. Die Zunahme setzt sich aus den 2.9% der Kategorie 1 und 0.03% der Kategorie 2 zusammen. Das sind $0.029 * 1 + 0.0003 * 2 = 0.03$ für die gewichtete Zunahme).

$$Abnahme = \sum_{\text{Kategorie minus 5}}^{\text{Kategorie minus 1}} (\text{Flächenanteil der Kategorie} * \text{Gewichtung der Kategorie})$$

$$Zunahme = \sum_{\text{Kategorie 1}}^{\text{Kategorie 5}} (\text{Flächenanteil der Kategorie} * \text{Gewichtung der Kategorie})$$

Für die Vergleiche wurden der schweizweite Mittelwert und der Mittelwert pro Gemeinde und Zeitschnitt sowie die Zunahme und Abnahme des NDVIs jeder Gemeinde verwendet. Der schweizweite Mittelwert setzt sich aus zwei Werten zusammen. Er besteht aus der mittleren Zunahme und der mittleren Abnahme aller Schweizer Gemeinden und wurde in den Diagrammen als schweizweiter Mittelwert der Veränderung dargestellt. Mithilfe dieses Schweizer Mittelwerts wurden auch die Ranglisten für die Gemeinden erstellt, indem die Abweichung zum Mittelwert für jede Gemeinde berechnet und entsprechend gewertet wurde.

3.6.2 NDVI-Tool

Ein weiteres Ziel dieser Arbeit war es, die Daten zum Ist-Zustand der Grünflächen und zur Veränderung den Gemeinden zugänglicher zu machen. Dazu wurde ein NDVI-Tool entwickelt. Dieses soll es einer Gemeinde ermöglichen, ohne grossen Zeit- und Ressourcenaufwand die Daten für ihre Gemeinde selbst zu berechnen. Zu diesem Zweck wurden in ArcGIS ModelBuilder drei Modelle erstellt, in denen die Berechnung automatisch in der definierten Reihenfolge abläuft (Anhang B). So kann in drei Schritten der Ist-Zustand für einen Zeitpunkt und die Veränderung zwischen zwei Zeitpunkten berechnet werden. Zur Auswahl stehen die vier in Kapitel 3.3 definierten Zeitpunkte und die daraus resultierenden sechs Zeitabschnitte. Am Anfang kann eine beliebige Gemeinde der Schweiz

ausgewählt werden. Die Grünflächenveränderung wird dann nur für diese gewählte Gemeinde berechnet. Das Vorgehen ist dabei ähnlich wie für die ganze Schweiz. Es wird der NDVI für die zwei Zeitpunkte für die Siedlungsfläche der Gemeinde berechnet, danach werden die negativen Werte zu 0 geändert und die Differenz der beiden Zeitpunkte berechnet. Die Hauptresultate sind die Karten des Ist-Zustands und der Veränderung.

4 Resultate

4.1 Verifizierung der Siedlungsfläche

Eine wichtige Maske für die Grünflächenanalyse war die Siedlungsfläche. Da diese nicht als Geodaten verfügbar waren, wurde sie selber berechnet und die Qualität mit der Arealstatistik vom BFS verifiziert (vgl. Kapitel 3.2).

Bezogen auf die ausgewählte Testfläche lagen 29'805 Stichprobenpunkte von der Arealstatistik 2013/18 innerhalb der selbst definierten Siedlungsfläche. Davon zählten 71.6% der Stichprobenpunkte auch gemäss der Arealstatistik zur Siedlungsfläche. 23.5% der Punkte teilte die Arealstatistik als Landwirtschaftsflächen ein, 3.6% gehörten zu den bestockten Flächen und 1.3% zu den unproduktiven Flächen.

Umgekehrt wurden von der Arealstatistik knapp 5% der Punkte ausserhalb der selbst definierten Siedlungsfläche ebenfalls zur Siedlungsfläche gezählt. Dies ist hauptsächlich auf einzelne Gebäude (auch landwirtschaftliches Gebäudeareal) ausserhalb grosser Siedlungen zurückzuführen, welche die Arealstatistik durch ihr Stichprobenverfahren erfasst. In der eigenen Siedlungsflächendefinition, welche nicht auf einem Stichprobenverfahren basiert, wurden kleine Flächen mit wenigen Gebäuden bewusst ausgeschlossen. So sollte vermieden werden, dass beispielsweise einzelne Bauernhöfe und ihr landwirtschaftliches Umland die Resultate stark beeinflussen. Aufgrund dieser Verifizierung wurde entschieden, dass die Siedlungsfläche nach eigener Definition für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet war.

4.2 Veränderung in der ganzen Schweiz

4.2.1 Zeitliche Veränderung

Die Veränderung der Grünflächen im Verlauf der verschiedenen Zeitabschnitte wurde für die gesamte Schweiz untersucht. Verglichen wurden die schweizweiten Mittelwerte getrennt nach Abnahme und Zunahme der Grünheit. Pro Gemeinde wurden für diese Veränderungen die kategorisierten Flächenanteile gewichtet und nach Grünflächenabnahme bzw. -zunahme aufsummiert (in Kapitel 3.6.1 beschrieben). Aus diesen Werten ergaben sich jeweils zwei schweizweite Mittelwerte pro Zeitabschnitt. Ein Zeitabschnitt kann sich über 11 Jahre, 22 Jahre oder 33 Jahre erstrecken. Da die Zunahme und die Abnahme nicht pro Jahr gemessen wurden, liessen sich die Werte verschieden langer Zeitabschnitte nur unter Berücksichtigung der Zeitspanne vergleichen.

Zudem werden Veränderungen innerhalb dieses Zeitabschnittes nicht erkannt, wenn sie sich bis zum Ende der Periode wieder in die andere Richtung entwickelt haben. Als Beispiel eine Baustelle: Zum ersten Zeitpunkt befand sich an diesem Ort eine grüne Wiese. Diese zeigte einen hohen NDVI-Wert. In den Jahren des folgenden Zeitpunkts war auf dieser Wiese eine Baustelle. Folglich erhielt dieser Ort einen tieferen NDVI-Wert und die Veränderung in dieser Periode war eine starke Abnahme. Bis zur Erhebung der Daten für den dritten Zeitpunkt waren die Häuser und die Grünflächen um die Gebäude bereits fertiggestellt. Dies resultierte in einer Grünflächenzunahme verglichen mit dem zweiten Zeitpunkt. Aber im Vergleich mit dem ersten Zeitpunkt ergab sich immer noch eine Abnahme. Diese Abnahme war jedoch weniger stark als die Abnahme vom ersten zum zweiten Zeitpunkt. Das Beispiel soll zeigen, weshalb sich die Veränderung je nach betrachtetem Zeitraum stark unterscheiden konnte.

Die Zunahme und die Abnahme der Grünfläche lassen sich wie in Abbildung 6 kombiniert darstellen. Auf der x-Achse wird die Abnahme und auf der y-Achse die Zunahme aufgetragen. Die eingezeichnete Gerade zeigt, wo das Verhältnis zwischen Abnahme und Zunahme gleich ist. Bei allen Werten, die sich oberhalb der Geraden befinden, war die Zunahme grösser als die Abnahme. Insgesamt überwiegt dort die Zunahme der Grünfläche bzw. der Vegetation. Die Mittelwerte der Schweiz liegen aber alle unterhalb der Geraden. Das bedeutet, dass die Grünflächen mehr ab- als zugenommen haben. Je

weiter entfernt ein Datenpunkt von der Geraden liegt, desto einseitiger war die Veränderung bezüglich der Zu- und Abnahme. Die Mittelwerte für die gleich langen Zeiträume liegen alle relativ dicht beieinander. Sie unterscheiden sich nur gering. Die unterschiedlich langen Zeitperioden lassen sich aber klar unterscheiden, was aufgrund der berücksichtigten Zeitdauer nachvollziehbar ist. Trotzdem gibt es innerhalb der gleich langen Zeitspannen Unterschiede. So nahm die schweizweite Grünfläche im 11-jährigen Zeitraum von 1996/97 bis 2007/08 mehr ab als im gleich langen Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19. Die Zunahme der Grünfläche war für diese beiden Zeitabschnitte jedoch fast gleich. Anders sieht dies für den frühesten Zeitabschnitt von 1985/86 bis 1996/97 aus. Da war die Zunahme leicht höher und die Abnahme jedoch ähnlich, wie von 2007/08 bis 2018/19. Durch den Vergleich des Abstands zur Gerade wird ersichtlich, dass sich die Grünheit von 1996/97 bis 2007/08 am stärksten zugunsten der Abnahme verändert hat.

Für den Abschnitt über 22 Jahr von 1996/97 bis 2018/19 ist die Zunahme im Vergleich zum früheren Zeitraum von 1985/86 bis 2007/08 ein wenig geringer, dafür die Abnahme der Grünfläche höher. Das Verhältnis hat sich in Richtung der Abnahme verschoben. Hier ist aber zu berücksichtigen, dass sich die beiden Zeitabschnitte, die jeweils 22 Jahre umfassen, überschneiden.

Die gesamte Zeitspanne von 1985/86 bis 2018/19 weist verglichen mit den anderen Daten sowohl eine grössere Zunahme als auch grössere Abnahme auf. Dies ist aufgrund des längeren Zeitabschnitts plausibel. Das Verhältnis von Zunahme und Abnahme hat sich im Vergleich mit den 11-jährigen Zeitabschnitten aber geändert. Die Abnahme hat sich für den längeren Zeitraum stärker erhöht als die Zunahme. Beim Zeitabschnitt über 22 Jahre von 1996/97 bis 2018/19 ist das Verhältnis hingegen ähnlich. Beide Datenpunkte befinden sich ungefähr gleich weit von der Geraden entfernt.

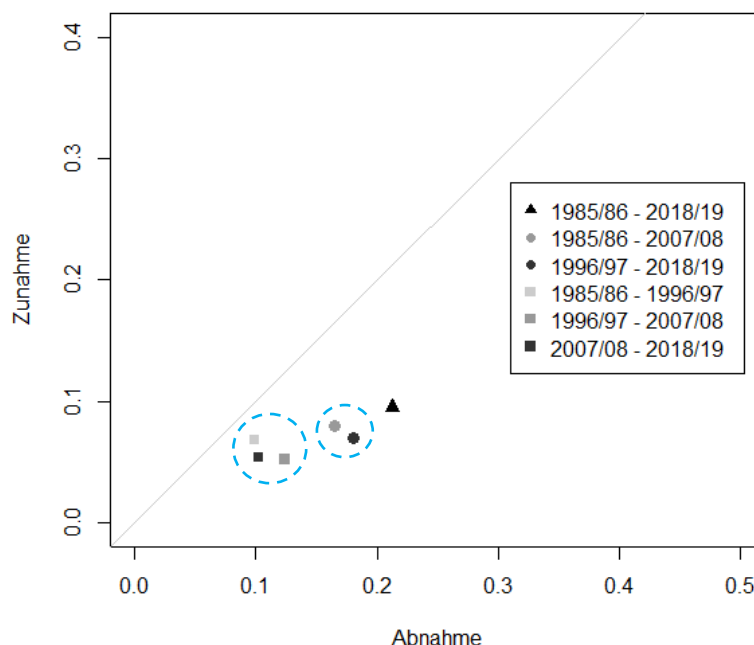


Abbildung 6: Schweizweite Mittelwerte der gewichteten relativen Grünflächenabnahme und -zunahme für verschiedene Zeitabschnitte. Die unterschiedlichen Symbole stellen unterschiedliche Zeitspannen dar (Quadrate = 11 Jahre, Kreise = 22 Jahre, Dreieck = 33 Jahre). Die Kreise verdeutlichen die Gruppen, die sich aus den gleich langen Zeitspannen ergaben. Die Achsen haben keine Einheiten, da es sich um gewichtete und aufsummierte Flächenanteile (wie in Kapitel 3.6.1 beschrieben) handelt.

4.2.2 Vergleich der Gemeindemittelwerte in den Vergleichsgruppen

Für die weiteren Untersuchungen wurden die Gemeinden in verschiedene Gruppen aufgeteilt. Die Aufteilung erfolgte einmal nach Kantonszugehörigkeit und einmal nach der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» (Kapitel 2.5). Um zu untersuchen, ob es zwischen den Vergleichsgruppen Unterschiede gibt, wurden die Mittelwerte der Grünflächenveränderung aller Gemeinden, die der gleichen Gruppe angehören, zusammengefasst. Die Werte der Gruppen wurden in Form von Boxplot-Darstellungen miteinander verglichen. Der Vergleich orientiert sich am Median und der Verteilung jeder Vergleichsgruppe. Da sich die Werte auf die mittlere Veränderung des NDVIs beziehen, sind sie einheitslos.

Kantone

Zuerst wurden die Gemeindemittelwerte der Veränderung von 2007/08 bis 2018/19 nach den Schweizer Kantonen gruppiert und verglichen (Abbildung 7a). Die kantonalen Mediane liegen alle nahe beim Wert 0. Einige Kantone weisen im Mittel eine leicht positive, andere eine leicht negative Veränderung auf. Die Werte befinden sich im Bereich von -0.12 bis 0.03. Wurden einzelne Kantone miteinander verglichen, waren deutlichere Unterschiede erkennbar. Der Kanton Tessin weist mit 0.034 einen auffallend positiven Median auf. Gefolgt wird dieser vom Kanton Appenzell Innerrhoden (0.016) und Obwalden (-0.002). Besonders tiefe Mediane zeigen der Kanton Luzern (-0.117), der Kanton Thurgau (-0.106), der Kanton Jura (-0.092), der Kanton Freiburg (-0.090) und der Kanton Aargau (-0.086). Die grösste Streuung ergibt sich für den Kanton Graubünden.

Wichtig ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Kantone aus gleich vielen Gemeinden bestehen. Beispielsweise bestehen die Kantone Basel-Stadt und Glarus nur aus drei Gemeinden. Eine einzelne Glarner Gemeinde hat folglich eine grössere Wirkung auf den Median als eine einzelne Gemeinde im Kanton Bern mit insgesamt 344 berücksichtigten Gemeinden.

Bei Betrachtung des längeren Zeitraums von 1985/86 bis 2018/19 fällt als erstes auf, dass die Streuung der Mittelwerte viel grösser ist (Abbildung 7b). Zudem lagen die kantonalen Mediane weiter vom Wert 0 entfernt. Der Median vom Kanton Basel-Stadt liegt für diesen Zeitraum bei 0.159. Gemessen am Median entwickelte sich Basel-Stadt während dieser Zeit am positivsten. Ebenfalls positiv sind die Mediane der Kantone Genf (0.088) und Tessin (0.032). Diese drei Kantone heben sich deutlich von den anderen Kantonen ab. Am negativsten ist auch für den längeren Zeitraum der Median des Kantons Luzern (-0.351). Die Kantone Thurgau (-0.256) und Freiburg (-0.249) weisen ebenfalls tiefe Mediane auf. Die grösste Streuung zeigt sich auch für diesen Zeitraum beim Kanton Graubünden.

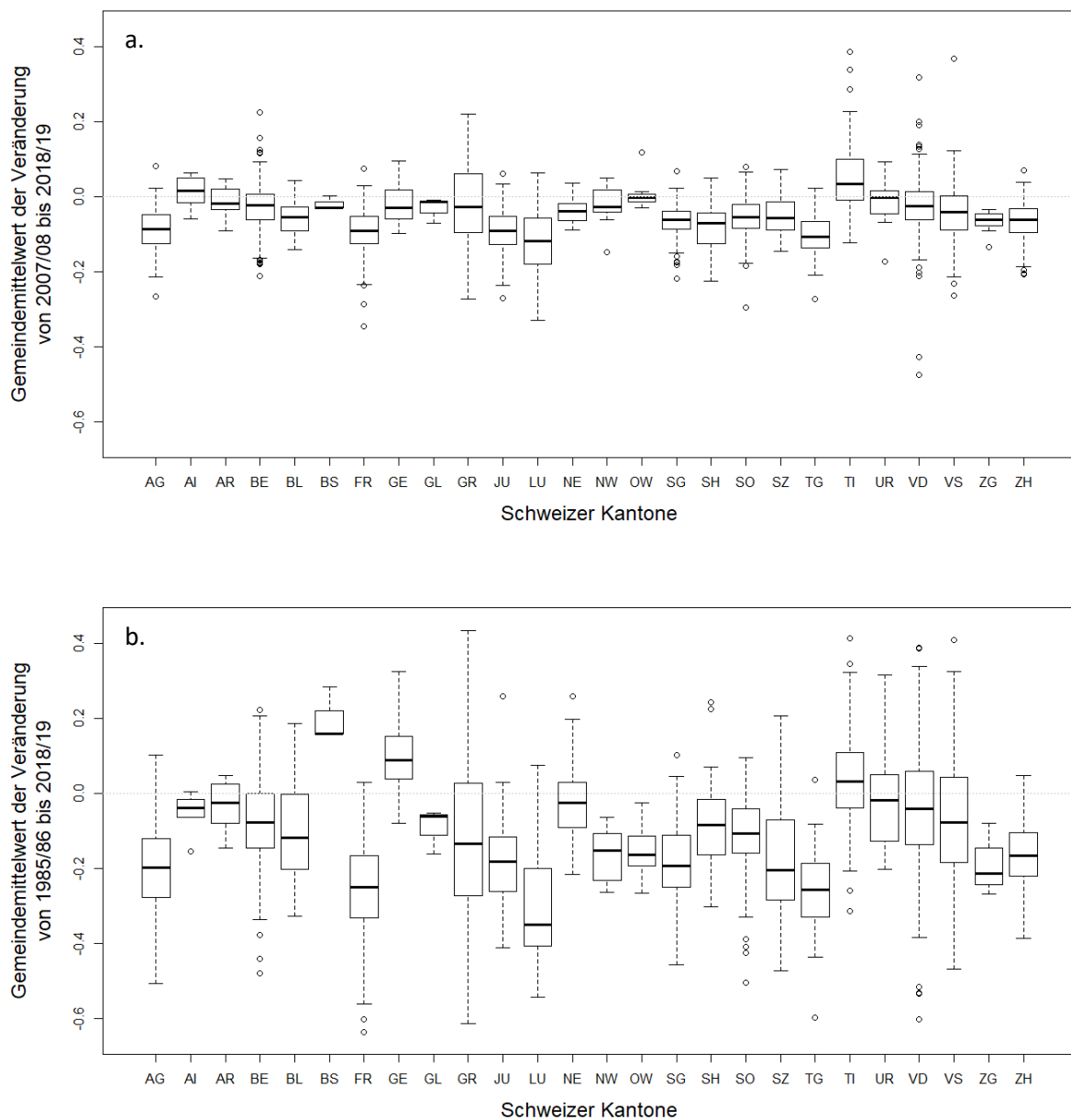


Abbildung 7: Boxplots zum Vergleich der Grünflächenveränderung in den Schweizer Kantonen. Die Verteilung zeigt die Gemeindemittelwerte aller 2210 Schweizer Gemeinden nach Kanton gruppiert und der Querbalken stellt den Median für den Kanton dar. Der Gemeindemittelwert berechnet sich aus allen kategorisierten, aber noch ungewichteten Veränderungen des NDVIs und ist deshalb einheitslos. a. Veränderung für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19. b. Veränderung für den Zeitraum von 1985/86 bis 2018/19.

Raum mit städtischem Charakter

Die Mittelwerte der Gemeinden wurden ebenso nach der Typologie Raum mit städtischem Charakter gruppiert. Der Vergleich der verschiedenen Gruppen für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19 lieferte keine grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen (Abbildung 8). Zwar unterscheiden sich die Mittelwerte pro Gruppe leicht. Anders als erwartet lassen diese Unterschiede aber keine eindeutigen Trends für die Gruppen erkennen. Alle Mediane liegen im negativen Bereich zwischen -0.08 und -0.04. Für den längeren Zeitraum von 1985/86 bis 2018/19 sieht der Vergleich ähnlich aus. Die Mediane befanden sich zwischen -0.19 und -0.06. Es sind keine auffälligen Trends zu erkennen.

Zusätzlich ist noch zu erwähnen, dass nicht jeder Gruppe gleich viele Gemeinden zugeordnet wurden. Die Gruppen bestehen aus 58 bis 749 Gemeinden. Die Streuung und der Median pro Gruppe wurden dadurch ebenfalls beeinflusst.

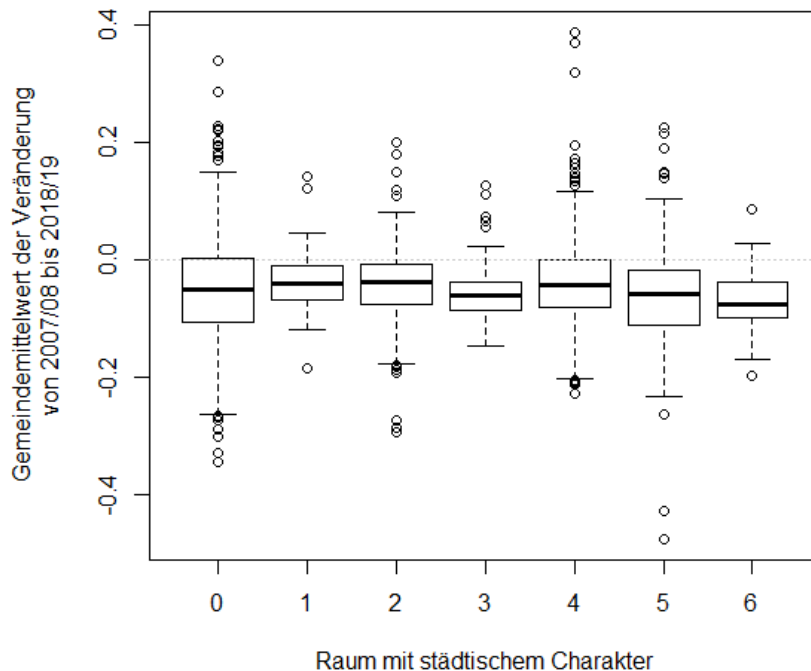


Abbildung 8: Boxplots zum Vergleich der Grünflächenveränderung (Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19) in den Gemeindegruppen nach der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» (Tabelle 5). Der Gemeindemittelwert ist einheitslos, da die kategorisierten Veränderungswerte des NDVIs gemittelt wurden.

Tabelle 5: Kategorien der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» und ihre entsprechenden Codes (BFS, 2019b).

Raum mit städtischem Charakter	
1	Agglomerationskerngemeinde (Kernstadt)
2	Agglomerationskerngemeinde (Hauptkern)
3	Agglomerationskerngemeinde (Nebenkern)
4	Agglomerationsgürtelgemeinde
5	Mehrfach orientierte Gemeinde
6	Kerngemeinde ausserhalb Agglomerationen
0	Ländliche Gemeinde ohne städtischen Charakter

4.2.3 Rangierung der Kantone und Gemeinden

Ziel der Arbeit war es unter anderem, die Grünflächenveränderung der Schweizer Gemeinden und Kantone in einem Ranking darzustellen und zu vergleichen. Dazu wurden zuerst alle Gemeinden dem Mittelwert der Schweiz gegenübergestellt. Für den ausgewählten Zeitabschnitt wurden die schweizweiten Mittelwerte für die Zunahme und die Abnahme berechnet. Danach wurden die Gemeinden in drei Gruppen aufgeteilt (Abbildung 9). Alle Gemeinden mit einer höheren Zunahme als der Schweizer Mittelwert und einer tieferen Abnahme als der Schweizer Mittelwert wurden der ersten Gruppe zugeteilt. Diese Gruppe hat allgemein eine bessere Veränderung erfahren als die Schweiz im

Mittel. Die zweite Gruppe bestand aus allen Gemeinden mit einer kleineren Zunahme und einer grösseren Abnahme als die Mittelwerte der Schweiz. Die Veränderung dieser Gruppe war tendenziell schlechter als der Schweizer Mittelwert. In die übrige Gruppe wurden alle Gemeinden mit einer grösseren Zunahme und grösseren Abnahme bzw. mit einer kleineren Zunahme und einer kleineren Abnahme eingeteilt.

Als nächstes wurde die Distanz zum Schweizer Mittelwert aller Gemeinden der ersten und zweiten Gruppe berechnet (Abbildung 9). Je weiter eine Gemeinde vom Mittelwert der Schweiz entfernt ist, desto stärker war die Veränderung im Vergleich zur gesamten Schweiz. Für die erste Gruppe bedeutete eine grössere Distanz eine positivere Entwicklung. Die Gemeinde mit der grössten Distanz kam im Ranking auf Platz 1. Umgekehrtes galt für die zweite Gruppe. Je grösser die Entfernung zum Mittelwert der Schweiz, desto negativer war die Veränderung. Die Gemeinde aus der zweiten Gruppe, die im Ranking auf Platz 1 liegt, hat sich im Vergleich zum Mittelwert der Schweiz am negativsten verändert. Da sich die Gemeinden in ihrer Flächengrösse, Einwohnerzahl und Charakter sehr unterscheiden, wurden die Ranglisten nach den Kategorien der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» aufgeteilt. So wurden nur ähnliche Gemeinden miteinander verglichen und rangiert.

Das gleiche Vorgehen wurde danach auch bei den Kantonen angewendet. Allerdings wurden dafür zuerst die Kantonsmittelwerte bestimmt, indem von allen Gemeinden pro Kanton der Mittelwert der Abnahme sowie der Mittelwert der Zunahme berechnet wurde. Fürs Ranking wurden alle Kantone einbezogen, unabhängig von ihrem Charakter oder ihrer Grösse.

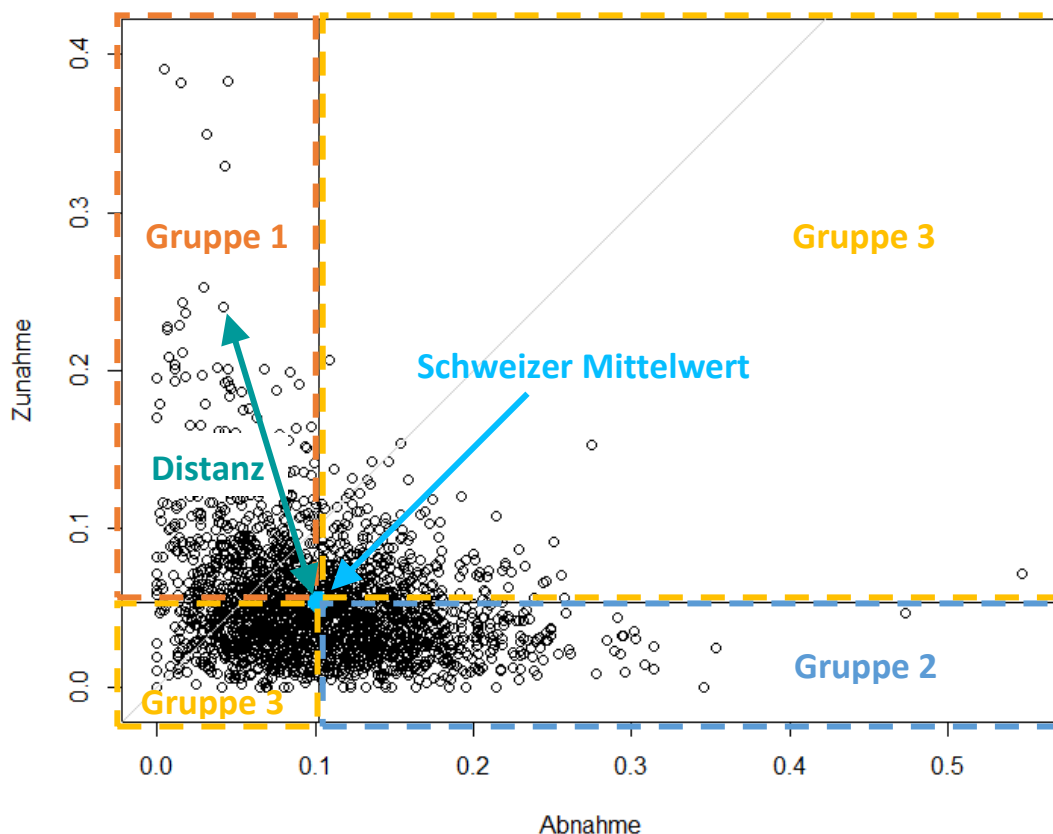


Abbildung 9: Einteilung der Gemeinden in drei Gruppen mithilfe der Abnahme und Zunahme aller Gemeinden im Vergleich zum Schweizer Mittelwert und die Distanz zum Mittelwert am Beispiel der Gemeinden für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19. Die Werte der Achsen sind einheitslos, weil es sich dabei um die Summe der gewichteten Flächenanteile (Kapitel 3.6.1) handelt.

Kantone

Nachdem die Kantone im Kapitel 4.2.2 anhand des Medians verglichen wurden, wurden die Kantone in diesem Kapitel nach ihrer mittleren Grünflächenzunahme und -abnahme rangiert. Berücksichtigt wurden für jeden Kanton alle Gemeinden, die nach der eigenen Siedlungsflächenabgrenzung Siedlungsgebiete aufweisen. Die Auswahl der Gemeinden war unabhängig davon, wie städtisch ein Gebiet ist.

Sieben Kantone hatten für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19 im Mittel eine grössere Grünflächenzunahme und eine kleinere Grünflächenabnahme als der Mittelwert der gesamten Schweiz. Diese sieben Kantone wurden nach ihrer Entfernung zum Schweizer Mittelwert rangiert (Tabelle 6). Diese Distanz sagt aus, wie untypisch der Kanton zum Schweizer Mittelwert ist (wie in Abbildung 9 erklärt). Auf Platz 1 liegt der Kanton Tessin, der deutlich weiter vom Mittelwert entfernt ist als der zweitplatzierte Kanton Obwalden. Auf dem dritten Rang folgt der Kanton Appenzell Innerrhoden mit einer fast gleich grossen Distanz zum Mittelwert wie Obwalden.

Tabelle 6: Rangliste der Kantone mit positiver Entwicklung der Grünflächen im Zeitraum 2007/08 bis 2018/19. Die ausgewählten Kantone haben bezogen auf das schweizerische Mittel eine kleinere mittlere Grünflächenabnahme und eine grössere mittlere Grünflächenzunahme (Gruppe 1). Die Distanz zum Schweizer Mittelwert ist in der Abbildung 9 erklärt.

Rang	Kanton	Distanz zum Schweizer Mittelwert
1	Tessin	0.0710
2	Obwalden	0.0459
3	Appenzell Innerrhoden	0.0430
4	Graubünden	0.0214
5	Genf	0.0199
6	Bern	0.0172
7	Waadt	0.0167

Die 10 Kantone, die sich von 2007/08 bis 2018/19 im Vergleich zum Schweizer Mittelwert negativer entwickelt haben, sind in Tabelle 7 wiedergegeben. Die Grünflächenabnahme dieser Kantone war grösser und die Grünflächenzunahme war kleiner als die Mittelwerte der Schweiz. Die grösste Abweichung vom Schweizer Mittelwert zeigte der Kanton Luzern, gefolgt von den Kantonen Thurgau und Aargau.

Tabelle 7: Rangliste der Kantone mit negativer Entwicklung der Grünflächen im Zeitraum 2007/08 bis 2018/19. Die ausgewählten Kantone haben bezogen auf das schweizerische Mittel eine grössere mittlere Grünflächenabnahme und eine kleinere mittlere Grünflächenzunahme (Gruppe 2). Die Distanz zum Schweizer Mittelwert ist in der Abbildung 9 erklärt.

Rang	Kanton	Distanz zum Schweizer Mittelwert
1	Luzern	0.0596
2	Thurgau	0.0409
3	Aargau	0.0342
4	Freiburg	0.0340
5	Jura	0.0295
6	Schaffhausen	0.0254
7	St. Gallen	0.0154
8	Zürich	0.0129
9	Zug	0.0128
10	Solothurn	0.0073

Gemeinden gruppiert nach «Raum mit städtischem Charakter»:

Die Gemeinden der Schweiz unterscheiden sich teilweise stark in ihrer Einwohnergrösse und der Urbanität. Um diesbezüglich ähnliche Gemeinden zu vergleichen, wurden die Gemeinden für die Rangierung nach der Typologie «Raum mit städtischem Charakter» aufgeteilt. Dieser Abschnitt fokussiert auf die Kategorie «Agglomerationskerngemeinde (Kernstadt)» aus der Typologie. Als Grundlage diente ebenfalls das Abnahme-Zunahme-Diagramm mit allen Schweizer Gemeinden für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19 (Abbildung 10). Dabei wurden die Gemeinden der Gruppe 1, die sich besser als der Schweizer Mittelwert verändert haben und die Gemeinden der Gruppe 2, die sich im Vergleich zum Schweizer Mittelwert negativer entwickelt haben, untersucht.

Von den Kernstädten zählen 15 Gemeinden zur Gruppe, die sich im Vergleich zum Schweizer Mittelwert positiv verändert haben (orange Punkte in Abbildung 10). Davon liegen acht Kernstädte über der Geraden, bei der sich die Abnahme und die Zunahme im gleichen Verhältnis verändert hat. Das bedeutet, in diesen acht Kernstädten hat die Grünfläche stärker zu- als abgenommen. Bei den übrigen sieben Kernstädten war zwar die Abnahme etwas stärker als die Zunahme. Dennoch haben sich diese Gemeinden im Vergleich zum Schweizer Mittelwert besser entwickelt. Allgemein war ihre Abnahme kleiner und die Zunahme grösser als das Mittel der Schweiz.

Die 15 Kernstädte wurden nach ihrer Distanz zum Schweizer Mittelwert rangiert (Tabelle 8). Je grösser die Entfernung, desto positiver wurde die Veränderung erachtet. Locarno weist für diesen Zeitraum die grösste Distanz zum Schweizer Mittel auf und wurde daher als Gemeinde mit der stärksten positiven Veränderung gegenüber dem Schweizer Mittel angesehen. Wie in der Abbildung 10 erkennbar gibt es schweizweit noch Gemeinden mit einer viel höheren Zunahme und geringerer Abnahme. Dabei handelt es sich aber mehrheitlich um kleine Gemeinden mit wenig Siedlungsfläche. Diese sind daher nicht mit den Kernstädten vergleichbar. Die Zunahme, die am gewichteten Flächenanteil der positiven NDVI-Veränderung gemessen wurde, beträgt für Locarno 0.189. Die Abnahme hingegen nur 0.047. Unter den Top 5 sind mit Bellinzona und Lugano noch zwei weitere Tessiner Städte vertreten. Während sich Bellinzona als zweitplatzierte Stadt nahe bei Locarno befindet, ist der Unterschied zu den restlichen Kernstädten relativ gross. So liegen auch Solothurn (3. Platz) und Lugano (4. Platz) viel näher am Mittelwert der Schweiz.

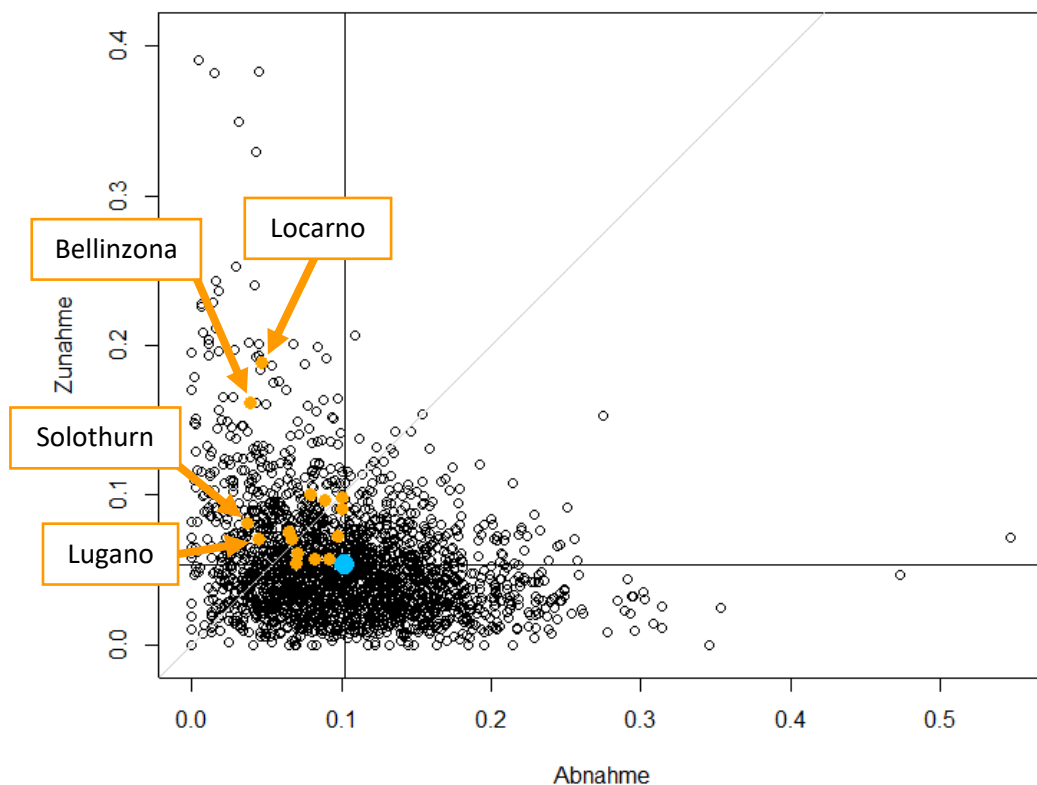


Abbildung 10: Zunahme und Abnahme der Grünflächen in den Siedlungsgebieten aller Gemeinden von 2007/08 bis 2018/19. Gemeinden mit gleich grosser Abnahme und Zunahme befinden sich auf der grauen, diagonalen Linie. Der blaue Punkt stellt den Mittelwert aller Schweizer Gemeinden dar. Die orangen Punkte entsprechen den Kernstädten aus Tabelle 8.

Tabelle 8: Rangliste der Gemeinden aus der Kategorie «Agglomerationskerngemeinde (Kernstadt)» mit kleinerer Grünflächenabnahme und grösserer Grünflächenzunahme als der gesamtschweizerische Mittelwert für den Zeitraum 2007/08 bis 2018/19.

Rang	Gemeinde	Distanz zum Schweizer Mittelwert
1	Locarno	0.1460
2	Bellinzona	0.1248
3	Solothurn	0.0711
4	Lugano	0.0604
5	Interlaken	0.0524
6	Yverdon-les-Bains	0.0447
7	Romanshorn	0.0445
8	Luzern	0.0435
9	Thun	0.0388
10	Kreuzlingen	0.0372
11	Mendrisio	0.0329
12	Lausanne	0.0328
13	Winterthur	0.0211
14	Sierre	0.0197
15	Zug	0.0114

Doch nicht alle Gemeinden aus der Kategorie der Kernstädte liegen für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19 über dem Schweizer Durchschnitt. Anders als die bereits erwähnten Kernstädte entwickelten sich 13 Kernstädte negativer als das Schweizer Mittel. Die 13 Kernstädte lagen bezogen auf die Grünflächenzunahme unter dem Schweizer Mittelwert, hatten aber eine grössere Abnahme. Wie in Abbildung 11 erkennbar ist, liegen die orangenen Punkte, die die Kernstädte darstellen, alle relativ nahe beieinander und es gibt weniger grosse Abweichungen als bei den Kernstädten mit positiver Entwicklung. Verglichen mit allen Gemeinden der Schweiz gibt es noch viele Gemeinden mit einer extremeren Veränderung. In der Tabelle 9 wurden die 13 Kernstädte nach ihrer Abweichung vom gesamtschweizerischen Durchschnitt rangiert. Die grösste Abweichung vom Mittelwert besteht mit 0.069 für Bulle. Dahinter folgt Wohlen (AG) mit einer deutlich kleineren Distanz von 0.053. Die weiteren Distanzen unterscheiden sich teilweise nur sehr gering. Chur und Sion waren in dieser Liste mit je rund 35'000 Einwohnern die grössten Städte. Alle anderen Kernstädte dieser Rangliste sind deutlich kleiner.

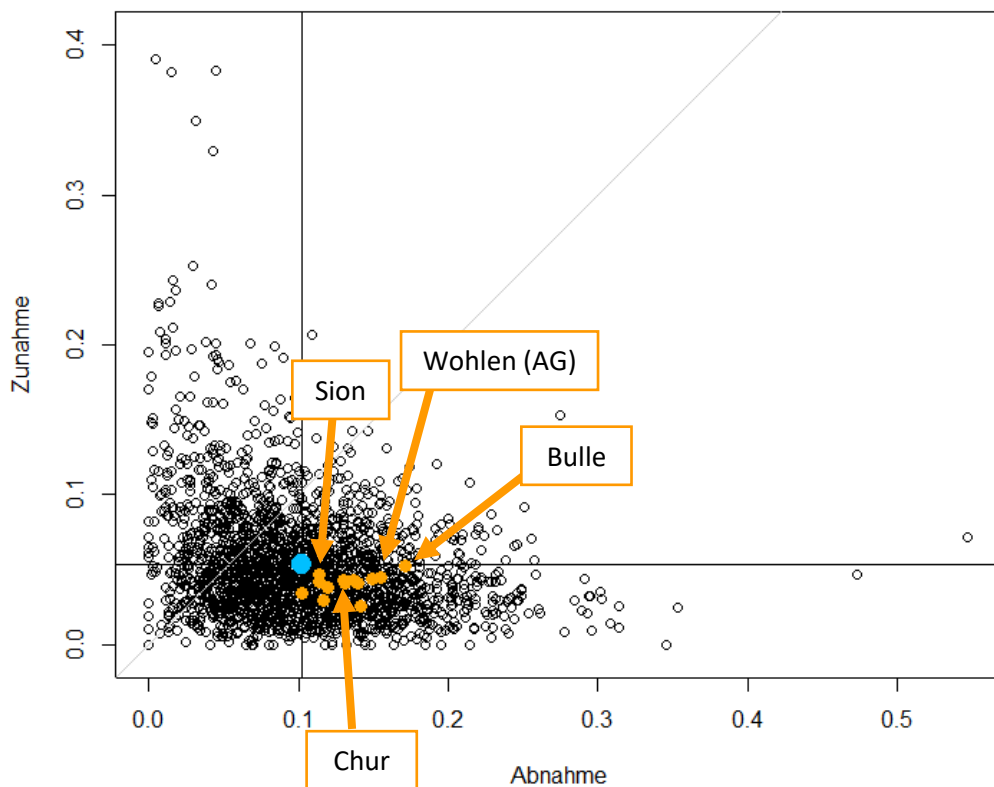


Abbildung 11: Zunahme und Abnahme der Grünflächen in den Siedlungsgebieten aller Gemeinden von 2007/08 bis 2018/19. Gemeinden mit gleich grosser Abnahme und Zunahme befinden sich auf der grauen, diagonalen Linie. Der blaue Punkt stellt den Mittelwert aller Schweizer Gemeinden dar. Die orangenen Punkte entsprechen den Kernstädten aus Tabelle 9.

Tabelle 9: Rangliste der Gemeinden aus der Kategorie «Agglomerationskerngemeinde (Kernstadt)» mit grösserer Grünflächenabnahme und kleinerer Grünflächenzunahme als der gesamtschweizerische Mittelwert für den Zeitraum 2007/08 bis 2018/19

Rang	Gemeinde	Distanz zum Schweizer Mittelwert
1	Bulle	0.0689
2	Wohlen (AG)	0.0533
3	Altstätten	0.0481
4	Lenzburg	0.0474
5	Sirnach	0.0393
6	Arbon	0.0356
7	Frauenfeld	0.0315
8	Chur	0.0299
9	Uzwil	0.0280
10	Wil (SG)	0.0233
11	Brugg	0.0199
12	Glarus Nord	0.0163
13	Sion	0.0135

Die Kernstädte, die im Vergleich zum Schweizer Mittelwert entweder eine kleinere Zu- und Abnahme oder eine grössere Zu- und Abnahme der Grünfläche aufwiesen (Gruppe 3), wurden nicht in eine Rangliste gesetzt. Die Veränderung dieser Städte wird weder positiver noch negativer als der Schweizer Mittelwert bewertet. Viele der grossen Städte der Schweiz fallen in diesen Bereich und sind deshalb nicht in Tabelle 8 oder Tabelle 9 zu finden.

4.3 Veränderungen auf Gemeindeebene

Für eine Gemeinde kann sowohl der Zustand und die Veränderung innerhalb ihres Gemeindegebiets als auch der Vergleich mit der ganzen Schweiz interessant sein. Da das NDVI-Tool so reduziert wurde, dass nur Daten zum Zustand und der Veränderung innerhalb einer ausgewählten Gemeinde berechnet werden, sind für den schweizweiten Vergleich noch zusätzliche Daten nötig. Diese wurden in ein paar weiteren Schritten erzeugt. Damit der Aufwand für eine Gemeinde gering bleibt, wurde der Vergleich mit der restlichen Schweiz nicht ins NDVI-Tool integriert und wird im Folgenden getrennt aufgezeigt.

4.3.1 NDVI-Tool für eine Gemeinde

Das NDVI-Tool sollte es einer Gemeinde ermöglichen, den Ist-Zustand und die Grünflächenveränderung mit möglichst wenig Ressourcenaufwand zu berechnen. Die Berechnungen beziehen sich nur auf die ausgewählte Gemeinde und einen ausgewählten Zeitabschnitt und werden dadurch weniger zeit- und datenintensiv. Die Analyse erfolgte in ArcGIS mithilfe von drei Modellen. Aus den Berechnungen resultierten eine Ist-Zustandskarte, eine Veränderungskarte, sowie Statistiken zur gewählten Gemeinde.

Die Karten sollen der Gemeinde Aufschluss darüber geben, *wo* die Grünflächen in der Gemeinde liegen und *in welchen Gebieten* eine besonders starke *Veränderung* stattfand. So ist beispielsweise auf der Karte der Gemeinde Wil (SG) im Ist-Zustand von 2019 das Stadtzentrum mit wenig grüner Vegetation klar zu erkennen (Abbildung 12). Es weist mehrheitlich Werte der Kategorien 1 und 2 auf, was bedeutet, dass der NDVI zwischen 0 und 0.2 bzw. 0.2 und 0.4 liegt. Auch die bekannten Grünflächen um die Psychiatrie und im Stadtpark Weiherwiese (dunkelblaue Kreise in Abbildung 12) waren mit Werten der Kategorie 4 und 5 deutlich erkennbar. Die Kategorie 4 und 5 bedeuteten, dass der NDVI zwischen 0.6 und 0.8 bzw. 0.8 bis 1 liegt und die Fläche dort sehr grün ist.

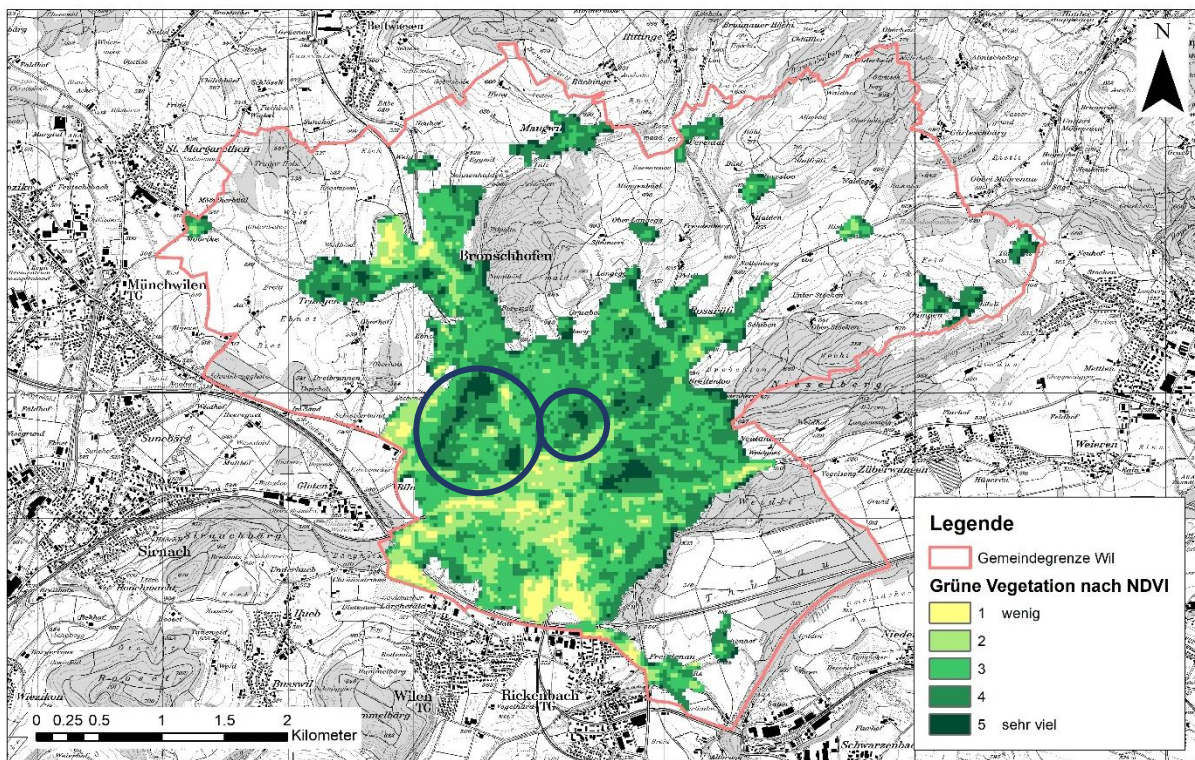


Abbildung 12: Ist-Zustand der grünen Vegetation von Juni bis August 2019 in der Gemeinde Wil (SG) gemessen am NDVI. Diese Karte ist ein Resultat aus den Berechnungen mit dem NDVI-Tool. Dunkelblauer Kreis links: Grünfläche um Psychiatrie. Dunkelblauer Kreis rechts: Stadtpark Weierwiese.

Die Karte der Veränderung von 2007/08 bis 2018/19 der Gemeinde Wil zeigt, auf welchen Flächen sich die Vegetation in dieser Zeit veränderte (Abbildung 13). Während negative Werte (auf der Karte orange) eine Abnahme des NDVI bzw. der Grünheit (der Vegetation) darstellen, zeigen die positiven Werte (blau) eine Zunahme des NDVI bzw. der Grünheit an diesem Ort. Die Veränderung wurde aus der Differenz der Ist-Zustände der zwei gewählten Zeitpunkte berechnet. Die Veränderungen lassen sich aus dem Luftbild meistens gut erklären. So wurden beispielsweise auf der roteingekreisten Fläche in diesem Zeitraum neue Häuser auf einer grünen Wiese gebaut. Auf der Fläche daneben (blauer Kreis) waren zum ersten Zeitpunkt 2007/08 gerade neue Häuser im Bau. Durch die Baustelle war dort das meiste Grün verschwunden. Bis zum Ende des betrachteten Zeitabschnitts in den Jahren 2018/19 waren diese Häuser fertig gestellt und das Umland begrünt worden. Dies ergab eine Zunahme der Grünfläche für den untersuchten Zeitraum. Da die Gemeindeverantwortlichen ihre Gemeinden recht gut kennen, können sie die Veränderungen auch gut verschiedenen Landschaftsveränderungen zuordnen (Wittenwiler, 2020).

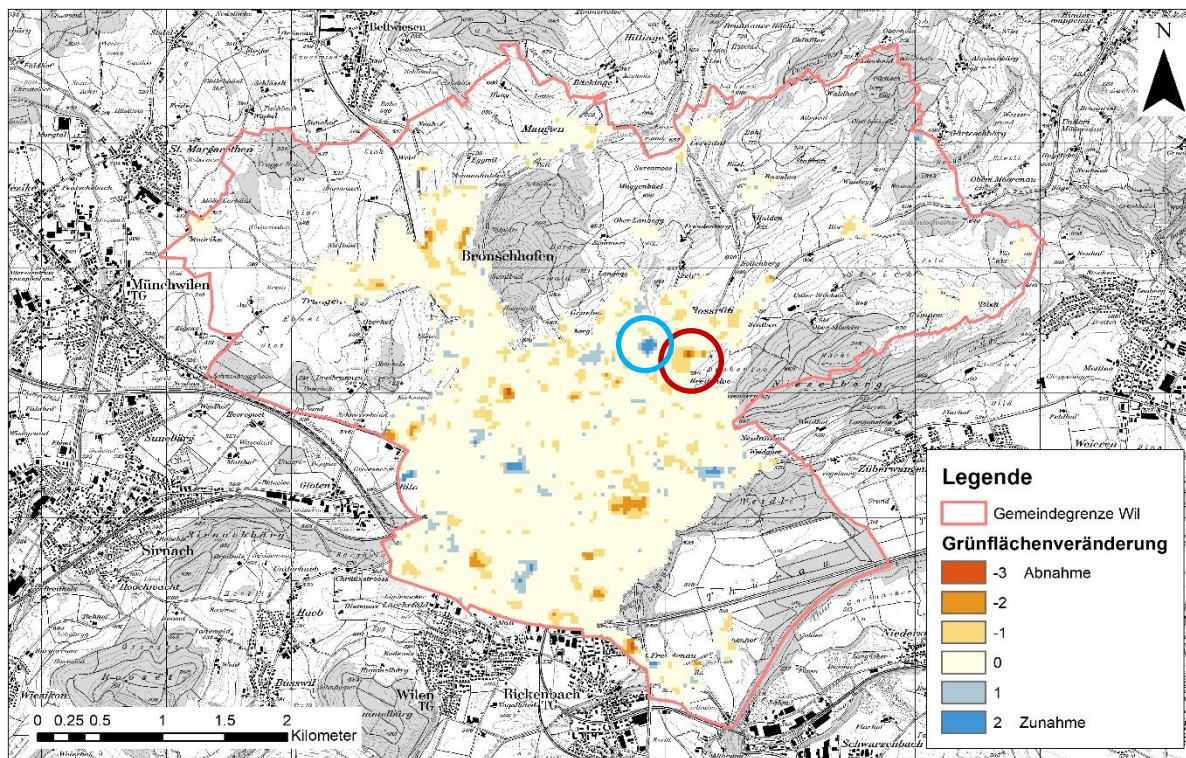


Abbildung 13: Veränderung der Grünflächen in der Gemeinde Wil (SG) von 2007/08 bis 2018/19 berechnet mit dem NDVI-Tool. Der rote Kreis zeigt das Beispiel einer Abnahme, die sich durch den Bau von neuen Häusern in diesem Zeitraum ergab. Im blauen Kreis ist eine Zunahme der Grünfläche aufgrund eines abgeschlossenen Bauprojekts erkennbar.

4.3.2 Veränderung einer Gemeinde im Vergleich zur gesamten Schweiz

Neben der Veränderung innerhalb der Gemeinde kann eine ausgewählte Gemeinde auch mit der ganzen Schweiz verglichen werden. Dazu eignen sich die Abbildung 14 und Abbildung 15. Mit dem Streudiagramm (Abbildung 14) wurden die Abnahme und die Zunahme der Grünflächen mit allen anderen Gemeinden und dem Schweizweiten Mittelwert verglichen. Je grösser die Abnahme und je kleiner die Zunahme der Grünflächen, desto schlechter wurde die Entwicklung der Grünflächen in dieser Gemeinde gewertet.

Ein Beispiel mit der Gemeinde Hochdorf zeigte, dass die Grünflächenzunahme unterhalb des Schweizer Mittelwerts liegt. Die Grünflächenabnahme lag für Hochdorf über dem Schweizer Mittelwert. Somit zählte Hochdorf zu den Gemeinden, die sich in Bezug auf die Ab- und Zunahme der Grünflächen von 2007/08 bis 2018/19 negativ entwickelt haben.

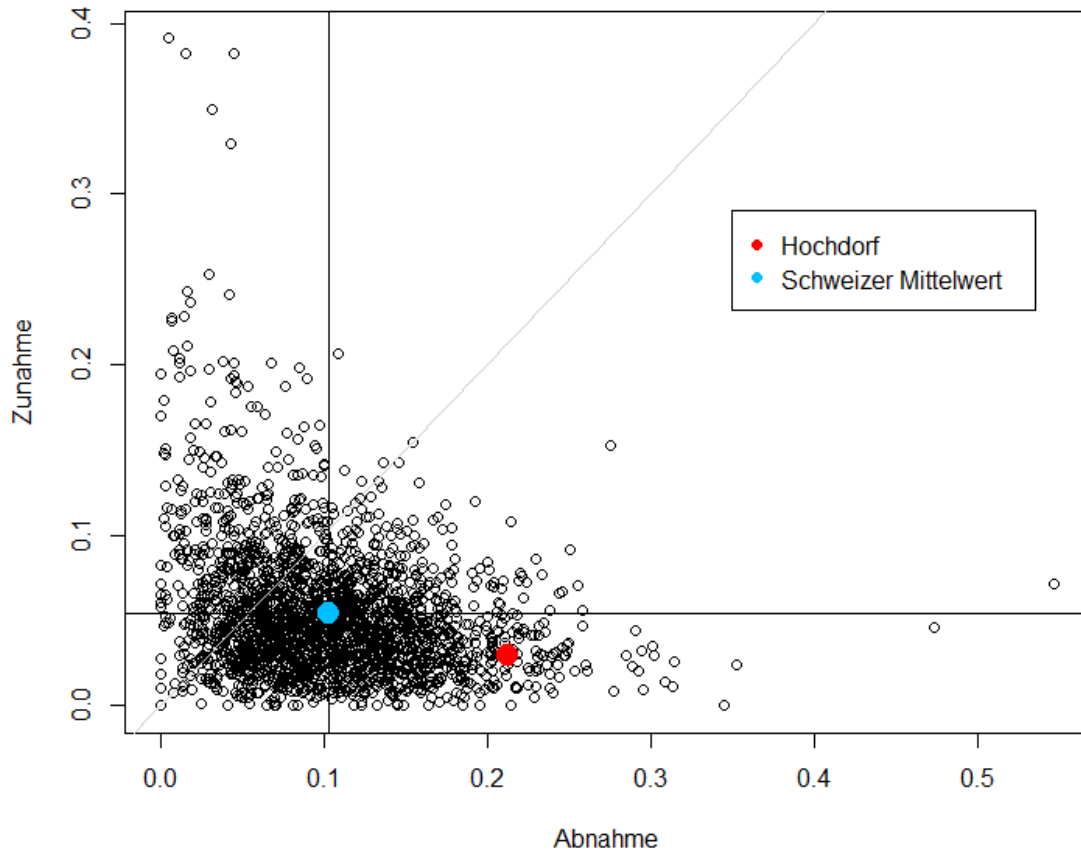


Abbildung 14: Vergleich der Grünflächenveränderung in der Gemeinde Hochdorf (roter Punkt) verglichen mit allen anderen Schweizer Gemeinden für den Zeitraum von 2007/08 bis 2018/19.

Das Histogramm (Abbildung 15) eignete sich zum Vergleich der Mittelwerte der gesamten Veränderung. Es zeigte, wo sich eine ausgewählte Gemeinde im Vergleich mit allen anderen Gemeinden einordnet. Das Beispiel mit der Gemeinde Hochdorf ergab, dass sich die Gemeinde im Mittel zwischen 2007/08 bis 2018/19 stärker negativ entwickelte als die Mehrheit der Schweizer Gemeinden.

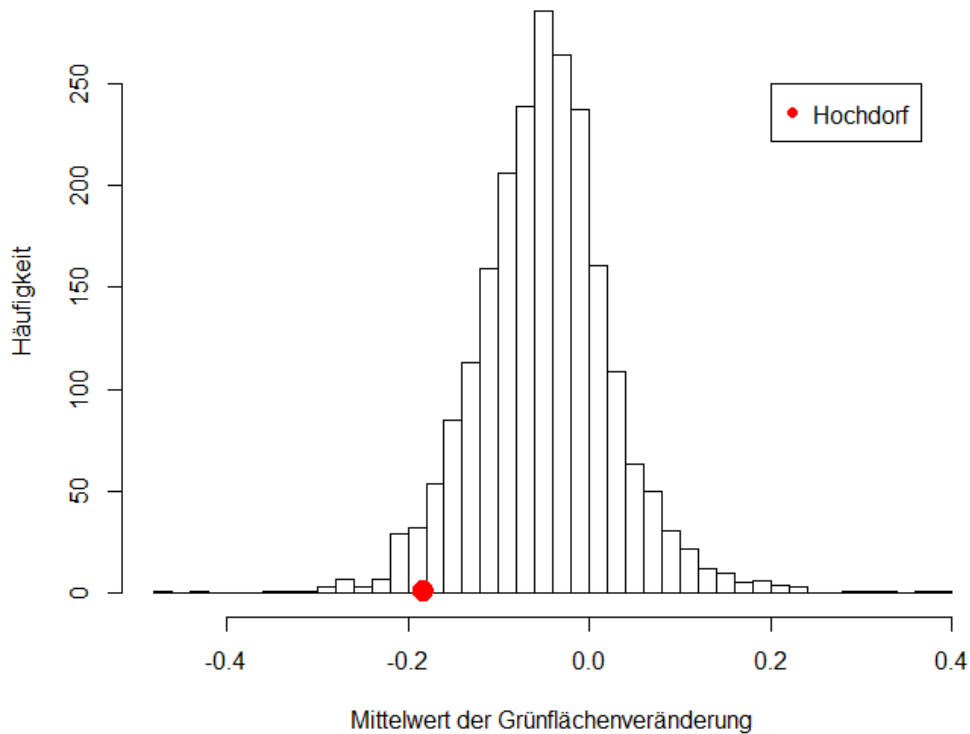


Abbildung 15: Histogramm der Mittelwerte der gesamten Grünflächenveränderung aller Schweizer Gemeinden. Der rote Punkt zeigt den Mittelwert der Gemeinde Hochdorf an.

4.4 Vergleich des NDVIs mit Landsat und Sentinel

Für alle vorherigen Analysen wurden Satellitendaten der Landsat-Satelliten verwendet. Mit den Sentinel-2-Satelliten gibt es seit 2015 auch vergleichbare Satelliten, die grundsätzlich das gleiche messen, jedoch mit einer höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung (vgl. Kapitel 2.2.3). Zur Berechnung der Grünflächenveränderung eigneten sich die Sentinel-Daten nicht, da die Zeitreihe noch zu kurz ist. Für die Kombination mit weiteren Geodaten, wie beispielsweise mit einem Vegetationshöhenmodell, wäre jedoch die höhere räumliche Auflösung vorteilhaft. Daher wurde untersucht, wie sich die Resultate für den Ist-Zustand des letzten Zeitpunkts auf Grund der verschiedenen Datengrundlagen unterscheiden.

Verglichen wurde der berechnete NDVI der ganzen Schweiz für die Zeit von Juni bis August 2019 für beide Satellitenplattformen. In Abbildung 16 wurde die Differenz der beiden NDVI-Datensätze dargestellt. Die Differenz zeigt deutliche Muster. So sind vor allem die Gewässer sehr klar erkennbar. Die Unterschiede im NDVI sind für die Gewässer relativ hoch. Sie hatten mit Landsat tendenziell einen höheren NDVI. Aber auch einzelne Felder unterscheiden sich deutlich. Bei den Feldern sind die NDVI-Unterschiede sowohl positiv als auch negativ, was nicht für eine systematische Unter- bzw. Überschätzung des einen oder anderen Satelliten spricht. Für die Wälder zeigt Landsat tendenziell höhere NDVI-Werte als Sentinel. In den Bergen gibt es teilweise sehr starke positive als auch negative Abweichungen. Diese sind oft durch die Topografie bedingt. In den Siedlungsgebieten waren hingegen kaum Muster der Differenzen zu erkennen.

Diese klaren Differenzen zwischen den Plattformen sind überraschend und entsprechen nicht den Erwartungen, da die beiden Satelliten theoretisch dasselbe messen. Erwartet wurde, dass die Abweichungen minimal und räumlich zufällig angeordnet sind.

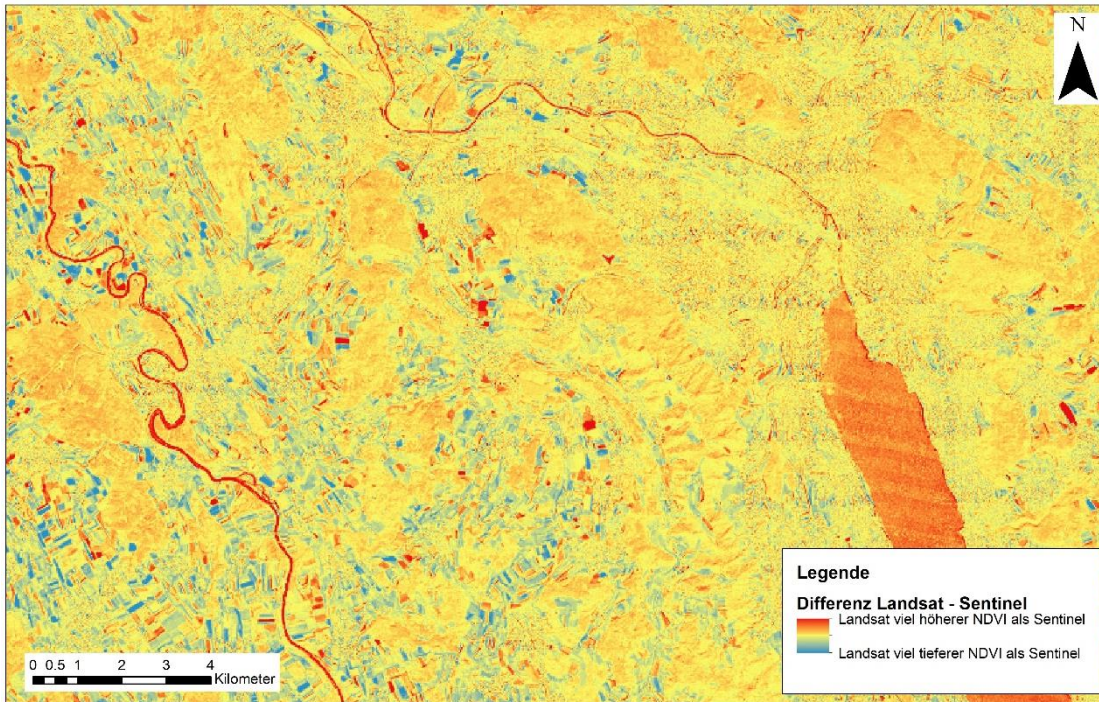


Abbildung 16: Kartenausschnitt der berechneten Differenz der NDVI Daten von Landsat und Sentinel mit einer Auflösung von je 30m. Auf der linken Seite ist die Reuss als eine orangerote Schlangenlinie zu erkennen. Rechts befindet sich der Zürichsee (orangerote Fläche) und die Stadt Zürich am nördlichen Seeufer.

5 Diskussion

5.1 Methoden

Schweizweit hält der Trend an, dass die Grünflächen abnehmen. Sowohl der Schweizer Mittelwert als auch die Mittelwerte vieler Gemeinden fallen negativ aus. Aber meist findet in den Gemeinden neben der Abnahme auch eine gebietsweise Zunahme der Grünfläche statt. Bei der Ausarbeitung der Methode kam dadurch die Frage auf, wie sich die Grünflächenveränderung in den Gemeinden am besten messen und werten lässt. Der Mittelwert zeigt zwar die Bilanz der Veränderung auf, die effektive Veränderung bleibt aber ungewiss. Zwei Gemeinden können sich daher stark unterschiedlich entwickelt haben, aber trotzdem einen gleichen Mittelwert aufweisen. Beispielsweise hat Gemeinde A eine grosse Grünfläche verloren, gleichzeitig aber im gleich grossen Ausmass neue Grünflächen erschaffen. Gemeinde B hat in dieser Zeit weder eine Zu- noch Abnahme der Grünfläche verzeichnet. Ein ähnliches Problem ergab sich beim Verhältnis zwischen Zu- und Abnahme. Auch dieser Indikator eignete sich nur begrenzt für die Rangierung der Gemeinden. Dort kam noch das Problem hinzu, dass Gemeinden ohne Abnahme (z.B. eine kleine Berggemeinde mit sehr wenig Siedlungsfläche) kein berechenbares Verhältnis aufwiesen. Schlussendlich wurde für die Rangierung ein System gewählt, bei dem die Ab- und Zunahme getrennt auf die Wertung Einfluss nehmen. Durch diese Variante können aber nur die Gemeinden, die sich besonders positiv oder besonders negativ entwickelt haben, rangiert werden. Deshalb wurde in dieser Arbeit nicht für alle Teile derselbe Wert als Vergleichsgrundlage gewählt. Einige Teile verwenden trotz der begrenzten Aussagekraft den Mittelwert, was je nach Ziel völlig ausreichend ist. Neben dem Wert, auf dem der Vergleich basiert, hat auch der berücksichtigte Zeitraum einen starken Einfluss. Bei vielen Teilen der Resultate wurde nur auf einen Zeitabschnitt genauer eingegangen. Nicht immer war dies mit Sicherheit der Zeitabschnitt, der am aussagekräftigsten war. Durch die Wahl der Zeitpunkte standen insgesamt 6 verschiedenen Zeitabschnitte zur Verfügung. Dabei waren nicht alle von gleich langer Dauer und überschritten sich teilweise. Dies führte zu einer grossen Anzahl an Vergleichsmöglichkeiten, welche aus zeitlichen Gründen nicht alle berücksichtigt und in dieser Arbeit behandelt werden konnten. Teilweise dienten die Resultate auch hauptsächlich dem Zweck eine Anwendungsmöglichkeit der Methode aufzuzeigen. Für diese Teile spielte die Wahl der Zeitabschnitte eine kleinere Rolle.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methode zur Erhebung der Grünflächen und deren Veränderung bietet einige Vorteile gegenüber anderen Erhebungsmethoden, wie z.B. der Arealstatistik. Durch den NDVI und die zugrundeliegenden Satellitendaten ist eine flächendeckende und gleichzeitige Analyse für die gesamte Schweiz möglich. Anders als bei der Arealstatistik liefern die verschiedenen Satelliten wiederkehrende Bilder in vergleichsweise kurzen Zeitabständen für die ganze Schweiz. Mithilfe von GEE und ArcGIS ist eine schnelle und weniger aufwändige Auswertung der Messdaten für die gesamte Schweiz möglich. Die NDVI-Analyse lässt sich aber nicht komplett mit der Arealstatistik vergleichen. Die Arealstatistik erfasst neben den Grünanlagen noch sehr viele weitere Arten der Bodenbedeckung und -nutzung (BFS, 2017). Mit dem NDVI beschränkt sich die Möglichkeit auf die Vegetation, weshalb der NDVI eine Erhebungsmethode wie die Arealstatistik nicht ersetzen könnte. Zudem werden die Daten der Arealstatistik mit viel Aufwand von Hand verifiziert (BFS, 2017). Wäre dies auch für die NDVI-Analysen nötig, würde auch da ein beachtlich grösserer Zeitaufwand entstehen.

Eine der grössten Schwächen der NDVI-Analyse ist, dass in dieser Arbeit noch nicht zwischen flächenmässiger Veränderung und der Intensitätsveränderung unterschieden wurde. Die hier angewandte Methode wertet eine Zunahme durch eine zusätzliche Grünfläche gleich, wie wenn eine bestehende Fläche durch eine Veränderung der Vegetation grüner wurde, sich in der Ausdehnung aber nicht änderte. Sinnvollerweise würde diese Anpassung als nächster Schritt in Angriff genommen werden, weil dadurch noch detailliertere Aussagen zur Grünflächenveränderung möglich würden. Weiter sollten die Trockenjahre berücksichtigt werden, weil diese sonst die Resultate verfälschen

können, indem die Vegetation durch die Trockenheit weniger grün ist und deswegen einen tieferen NDVI gemessen wird. Ausnahmen bilden hier bewässerte Grünflächen. Besonders heiss und trocken waren die Sommer 2003, 2015 und 2018 (MeteoSchweiz, 2019). Von diesen drei Jahren fiel nur das Jahr 2018 auf einen ausgewählten Zeitpunkt. Durch die Ausdehnung der «Zeitpunkte» auf zwei Jahre, wurde der Einfluss des Trockensommers 2018 reduziert. Trotzdem ist nicht auszuschliessen, dass dadurch die Abnahme der Grünheit leicht überschätzt wurde.

Eine Frage, die offen bleibt, ist der Einfluss der Klimaveränderung auf die Resultate der Grünflächenveränderungen. In der Schweiz ist das Klima regional unterschiedlich, daher hat auch der Klimawandel nicht auf alle Regionen den gleichen Einfluss. Unter anderem steigen die Temperaturen und die Anzahl Hitzetage nimmt zu. Die Klimaveränderung wirkt sich auf mehrere Weisen auch auf die Vegetation aus. Einerseits beeinflusst das Klima die Entwicklung und die Wachstumsphasen der Vegetation, andererseits auch die Artenzusammensetzung (Bundesamt für Umwelt BAFU und MeteoSchweiz, 2013). Zweiteres wird auf Grünflächen in Siedlungsgebieten oftmals stark durch den Menschen beeinflusst. Viele Grünflächen innerhalb der Siedlungen werden intensiv gepflegt. Durch eine passende Artenwahl und eine ausreichende Bewässerung können höhere Temperaturen durchaus einen positiven Effekt auf die Grünflächen haben. Inwiefern sich dieser Einfluss innerhalb der Schweiz unterscheidet, bleibt ungewiss. Daher kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil der erfassten Grünflächen-veränderung nicht durch eine tatsächliche Veränderung ausgelöst wurde. Mit einer klaren Unterscheidung, ob sich die Grünfläche flächenmässig oder in der Intensität der Grünheit verändert hat, könnte der Einfluss des Klimas reduziert werden. Das Klima wirkt sich hauptsächlich auf die Grünheit der vorhandenen Vegetation aus und kaum auf die gemessene Fläche. Trotz dieser Einschränkungen und Optimierungsmöglichkeiten lassen sich mit der Methode aus dieser Arbeit Trends für Gemeinden oder Regionen feststellen und deren Entwicklung verfolgen.

5.2 Resultate

5.2.1 Siedlungsfläche

Die Verifizierung der Siedlungsfläche mit der Arealstatistik 2013/18 zeigte, dass die Siedlungsfläche zu einem grossen Teil übereinstimmt. Die Abweichungen sind auf eine leicht unterschiedliche Definition und Erhebung der Siedlungsfläche zurückzuführen. Mit der eigenen Definition wurden die landwirtschaftlichen Gebäude bewusst ausgeschlossen, damit nicht zu viel der Landwirtschaftsfläche als Grünfläche in den Siedlungsgebieten betrachtet wird. Bei der Arealstatistik zählen die landwirtschaftlichen Gebäudeareale ebenfalls zur Siedlungsfläche. Auch Verkehrsflächen wurden in der eigenen Definition nicht explizit zur Siedlungsfläche hinzugefügt. Daher weichen einzelne Siedlungsstichprobepunkte der Arealstatistik ausserhalb von grösseren Siedlungen häufig von der selbstdefinierten Siedlungsfläche ab.

Die selbst definierte Siedlungsfläche wurde mit einer stark vereinfachten und verallgemeinerten Definition berechnet. Um den Umschwung der Häuser zu berücksichtigen, wurde um alle Gebäude ein Puffer von 30m gelegt. Dies hatte zur Folge, dass vor allem am Rand des Siedlungsgebiet Unterschiede zur Arealstatistik auftraten. Einerseits war dies ein gewollter Unterschied, um auch die Gärten der Häuser zu berücksichtigen. Andererseits wurden dadurch landwirtschaftliche Flächen zum Siedlungsgebiet gezählt, die eigentlich nicht die Funktion oder den Charakter einer Grünfläche im Siedlungsgebiet aufwiesen und so trotzdem einen Einfluss auf die Resultate hatten.

Für die vorgesehenen Analysen war diese Genauigkeit ausreichend, da die Daten an den Verwendungszweck angepasst waren. Mit exakteren Siedlungsflächendaten könnten dennoch Fehler reduziert werden. Besonders für Landwirtschaftsflächen, die direkt an Häuser grenzen, wäre eine genauere Abgrenzung sinnvoll. Vor allem bei weiteren Analysen mit einer höheren räumlichen Auflösung der Satellitendaten wäre eine präzisere Siedlungsfläche vorteilhaft.

5.2.2 Zeitliche Veränderung

Allgemein war die Abnahme der Grünfläche seit 1984 grösser als die Zunahme. Dieses Ergebnis zeigte sich unabhängig vom gewählten Zeitraum. Einen eindeutigen Trend über die Zeit gibt es allerdings nicht. Nachdem sich der erste 11-jährige Zeitabschnitt von 1985/86 bis 1996/97 im Verhältnis am positivsten zeigte, folgte mit dem Zeitabschnitt von 1996/97 bis 2007/08 eine Zeit mit stärkerer Grünflächenabnahme und weniger Zunahme. Der neuste Abschnitt von 2007/08 bis 2018/19 hingegen war wieder leicht positiver, da die Grünflächenabnahme wieder kleiner, die Zunahme ein wenig grösser war. Andere Ergebnisse verzeichnete die Arealstatistik. Die Erholungs- und Grünanlagen hatten laut Arealstatistik innerhalb der Siedlungsfläche von 1985 bis 2009 prozentual zugenommen. Für den Zeitraum von 1985 bis 1997 war die prozentuale Zunahme ein wenig kleiner als für den Zeitabschnitt von 1997 bis 2009 (BFS, 2015). Die Erholungs- und Grünanlagen der Arealstatistik decken sich jedoch nicht komplett mit den Grünflächen, die in dieser Arbeit untersucht wurden. Bei der Arealstatistik war die grösste Veränderung auf Golfplätze zurückzuführen (BFS, 2015). In dieser Arbeit wurden Golfplätze aber nur dann berücksichtigt, wenn sie vollständig innerhalb der Siedlung lagen. Dafür konnten mit der hier vorgestellten Methode auch kleinere grüne Flächen, wie beispielsweise Begrünungen entlang von Strassenrändern einbezogen werden.

Für die zeitliche Veränderung gibt neben der unterschiedlichen Definition noch einige weitere Einflussfaktoren, die für diese Unterschiede verantwortlich sein könnten. Zum einen könnte die Wahl der Siedlungsfläche einen Einfluss auf die zeitliche Veränderung gehabt haben. Die Resultate für alle Zeitpunkte wurden mit der Siedlungsfläche von 2019 berechnet. Seit dem ersten Zeitpunkt 1985/86 hat sich die Siedlungen jedoch ausgedehnt. Zwischen 1985 und 2009 hat sich die Siedlungsfläche um fast 25% vergrössert (BFS, 2015). Daher schliesst die Siedlungsfläche 2019 für die Berechnung von früheren Zeitpunkten sicher auch Gebiete ein, die damals ausserhalb des Siedlungsgebiets lagen. Besonders landwirtschaftliche Flächen können so fälschlicherweise zur Grünflächenveränderung in den Siedlungsgebieten beigetragen haben. Weiter hat auch die Wahl der Zeiträume einen Einfluss. Je länger die Zeitabschnitte werden, desto mehr Veränderungen heben sich gegenseitig auf. Bei sehr kurzen Zeitabschnitten sind dagegen nur wenige und leichtere Veränderungen sichtbar, da sich in kurzer Zeit weniger verändert. Dadurch können andere Faktoren, wie beispielsweise die Witterung, vergleichsweise einen grösseren Einfluss haben.

5.2.3 Vergleich der Gemeindemittelwerte in den Vergleichsgruppen

Durch die unterschiedlichen Raumtypologien des BFS und die verschiedenen Zeitabschnitte stand eine grosse Anzahl an Vergleichsmöglichkeiten zur Verfügung. Die Herausforderung war es, die aussagekräftigsten Typologien und Zeitabschnitte zu finden. Für eine erste Beurteilung der verschiedenen Typologien wurden die Mittelwerte der Gemeinden nach den Typologien gruppiert und mithilfe der Boxplots dargestellt. Nicht bei allen Typologien zeigten sich Unterschiede zwischen den Gruppen. Deshalb wurde nur eine Typologie weiter untersucht. Die Entscheidung fiel auf die Typologie «Raum mit städtischem Charakter», da diese unter anderem zwischen ländlicheren und städtischeren Gemeinden unterscheidet und auch für das Ranking eine interessante Aufteilung liefert. Doch auch die Typologie «Raum mit städtischem Charakter» zeigt weniger starke Unterschiede zwischen den Gruppen als erwartet. Sowohl für den kürzeren Zeitabschnitt von 2007/08 bis 2018/19 und den gesamten Zeitraum von 1985/86 bis 2018/19 lassen sich keine eindeutigen Trends erkennen. Die Hypothese, dass sich die Grünflächenveränderung in ländlichen Gemeinden klar von den urbanen Gemeinden unterscheidet, wurde nicht bestätigt.

Neben der Typologie wurden die Gemeinden auch nach Kanton gruppiert und diese untereinander verglichen. Die teilweise deutlichen Unterschiede zwischen den Kantonen könnten eine Folge von unterschiedlichen Regelungen und Massnahmen in Bezug auf die Grünflächen in den einzelnen Kantonen sein. Die Kantone sind unter anderem bei der Verdichtungsthematik verantwortlich

konkretere Massnahmen zu treffen (Bundesrat, 2017). Dies wirkt sich wiederum auf die Grünflächen im Kanton aus. Ein weiterer Faktor könnte das Klima sein. Wie bereits erwähnt, gibt es in der Schweiz regionale Unterschiede sowohl beim aktuellen Klima als auch bei der Klimaveränderung. Die Klimaveränderung könnte mitverantwortlich sein, dass die Grünflächenveränderung in den Kanton unterschiedlich stark aufgefallen ist. Vor allem beim Kanton Tessin könnte das Klima eine entscheidende Rolle gespielt haben, da sich das Klima vom Tessin wesentlich von der restlichen Schweiz unterscheidet und deshalb möglicherweise anders auf den Klimawandel reagiert.

5.2.4 Ranglisten

Auch für die Rangierung standen sehr viele Vergleichsmöglichkeiten zur Verfügung. Schlussendlich wurde für diese Arbeit die Rangliste mit den Kernstädten der Agglomerationskerngemeinden ausgewählt, da diese die grössten und bekanntesten Schweizer Städte beinhaltet.

Die Schwierigkeit war, die Gemeinden auf eine sinnvolle Art zu rangieren. Da eine Zunahme oder zumindest der Erhalt der Grünflächen erwünscht ist, wurde die Grünflächenzunahme als positive Entwicklung gewertet. Abnahmen der Grünfläche hingegen waren negative Entwicklungen. Um dies in Form einer Rangliste darzustellen, brauchte es ein Vergleichswert. Zur Auswahl standen der Mittelwert der Veränderung, das Verhältnis zwischen Zu- und Abnahme und der Vergleich mit dem Schweizer Mittelwert. Der Mittelwert oder das Verhältnis der Zu- und Abnahme als Richtwert für die Rangliste hätten den Nachteil gehabt, dass nur die Bilanz der Veränderung berücksichtigt würden. Der Entscheid fiel deshalb auf die grafische Variante, die den Schweizer Mittelwert als Referenzpunkt nutzt. Durch diese Variante kann in Bezug auf den Schweizer Mittelwert klar gesagt werden, welche Gemeinden sich besser und welche schlechter entwickelt haben. Es gibt aber auch Gemeinden (Gruppe 3), die sich in einem Bereich befinden, der sich nicht so allgemein der positiven oder negativen Entwicklung zuordnen lässt. Diese müssten mit weiteren Schritten bewertet werden, um in die Rangliste einbezogen zu werden. Daher wurden sie in dieser Arbeit nicht weiter für die Rangierung berücksichtigt. Das ist einerseits schade, da sich in dieser Gruppe auch viele der grossen Schweizer Städte befinden. Andererseits verdeutlicht es die Schwierigkeit, alles nach einer Reihenfolge zu ordnen. Die erstellten Ranglisten fokussieren so auf die Extreme und bleiben übersichtlich und nachvollziehbar.

In der Rangliste der Kernstädte mit positiver Grünflächenentwicklung (Tabelle 8) liegen drei Städte aus dem Tessin auf Platz 1, 2 und 4. Ein Vergleich der Rangliste mit den acht Städten aus der City Statistics (Abbildung 3) vom BFS (2019a) zeigt, dass mit Lugano auch dort eine Tessiner Stadt den grössten Grünflächenanteil aufweist. Sowohl die Stadt Lugano selbst als auch die Agglomeration haben für den Erhebungszeitpunkt 2013/2018 den grössten Grünflächenanteil von rund 67%. Im Gegensatz zu City Statistics zeigt die Rangliste aber nicht den momentanen Grünflächenanteil, sondern die Veränderung an. Da Lugano laut der Rangliste von 2007/08 bis 2018/19 auf Platz 4 eine starke Zunahme und wenig Abnahme zu verzeichnen hatte, deutet dies auf einen hohen Grünflächenanteil zum Zeitpunkt 2018/19 hin. Mit dem Anteil von 67% kann dies bestätigt werden. Der hohe Grünflächenanteil in Lugano stützt auch die Vermutung, dass der Kanton Tessin Grünflächen anders handhabt und deshalb in der Kantonsrangliste auf Platz 1 war.

5.2.5 Veränderungen auf Gemeindeebene

Das NDVI-Tool sollte eine einfache Möglichkeit für die Gemeinden sein, die Daten zur eigenen Grünflächenveränderung selbst zu berechnen. In ArcGIS wurden mithilfe von drei Modellen Berechnungsabläufe entwickelt, die eine Berechnung der Grünflächenveränderung in wenigen Schritten ermöglichen. Allerdings wird trotzdem eine Grundkenntnis von ArcGIS vorausgesetzt, um die Modelle in ArcGIS richtig zu bedienen und die benötigten Datengrundlagen in verlangter Form bereitzustellen. Mit den Datensätzen, die in dieser Arbeit verwendet wurden, können zwar die

Berechnungen für die vordefinierten Zeitabschnitte ohne weitere Anpassungen der Daten durchgeführt werden. Für zukünftige Analysen mit neuen Daten oder für andere Zeitabschnitte müssen die Daten aber wieder neu beschaffen werden und von der Datenstruktur mit den jetzigen Daten übereinstimmen. Für diese Arbeit wurden die Grundlagedaten mit Google Earth Engine vorbereitet. Diese Option steht auch den Gemeinden zur Verfügung und könnte von der Methode dieser Arbeit abgeleitet werden. Es wird jedoch ein weiteres Programm und eine Grundkenntnis davon benötigt.

Ziel des Tools war es, eine kostengünstige Methode für die Gemeinden zu finden, wie sie ihre Grünflächenveränderung verfolgen und analysieren können. Das Resultat zeigt aber, dass das entwickelte Tool doch einige Kosten mit sich bringt. Zum einen ist das die Arbeitszeit, die investiert werden muss, um das Tool zu verstehen und anwenden zu können. Zum andern wird für die jetzige Version das kostenpflichtige Programm ArcGIS vorausgesetzt. Daher ist es zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht für den Einsatz in den Gemeinden geeignet. Um die Kosten zu reduzieren, wäre als nächster Schritt ein Wechsel zu einem vergleichbaren Open-Source-Programm (z.B. QGIS) sinnvoll.

Zusätzlich lässt sich eine Gemeinde auch mit den Mittelwerten der Grünflächenveränderung der anderen Schweizer Gemeinden vergleichen. Dazu sind aber die Daten der ganzen Schweiz nötig, was ein paar zusätzliche Schritte, weitere Programme und eine daten- und zeitintensivere Berechnung mit sich bringt. Daher ist es noch unrealistischer, dass dies von einer Gemeinde selbständig durchgeführt wird. Die Anwendung der Resultate könnte aber durchaus interessant sein, beispielsweise für eine Standortsbestimmung der eigenen Gemeinde. Daher wäre es für diesen Teil sinnvoller, den Gemeinden direkt die Resultate zur Verfügung zu stellen.

Die weiteren Aspekte des NDVI-Tool, auch im Zusammenhang mit den Rückmeldungen der Gemeinden aus der Arbeit von Wittenwiler (2020), werden in Kapitel 6.2 erläutert.

5.2.6 NDVI-Vergleich von Landsat und Sentinel

Da zukünftig mit Sentinel eine höhere räumliche und zeitliche Auflösung für die NDVI-Vergleiche erzielt werden kann, wurden die NDVI-Resultate basierend auf den Landsat-Daten und den Sentinel-Daten verglichen. Im ersten Moment war das Ergebnis überraschend, da es nicht den Erwartungen entsprach. Erwartet wurde, dass sich bei der Differenz ein gleichmässiges Rauschen ohne erkennbare räumliche Klumpungen ergibt und alle Differenzen nahe beim Wert 0 liegen. Stattdessen waren aber Gewässer, Felder und die Topografie gut zu erkennen und auch die Werte der Differenz waren teilweise sehr hoch. Die Differenz war sowohl positiv als auch negativ. Das bedeutet, dass weder Landsat noch Sentinel systematisch höhere Wert zeigte.

Die Daten für die NDVI-Berechnung wurden zwar im selben Zeitraum erhoben. Da Landsat und Sentinel aber nicht den gleichen Aufnahmerhythmus haben, wurden die Aufnahmen nicht zur gleichen Zeit gemacht. So kann es sein, dass zwischen den Aufnahmen von Sentinel und Landsat mehrere Tage vergangen sind. In anderen Studien wie beispielsweise bei den Vergleichen von Mandanici et al. (2016) wurde darauf geachtet, dass die Bilder so zeitgleich wie möglich aufgenommen wurden. Dadurch war es wahrscheinlicher, dass die Atmosphäre und die Beleuchtung bei beiden Aufnahmen vergleichbar waren und keinen grossen Einfluss hatten. Der Zeitunterschied bei den Daten in dieser Arbeit könnte also einen starken Einfluss auf das Ergebnis gehabt haben. Hinzu kommt, dass durch die kürzere Wiederkehrperiode von Sentinel im gleichen Zeitraum mehr Bilder vom gleichen Ort aufgenommen wurden als mit Landsat. Ein weiterer Punkt ist die räumliche Auflösung der Daten. Während Landsat Pixel von 30m auf 30m aufnimmt, sind es bei Sentinel 10m grosse Pixel. Daher war ein Resampling nötig, um die Sentinel-Daten an die Landsat-Daten anzupassen. Laut Mandanici et al. (2016) kann das Resampling zur gleichen Auflösung besonders in heterogenen Regionen einen starken Einfluss haben. Zudem verwenden die beiden Satellitenprogramme nicht die exakt gleichen Messinstrumente. Und

auch die Funktionen, mit denen die Messdaten nachbearbeitet werden, sind unterschiedlich. Folglich können auch die Resultate nicht ganz identisch sein. Bei einem Index, der auf mehreren Kanälen basiert, verstärkten sich die Abweichungen, da sich die Fehler und das Rauschen aufsummieren (Mandanici et al., 2016). Dies trifft beim NDVI zu, da der aus zwei verschiedenen Kanälen berechnet wird. Und bei all den verschiedenen Satellitendatensätzen war es schwierig den Überblick zu behalten, welche Daten schon wie vorbearbeitet und korrigiert wurden. Daher kann es sein, dass die Grundlagedaten von Sentinel und Landsat bereits gewisse Unterschiede mit sich brachten. Möglicherweise würde eine andere Kombination von Sentinel- und Landsat-Datensätzen zu einer besseren Übereinstimmung führen.

Ein Stückweit lassen sich die Unterschiede auch mit der Art der Bodenbedeckung begründen. Offenes Wasser hat eine tiefe Reflektion. Dies führt dazu, dass Fehler und andere Einflüsse bei diesen Messungen stärker ins Gewicht fallen (Mandanici et al., 2016). Das könnte ein Grund sein, weshalb sich die NDVI-Werte bei den Gewässern besonders stark unterscheiden und Landsat tendenziell einen höheren Wert lieferte. Auch auf den Landwirtschaftsflächen kam es teilweise zu sehr starken Unterschieden in beide Richtungen. Manchmal lag Landsat deutlich höher und manchmal Sentinel. Ein Grund dafür könnte die Bewirtschaftung der Felder sein. Durch die unterschiedlichen Zeitpunkte der Aufnahmen veränderten sich die Felder in der Zwischenzeit, indem sie beispielsweise geerntet wurden. In den Siedlungen waren weniger Strukturen zu erkennen. Die Differenzen verteilten sich gleichmässig über das ganze Gebiet und es gab kaum hohe Differenzen. Eine mögliche Erklärung ist, dass sich die Siedlungsgebiete weniger schnell verändern. Einerseits, da die Einwohner ihre Gärten pflegen und bewässern und andererseits, da es in den Siedlungen allgemein weniger grüne Vegetation gibt und alles viel kleinflächiger abläuft. Die Abweichungen in den Bergen lässt sich auf die Topografie zurückführen. Steile Gebiete sind für die Sensoren schwer messbar, da die schattigen Bereiche die Strahlung anders reflektieren als die beleuchteten. Dadurch können stark unterschiedliche Werte für die gleiche Bodenbedeckung gemessen werden (Riaño et al., 2003).

Der Vergleich hat gezeigt, dass die Daten von Sentinel und Landsat nicht einfach kombiniert werden können und die Methode nicht ohne grössere Anpassungen übertragen werden kann. Für einen aussagekräftigeren Vergleich wäre es nötig, sich noch stärker mit den Satellitendaten von Landsat und Sentinel auseinander zu setzen. Mit weiteren Anpassungen wäre aber eine Kombination dieser Daten sicher realistisch. Die Möglichkeit, die Daten der beiden Satellitenprogramme zu kombinieren, war auch ein offizielles Ziel bei deren Entwicklung (USGS, 2020b).

6 Synthese⁴

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse dieser Arbeit und diejenige von Wittenwiler (2020) zusammengeführt. Dazu werden die Anwendung und der Nutzen des fernerkundungsbasierten NDVI-Tools betrachtet, sowie Zusammenhänge zwischen den quantitativen und qualitativen Daten hergestellt.

6.1 Veränderung Grünflächen Schweiz

In der Untersuchung der schweizweiten Grünflächenveränderung hat sich gezeigt, dass im Mittel zu jedem Zeitabschnitt eine Abnahme der grünen Vegetation stattgefunden hat. Für die vier Gemeinden Wettingen, Wil, Uster und Hochdorf wurden ebenfalls die Grünflächenzunahmen und -abnahmen berechnet und rangiert (Tabelle 10)⁵.

Tabelle 10: Rangliste der Gemeinden Wettingen, Wil, Uster und Hochdorf im Zeitraum 2007/08 bis 2018/19.

Rang	Gemeinde	Distanz zum Schweizer Mittelwert
1	Wettingen	0.032 (in Richtung kleinere Grünflächenabnahme)
2	Uster	0.011 (in Richtung grössere Grünflächenabnahme)
3	Wil	0.023 (in Richtung grössere Grünflächenabnahme)
4	Hochdorf	0.113 (in Richtung grössere Grünflächenabnahme)

Aus den Experteninterviews (Wittenwiler, 2020) wurden mögliche Gründe für die ermittelte Rangierung genannt. Die Gemeinde Wettingen hat im Vergleich zu den anderen Gemeinden am besten abgeschnitten. Im Interview wurde genannt, dass die Grünflächen im Siedlungsgebiet wichtig sind, da sich die Gemeinde im Leitbild unter anderem als Grünstadt bezeichnet. Zudem hat sich das Freiraumkonzept seit mehreren Jahren etabliert, was auch zu einer geringen Grünflächenabnahme geführt haben könnte. Es wurde auch genannt, dass in den 1950er – 1960er Jahren aufgrund einer grossen Wachstumsvision viele Zonen für öffentliche Bauten und Anlagen eingeplant wurden, wodurch heute noch viele Flächen als Grünflächen zur Verfügung stehen. Ob nun ein einzelner Punkt oder das Zusammenspiel davon zur positiven Grünflächenveränderung geführt hat, kann aufgrund dieser Untersuchung nicht gesagt werden. Dazu müssten weitere Gemeinden mit einer vorbildlichen Grünflächenveränderung interviewt werden, um deren Erfolgsrezept zu eruieren. Dies könnte dann mit den Massnahmen von Wettingen verglichen werden, um Instrumente mit der besten Wirkung auf Grünflächen zu ermitteln.

Die Gemeinde Hochdorf verzeichnete im Vergleich zu den anderen untersuchten Gemeinden in der qualitativen Arbeit die grösste Grünflächenabnahme und geringste Grünflächenzunahme im Siedlungsgebiet. Dies könnte dadurch erklärt werden, dass die Naherholungsgebiete ausserhalb der Siedlung eine grosse Rolle spielen. Somit geniessen die Grünflächen innerhalb der Siedlung eine kleinere Bedeutung. Es wurde zudem genannt, dass die Freiräume im Siedlungsgebiet bedeutender werden, wenn die Gemeinde grösser wird. Somit kann die Gemeindegrösse einen Einfluss auf den Stellenwert innerhalb der Siedlung haben. Jedoch war zu verzeichnen, dass die mehr als doppelt so grosse Gemeinde Wil (bezüglich Einwohner) auch grossen Wert auf die Naherholungsgebiete ausserhalb der Siedlung legt. Aus dieser Untersuchung kann also nicht ermittelt werden, welche Faktoren für die Bedeutung der Freiflächen ausserhalb der Siedlung verantwortlich sind. Ein anderer

⁴ Die Synthese beinhaltet Resultate beider Masterarbeiten und fasst diese zusammen. Deshalb ist das Kapitel in beiden Arbeiten identisch vorhanden (vgl. Wittenwiler, 2020).

⁵ Die Berechnung dieser Rangliste wurde gemäss Kapitel 4.2.3 durchgeführt.

Grund für die grosse Grünflächenabnahme ist bestimmt das grosse bauliche Wachstum der Gemeinde Hochdorf zwischen 2004 und 2016.

Die untersuchten Gemeinden unterscheiden sich in der Einwohnergrösse, im städtischen Charakter, in der Kantonszugehörigkeit und weiteren Eigenschaften. In der schweizweiten Arbeit wurde ersichtlich, dass Unterschiede in der Grünflächenveränderung zwischen den Gemeinden aber auch Kantonen bestehen. Die Kantone zeigen teilweise deutliche Unterschiede, darum wären weitere Interviews in Gemeinden verschiedener Kantone verbunden mit spezifischeren Fragen zu Regelungen und Anreizen auf kantonaler Ebene spannend. Denkbar wären auch Interviews mit kantonalen Verwaltungen, um festzustellen, ob der Grund bei den kantonalen Gesetzen und Regelungen liegt oder ob dafür andere Einflüsse verantwortlich sind. Der städtische Charakter führte mit der NDVI-Auswertung nicht zu aussagekräftigen Unterschieden. Daher ist es schwierig zu sagen, inwiefern die Unterschiede der interviewten Gemeinden auf ihren Charakter zurückzuführen sind. Interessant wären auch weitere Interviews in den Gemeinden, die in den Ranglisten auf Platz 1 liegen. Diese Gemeinden entsprechen den Extremen, weil sie in positiver oder negativer Weise besonders stark vom Schweizer Mittelwert abweichen. Die genauen Gründe dafür sind aber noch unbekannt.

Als gemeinsame Herausforderung beider Arbeiten hat sich die Grünflächenqualität erwiesen. Der NDVI kann die Pflanzenarten und das Struktureichtum der Vegetation nicht erkennen. Auch die Experten der Gemeinden nannten im Zusammenhang mit der Grünflächenqualität, dass diese schwierig zu kontrollieren und verbindlich festzusetzen ist. Es zeigt sich also, dass die Qualitätsmessung und -kontrolle von Grünflächen knifflig ist. Die Grünflächenqualität ist aber in vielerlei Hinsicht wichtig, wie sich in der Arbeit von Wittenwiler (2020) gezeigt hat. Somit muss auf die Qualität ein besonderes Augenmerk gelegt werden, um diese zu erhalten oder zu fördern.

6.2 NDVI Tool

Das NDVI-Tool könnte aufgrund der Expertenaussagen vor allem in zwei Bereichen angewendet werden. Einerseits könnte es in der Öffentlichkeitsarbeit und der Kommunikation verwendet werden, wobei die Karten dafür stark heruntergebrochen werden müssen. Zudem sollen die Karten intuitiv und einfach verständlich sein. Andererseits besteht die Anwendungsmöglichkeit in der strategischen Planung. Dort ist eine hohe Informationsdichte von Vorteil. Für diese Anwendung muss das Tool nicht heruntergebrochen werden, sondern es kann die Komplexität erhalten. Die Fachpersonen schlüsseln die Karte dann auf und eruieren Trends, Beispiele, Veränderungen, welche sie dann weiter kommunizieren oder als Grundlage für Massnahmen verwenden. Beide Anwendungen sind mithilfe des Tools möglich, aber können nicht in einer Karte kombiniert werden. Es hat sich zudem gezeigt, dass sich dieses Tool mehr als Grundlage für andere Instrumente eignet und weniger als ein eigenständiges Instrument für die Grünflächenplanung.

Es ist anzumerken, dass noch mehrere Herausforderungen bestehen, bis das Tool in den Gemeinden anwendbar ist. Zum einen werden mehrere Programme benötigt, um die Daten zu sammeln, aufzuarbeiten und darzustellen. Dies benötigt Knowhow, welches sich die Gemeinden aneignen müssten. Zum anderen ist nicht jedes Programm kostenfrei, was auch einen finanziellen Aufwand zur Folge hat. Als Möglichkeit bestünde aber, dass die Daten extern verarbeitet und aufbereitet werden, sodass die Gemeinden lediglich eine Abfrage tätigen müssten und anschliessend ihre Resultate erhalten. Dies wiederum fordert ebenfalls einen finanziellen Aufwand. Damit der Aufwand für die Gemeinden verhältnismässig wäre, müssten die Kosten relativ gering sein. Wie schon erwähnt muss bei der Handhabung des NDVI-Tools berücksichtigt werden, dass die Grünflächenqualität nicht dargestellt wird. Baum- und Pflanzenarten werden dadurch nicht ermittelt. Auch ist schwierig zu sagen, wie strukturreich oder hoch die Vegetation auf einer Fläche ist. Ein zusätzliches Modell der Vegetationshöhe könnte dabei helfen.

Je nach Verwendungszweck können für eine Gemeinde unterschiedliche Veränderungszeiträume spannend sein. Der Vorteil des NDVI-Tools ist, dass sie den Zeitabschnitt für die Berechnung selbst wählen könnten. Durch die Vereinfachung des Tools ist zwar die Auswahl momentan auf vier vordefinierte Zeitpunkte beschränkt. Mit ein paar zusätzlichen Schritten wäre eine individuelle Wahl der Zeitpunkte von heute bis ungefähr 35 Jahre zurück umsetzbar. Dadurch kann eine Gemeinde gezielt Zeitpunkte wählen, in denen sie Veränderungen der Grünflächen erwarten, weil sie beispielsweise ihre Ziele oder Massnahmen angepasst haben. Für viele Anwendungen ist der betrachtete Zeitabschnitt entscheidend, was in den Resultaten dieser Arbeit erkennbar wird.

Aus den Interviews hat sich herausgestellt, dass die Erhebung von Grünflächen im Siedlungsgebiet bisher noch nicht mithilfe des NDVI stattgefunden hat. Wenn dieses Tool jedoch weiterentwickelt würde und für die Mitarbeiter von Gemeinden verwendungsfähig gemacht wird, dann könnte es sich in der einen oder anderen Gemeinde etablieren. Als Ergänzung zum NDVI-Tool bestünde die Möglichkeit, die Gemeinden mit dem Schweizer Mittelwert zu vergleichen. Dazu wäre aber der schweizweite Datensatz notwendig, was den Rechen- und Arbeitsaufwand erhöht. Dieser Teil könnte auch unabhängig vom NDVI-Tool entwickelt werden und beispielsweise über eine Abfrage auf einer Webseite für vorgegebene Zeitabschnitte zur Verfügung gestellt werden.

7 Schlussfolgerung

Bei der Untersuchung der Grünflächenveränderungen der Gemeinden nach Kantonen gruppiert, ist der Kanton Tessin besonders positiv aufgefallen. Interessant wäre es, in weiteren Studien die Gründe dafür herauszufinden. Wie bereits in der Diskussion erwähnt, könnten die kantonalen Vorgaben, sowie das Klima je nach Region den Unterschied bewirkt haben. Ob diese Vermutungen zutreffen, konnte in dieser Arbeit nicht genau belegt werden und wäre ein spannender Punkt für weitere Projekte.

Die Methode zu Grünflächenveränderung für die ganze Schweiz basierte auf dem gleichen Vorgehen wie für das NDVI-Tool. Daher gelten die folgenden Ideen zur Optimierung und Weiterentwicklung der Methode für beide Analysen. Als erster Schritt wäre die Unterscheidung von flächenmässiger Veränderung oder Veränderung der Vegetationsintensität wichtig. Weiter wäre es interessant, noch stärker auf die räumlichen Muster der Grünflächenveränderung einzugehen und dort mögliche Trends zu finden. Auch der Zusammenhang der Grünflächenentwicklung und der Entwicklung der Einwohnerzahlen einer Gemeinde könnte zu interessanten Ergebnissen führen.

Das NDVI-Tool könnte von den Gemeinden zur Berechnung von Grünflächenveränderung verwendet werden. Es zeigt aber noch deutliches Verbesserungspotenzial. Die befragten Gemeinden waren mehrheitlich interessiert, da es einerseits in der Planung und andererseits in der Kommunikation angewendet werden kann. Jedoch sind zurzeit sowohl die Berechnung als auch die Interpretation der Daten noch zu aufwändig, als dass es zu diesem Zeitpunkt von den Gemeinden schon verwendet werden könnte. Der aktuelle Aufwand für eine Gemeinde wäre dem Nutzen gegenüber nicht verhältnismässig. Eine solche Anwendung hat dennoch Potenzial. Das zeigt die Tatsache, dass in Deutschland das Bundesinstitut für Bau- Stadt- und Raumforschung BBSR (2020) ebenfalls an der Entwicklung einer ähnlichen Applikation ist. Das NDVI-Tool könnte somit mit weiterer Entwicklung und Vereinfachung zukünftig in der Gemeindeplanung Anklang finden.

Um die vielfach erwähnten Qualität der Grünflächen zu berücksichtigen, kam die Idee auf, die NDVI-Resultate mit einem Vegetationshöhenmodell zu kombinieren. Dadurch könnten der Analyse auch noch Aussagen zum Struktureichtum hinzugefügt werden. Aus Zeitgründen war es nicht mehr möglich, diese Idee in dieser Arbeit umzusetzen. Dazu kommt, dass sich das hochaufgelöste Vegetationshöhenmodell besser mit den detaillieren Sentinel-Daten kombinieren lässt. Diese Daten stehen aber erst für die letzten Jahre zur Verfügung. Daher reicht eine Analyse mit Berücksichtigung des Struktureichtums aufgrund der jungen Satellitendaten zu wenig in die Vergangenheit zurück, um in dieser Arbeit Aussagen zur Veränderung zu machen. Es würde sich aber für zukünftige Grünflächenanalysen zu einem späteren Zeitpunkt anbieten.

Danksagung

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mich während dieser Arbeit unterstützt haben. Ganz besonderen Dank an Felix Kienast für die gute Betreuung und die vielen Ideen und Anregungen, die diese Arbeit vorangebracht haben.

Ebenso gilt mein Dank Achilleas Psomas für die Unterstützung bei der Arbeit mit Google Earth Engine und das Zurverfügungstellen der GEE-Scripts. Weiter bedanke ich mich bei Christian Ginzler, dass er die Arbeit als Koreferent bewerten wird. Danke auch an die Gruppe Landnutzungssysteme der WSL für die kritischen Fragen und Anregungen bei der Präsentation, sowie das Interesse und die Ideen bei einzelnen Gesprächen.

Besonders möchte ich mich auch bei Corina Wittenwiler für die gute Zusammenarbeit bedanken. Durch die vielen gemeinsamen Besprechungen sind immer wieder neue Ideen und Verbesserungsmöglichkeiten aufgetaucht und haben einen grossen Teil zum Endergebnis dieser Arbeit beigetragen. Merci!

Zudem möchte ich mich herzlich bei Evelyn Terzer fürs Korrekturlesen bedanken.

Und Danke an meine Freunde und Familie, die mich während dieser Zeit unterstützt haben.

Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2019). *swissTLM3D Version 1.7. Nachführungsinformation Ausgabe 2019*.
- Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (2019). *Klimareport 2018*. Zürich
- Bundesamt für Statistik BFS (2014). *Raum mit städtischem Charakter 2012. Erläuterungsbericht*. (1474-1200). Neuchâtel
- Bundesamt für Statistik BFS (2015). *Die Bodennutzung in der Schweiz. Auswertungen und Analysen*. (002-0905). Neuchâtel
- Bundesamt für Statistik BFS (2017). *Arealstatistik nach Nomenklatur 2004 - Standard. GEOSTAT-Datenbeschreibung*.
- Bundesamt für Statistik BFS. (2019a). City Statistics: Bodennutzung. Abgerufen am 22.03.2020 von https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/city-statistics/indikatoren/bodennutzung.html#d_finitions__content_bfs_de_home_statistiken_q_uerschnittsthemen_city-statistics_indikatoren_bodennutzung_jcr_content_par_tabs
- Bundesamt für Statistik BFS. (2019b). *Statistik Schweiz. Historisiertes Gemeindeverzeichnis der Schweiz. Abfragetool. Raumgliederungen*.
- Bundesamt für Umwelt BAFU und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz (2013). *Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 1308*. Bern
- Bundesgesetz über die Raumplanung RPG vom 01. Januar 2019 (SR 700).
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung BBSR. (2020). Abgerufen am 22.03.2020 von <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ReFo/Staedtebau/2019/gruenmonitoring/01-start.html?nn=2148856>
- Bundesrat (2017). *Verdichtetes Bauen in Ortszentren fördern, aber wie? Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats von Graffenried 14.3806 vom 24. September 2014*. Bern
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F. & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- European Environment Agency EEA (2017a). *Indicators for urban green infrastructure*.
- European Environment Agency EEA. (2017b). Interactive Map. Abgerufen am 22.03.2020 von <https://eea.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=42bf8cc04ebd49908534efd4e04c4eec8%20&embed=true>
- European Space Agency ESA (2015). *Sentinel-2 User Handbook*. Retrieved from https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook
- European Space Agency ESA. (2020). Earth Online. Sentinel-2. Mission Details. Abgerufen am 02.03.2020 von <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-2>
- Gloor, S., Bontadina, F., Moretti, M., Sattler, T. & Home, R. (2010). BiodiverCity: Biodiversität im Siedlungsraum. Zusammenfassung. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU.
- Howald, M. (2016). Chance Verdichtung: durch Baukultur zur qualitätvollen Innenentwicklung. *NIKE-Bulletin*, 31, 6.
- Kaiser, N., Rudolf, S., Berli, J., Hersperger, A., Kienast, F. & Schulz, T. (2016). *Raumplanung in den Schweizer Gemeinden - Ergebnisse einer Umfrage* (Vol. 42). Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Kröger, K. & Müller, A. (2016). Verdichtung nach Innen: die Bedeutung von Frei- und Grünflächen in gewachsenen Siedlungskernen. *NIKE-Bulletin*, 31, 6.
- Mandanici, E. & Bitelli, G. (2016). Preliminary Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 Imagery for a Combined Use. *Remote Sensing*, 8(12), 10. doi:10.3390/rs8121014
- National Aeronautics and Space Administration NASA. (2020a, 19.02.2020). Landsat Science. A Landsat Timeline. Abgerufen am 25.02.2020 von <https://landsat.gsfc.nasa.gov/a-landsat-timeline/>

- National Aeronautics and Space Administration NASA. (2020b, 26.02.2020). Landsat Science. Landsat 5. Abgerufen am 02.03.2020 von <https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-5/>
- Obrist, M. K., Sattler, T., Home, R., Gloor, S., Bontadina, F., Nobis, M., Braaker, S., Duelli, P., Bauer, N., Della Bruna, P., Hunziker, M. & Moretti, M. (2012). Biodiversität in der Stadt – für Mensch und Natur. *Merckblatt für die Praxis*, 48.
- Otaru, O. (2015). *Städtische Parkanlagen im Wandel*. (Master Thesis), Universität Zürich, Zürich.
- Pettorelli, N. (2013). *The normalized difference vegetation index*. Oxford: Oxford University Press.
- Pettorelli, N. (2019). *Satellite remote sensing and the management of natural resources* (First edition ed.). Oxford, United Kingdom: Oxford University Press.
- Riaño, D., Chuvieco, E., Salas, J. & Aguado, I. (2003). Assessment of different topographic corrections in Landsat-TM data for mapping vegetation types. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, 41, 1056 -1061.
- Rouse, J. W., Jr., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). *Monitoring Vegetation Systems in the great Plains with ERTS*. Paper presented at the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Washington, DC.
- U.S. Geological Survey USGS. (2016). *Landsat—Earth observation satellites* (2015-3081). Retrieved from Reston, VA: <http://pubs.er.usgs.gov/publication/fs20153081>
- U.S. Geological Survey USGS (2019). *Landsat Collection 1 Level 1 Product Definition. Version 2.0.* (LSDS-1656). Retrieved from https://prd-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1656_%20Landsat_Collection1_L1_Product_Definition-v2.pdf
- U.S. Geological Survey USGS. (2020a). Landsat Science Products. Landsat Surface Reflectance. Abgerufen am 06.03.2020 von https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-surface-reflectance?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con
- U.S. Geological Survey USGS. (2020b). USGS EROS Archive. Sentinel-2. Comparison of Sentinel-2 and Landsat. Abgerufen am 20.03.2020 von https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2-comparison-sentinel-2-and-landsat?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Williams, D. L., Goward, S. & Arvidson, T. (2006). Landsat. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(10), 1171-1178. doi:10.14358/PERS.72.10.1171
- Wittenwiler, C. (2020). *Grünflächenveränderungen in Siedlungsgebieten der Schweiz: Einflussfaktoren und Instrumente zur Grünflächenplanung in vier Fallbeispielen*. (Masterarbeit), Eidgenössisch Technische Hochschule Zürich (ETH), Zürich.
- Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E. & Tucker, C. J., III. (2015). *Use of the normalized difference vegetation index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales current status, future trends, and practical considerations*. In *SpringerBriefs in Environmental Science* (pp. 1 Online-Ressource). Retrieved from http://sfx.ethz.ch/sfx_locator?sid=ALEPH:EBI01&genre=book&isbn=9783319241128 doi:10.1007/978-3-319-24112-8

Anhang

A. Skripts aus Google Earth Engine

Mit den folgenden Skripten wurde der NDVI in Google Earth Engine für verschiedene Zeitpunkte und mit Landsat und Sentinel-2 berechnet. Die Skripts wurden von Achilleas Psomas zur Verfügung gestellt und im Rahmen dieser Arbeit entsprechend angepasst.

Skript zur Berechnung des NDVIs mit Landsat für alle vier Zeitpunkte (je über zwei Jahre gemessen):

```
// LOAD REQUIRED FUNCTIONS
var palettes = require('users/gena/packages:palettes');
// -----
// Study Area Define
var switzerland = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017").filterMetadata('country_co','contains','SZ'); // Country border
polygons of high accuracy
var study_area = switzerland;
// -----
// Visualization parameters for NDVI
var palette_ndvi = [ 'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718',
                    '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201',
                    '004C00', '023B01', '012E01', '011D01', '011301'];
var palette_ndvi_dif = palettes.cb.RdYIGn[10];
// -----
// LANDSAT-578 ANALYSES
// -----
var lst_clds = require('users/gee_rs_wsl/Temp:L4578_Clouds');
var get_landsat = function(year_start,year_end,doy_start,doy_stop){

// BASE PERIOD Landsat 5 TOA reflectance data.
var L5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year_start,year_end,'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(doy_start,doy_stop,'day_of_year'))
    .filterBounds(study_area)
    // .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 30)
    .map(lst_clds.cloudMaskL457)

// BASE PERIOD Landsat 7 TOA reflectance data.
var L7 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C01/T1_SR')
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year_start,year_end,'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(doy_start,doy_stop,'day_of_year'))
    .filterBounds(study_area)
    // .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 30)
    .map(lst_clds.cloudMaskL457)

// BASE PERIOD Landsat 8 TOA reflectance data.
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year_start,year_end,'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(doy_start,doy_stop,'day_of_year'))
    .filterBounds(study_area)
    // .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 30)
    .map(lst_clds.maskL8sr)
/*
// Merge the three collections.
if (LT_578){
    var L578 = L5.merge(L7.merge(L8));
} else {
    var L578 = L7.merge(L8);
}
*/
var L578 = L5.merge(L7.merge(L8))
print(L578.size(), "L578.size");
return L578
}

var period_1_L578 = get_landsat(1985,1986,152,243);
var period_2_L578 = get_landsat(1996,1997,152,243);
```

```

var period_3_L578 = get Landsat(2007,2008,152,243);
var period_4_L578 = get Landsat(2018,2019,152,243);
print(period_3_L578.first(),"period_3_L578");

var ndvi_1985_86 = period_1_L578.median().select("NDVI").clip(study_area);
var ndvi_1996_97 = period_2_L578.median().select("NDVI").clip(study_area);
var ndvi_2007_08 = period_3_L578.median().select("NDVI").clip(study_area);
var ndvi_2018_19 = period_4_L578.median().select("NDVI").clip(study_area);
Map.centerObject(study_area);

Map.addLayer(period_1_L578.median().clip(study_area),{bands:['B3', 'B2', 'B1'], min:0, max:1300}, "RGB 1984/85");
Map.addLayer(period_2_L578.median().clip(study_area),{bands:['B3', 'B2', 'B1'], min:0, max:1300}, "RGB 1995/96");
Map.addLayer(period_3_L578.median().clip(study_area),{bands:['B3', 'B2', 'B1'], min:0, max:1300}, "RGB 2006/07");
Map.addLayer(period_4_L578.median().clip(study_area),{bands:['B3', 'B2', 'B1'], min:0, max:1300}, "RGB 2017/18");

Map.addLayer(ndvi_1985_86,{min:-2000, max:10000,palette:palette_ndvi},"NDVI 1985/86");
Map.addLayer(ndvi_1996_97,{min:-2000, max:10000,palette:palette_ndvi},"NDVI 1996/97");
Map.addLayer(ndvi_2007_08,{min:-2000, max:10000,palette:palette_ndvi},"NDVI 2007/08");
Map.addLayer(ndvi_2018_19,{min:-2000, max:10000,palette:palette_ndvi},"NDVI 2018/19");

// SPATIAL DATA EXPORT
Export.image.toDrive({image: ndvi_1985_86,
scale:30,
description:'NDVI_1985_86',
maxPixels: 1e12,
region: study_area,
crs: "EPSG:2056"
});

// SPATIAL DATA EXPORT
Export.image.toDrive({image: ndvi_1996_97,
scale:30,
description:'NDVI_1996_97',
maxPixels: 1e12,
region: study_area,
crs: "EPSG:2056"
});

// SPATIAL DATA EXPORT
Export.image.toDrive({image: ndvi_2007_08,
scale:30,
description:'NDVI_2007_08',
maxPixels: 1e12,
region: study_area,
crs: "EPSG:2056"
});

// SPATIAL DATA EXPORT
Export.image.toDrive({image: ndvi_2018_19,
scale:30,
description:'NDVI_2018_19',
maxPixels: 1e12,
region: study_area,
crs: "EPSG:2056"
});

```

Maske für Landsat-Daten, um wolkenfreie Bilder zu wählen (inkl. Berechnung des NDVIs):

```
// This example demonstrates the use of the pixel QA band to mask
// clouds in surface reflectance (SR) data. It is suitable
// for use with any of the Landsat SR datasets.

// This example demonstrates the use of the Landsat 4, 5 or 7
// surface reflectance QA band to mask clouds.

exports.cloudMaskL457 = function(image) {
  var qa = image.select('pixel_qa');
  // If the cloud bit (5) is set and the cloud confidence (7) is high
  // or the cloud shadow bit is set (3), then it's a bad pixel.
  var cloud = qa.bitwiseAnd(1 << 5)
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 7))
    .or(qa.bitwiseAnd(1 << 3))
  // Remove edge pixels that don't occur in all bands
  var mask2 = image.mask().reduce(ee.Reducer.min());

  // Calculate NDVI
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B4', 'B3']).multiply(10000).rename('NDVI').int16();
  // Calculate NDWI
  var ndwi = image.normalizedDifference(['B4', 'B5']).multiply(10000).rename('NDWI').int16();
  var image_final = image.select("B[1-7]");
  return image_final.addBands(ndvi).addBands(ndwi).updateMask(cloud.not()).updateMask(mask2);
};

// Function to cloud mask from the pixel_qa band of Landsat 8 SR data.
exports.maskL8sr = function(image) {
  // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
  var cloudShadowBitMask = 1 << 3;
  var cloudsBitMask = 1 << 5;

  // Get the pixel QA band.
  var qa = image.select('pixel_qa');

  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));

  // Calculate NDVI
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B5', 'B4']).multiply(10000).rename('NDVI').int16();
  // Calculate NDWI
  var ndwi = image.normalizedDifference(['B5', 'B6']).multiply(10000).rename('NDWI').int16();
  var image_final = image.select("B[1-7]");

  // Return the masked image, scaled to reflectance, without the QA bands.
  return image_final.addBands(ndvi).addBands(ndwi).updateMask(mask)
    .copyProperties(image, ["system:time_start"]);
}
```

Skript zur Berechnung des NDVIs mit Landsat für den Sommer 2019 (für den Vergleich mit Sentinel):

```
// -----
// LOAD REQUIRED FUNCTIONS
var palettes = require('users/gena/packages/palettes');

// -----
// Study Area Define
var switzerland = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017").filterMetadata('country_co','contains','SZ'); // Country border
polygons of high accuracy
var study_area = switzerland;
```

```

// -----
// Visualization parameters for NDVI
var palette_ndvi = [ 'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718',
                    '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201',
                    '004C00', '023B01', '012E01', '011D01', '011301'];
var palette_ndvi_dif = palettes.cb.RdYlGn[10];

// -----
// LANDSAT-578 ANALYSES
// -----
var lst_clds = require('users/gee_rs_wsl/Temp:L4578_Clouds');
var get_landsat = function(year_start,year_end,doy_start,doy_stop){

// BASE PERIOD Landsat 5 TOA reflectance data.
var L5 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T1_SR')
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year_start,year_end,'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(doy_start,doy_stop,'day_of_year'))
    .filterBounds(study_area)
    // .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 30)
    .map(lst_clds.cloudMaskL457)

// BASE PERIOD Landsat 7 TOA reflectance data.
var L7 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LE07/C01/T1_SR')
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year_start,year_end,'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(doy_start,doy_stop,'day_of_year'))
    .filterBounds(study_area)
    // .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 30)
    .map(lst_clds.cloudMaskL457)

// BASE PERIOD Landsat 8 TOA reflectance data.
var L8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
    .filter(ee.Filter.calendarRange(year_start,year_end,'year'))
    .filter(ee.Filter.calendarRange(doy_start,doy_stop,'day_of_year'))
    .filterBounds(study_area)
    // .filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 30)
    .map(lst_clds.maskL8sr)
/*
// Merge the three collections.
if (LT_578){
    var L578 = L5.merge(L7.merge(L8));
} else {
    var L578 = L7.merge(L8);
}
*/
var L578 = L5.merge(L7.merge(L8))
print(L578.size(), "L578.size");
return L578
}

var period_1_L578 = get_landsat(2019,2019,153,244);
print(period_1_L578.first(),"period_1_L578");
var ndvi_2019 = period_1_L578.median().select("NDVI").clip(study_area);

Map.centerObject(study_area);
Map.addLayer(ndvi_2019,{min:-2000, max:10000,palette:palette_ndvi},"NDVI 2019");

// SPATIAL DATA EXPORT
Export.image.toDrive({image: ndvi_2019,
scale:30,
description:'NDVI_2019',
maxPixels: 1e12,
region: study_area,
crs: "EPSG:2056"
});

```

Skript zur Berechnung des NDVIs mit Sentinel-2 für den Sommer 2019 (für den Vergleich mit Landsat):

```
// LOAD REQUIRED FUNCTIONS
var palettes = require('users/gena/packages/palettes')
var functions = require('users/gee_rs_wsl/Temp/functions');
var palette_ndvi = [ 'FFFFFF', 'CE7E45', 'DF923D', 'F1B555', 'FCD163', '99B718',
                    '74A901', '66A000', '529400', '3E8601', '207401', '056201',
                    '004C00', '023B01', '012E01', '011D01', '011301'];

// Study Area Define
var switzerland = ee.FeatureCollection("USDOS/LSIB_SIMPLE/2017").filterMetadata('country_co','contains','SZ'); // Country border
polygons of high accuracy
var study_area = switzerland;
// Cut edges from the tiles to avoid overlap
function cutoverlap(image) { return image.clip(image.translate(-9770.0, -9770).geometry()); }
// Function to remove clouds, calculate NDWI, NDVI and the edges from the S2 data
function maskS2clouds(image) {
  var qa = image.select('QA60');
  // Bits 10 and 11 are clouds and cirrus, respectively.
  var cloudBitMask = Math.pow(2, 10);
  var cirrusBitMask = Math.pow(2, 11);
  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).and(
    qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0)).rename('mask');
  // Calculate NDVI
  // var ndvi = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']).multiply(10000).rename('NDVI');
  var ndvi = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']).multiply(10000).rename('NDVI').toInt16();

  // Return the masked and scaled data.
  var image_temp = image.addBands(mask).addBands(ndvi);
  // .addBands(ndwi);
  return image_temp.updateMask(mask).copyProperties(image);
}
// BASE PERIOD. Load Sentinel-2 TOA reflectance data.
var s2_19x = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
  .filter(ee.Filter.calendarRange(2019,2019,'year'))
  // .filter(ee.Filter.calendarRange(195,227,'day_of_year'))
  .filter(ee.Filter.calendarRange(153,244,'day_of_year'))
  // .filter(ee.Filter.calendarRange(7,7,'month'))
  .filterMetadata('CLOUD_COVERAGE_ASSESSMENT', 'less_than', 30)
  .filterBounds(study_area)
  // .filterMetadata('MGRS_TILE', 'equals', "32TMT")
  .map(cutoverlap)
  .map(maskS2clouds);

print("s2_19x", s2_19x)
print("s2_19", s2_19)

// MOSAIC By Date before doing any analyses.
var s2_19 = functions.mosaicByTime(s2_19x);
// Calculate the median NDVI
var ndvi_med_19 = s2_19.select("NDVI").median()

// Visualize the results.
Map.addLayer(ndvi_med_19.clip(study_area),{min:-1000,max:10000,palette:palette_ndvi},"ndvi_med_19",false);

// SPATIAL DATA EXPORT
Export.image.toDrive({image: ndvi_med_19,
  scale:10,
  description:'NDVI_2019_Sentinel',
  maxPixels: 1e12,
  region: study_area,
  crs: "EPSG:2056"
});
```

B. ArcGIS Modelle

Berechnung der Siedlungsfläche:

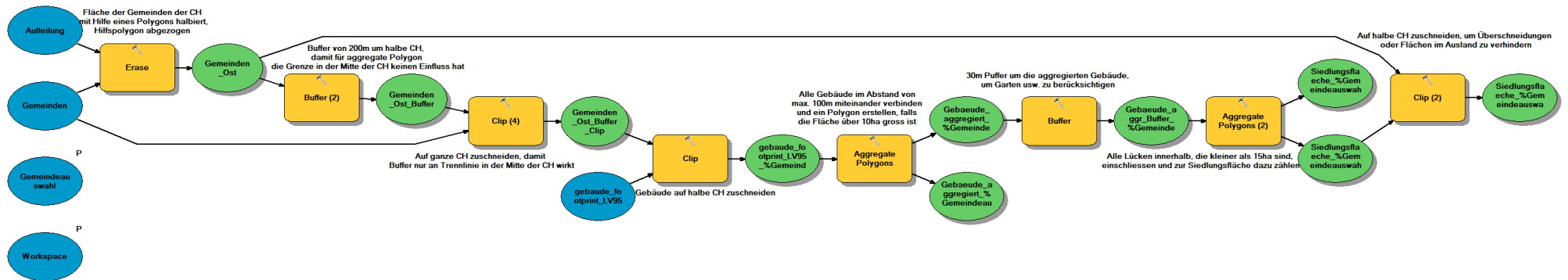


Abb. A: Modell zur Berechnung der Siedlungsfläche für die östliche Hälfte der Schweiz

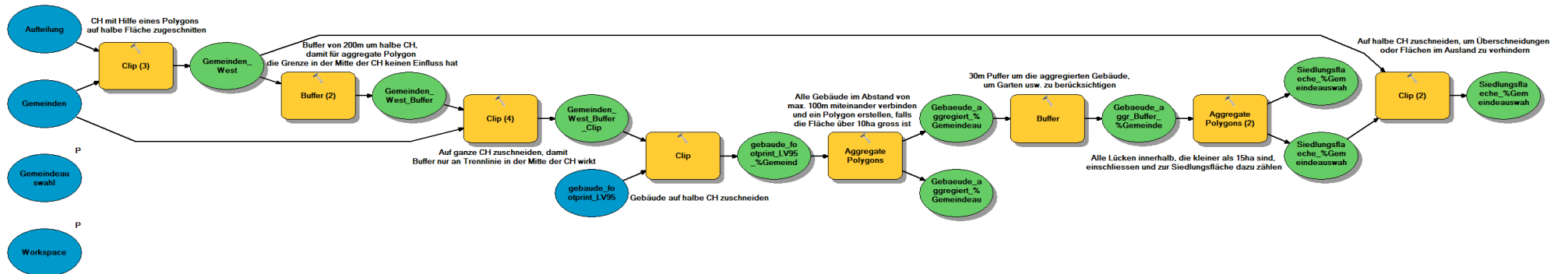


Abb. B: Modell zur Berechnung der Siedlungsfläche für die westliche Hälfte der Schweiz

Berechnungen für die gesamte Schweiz:

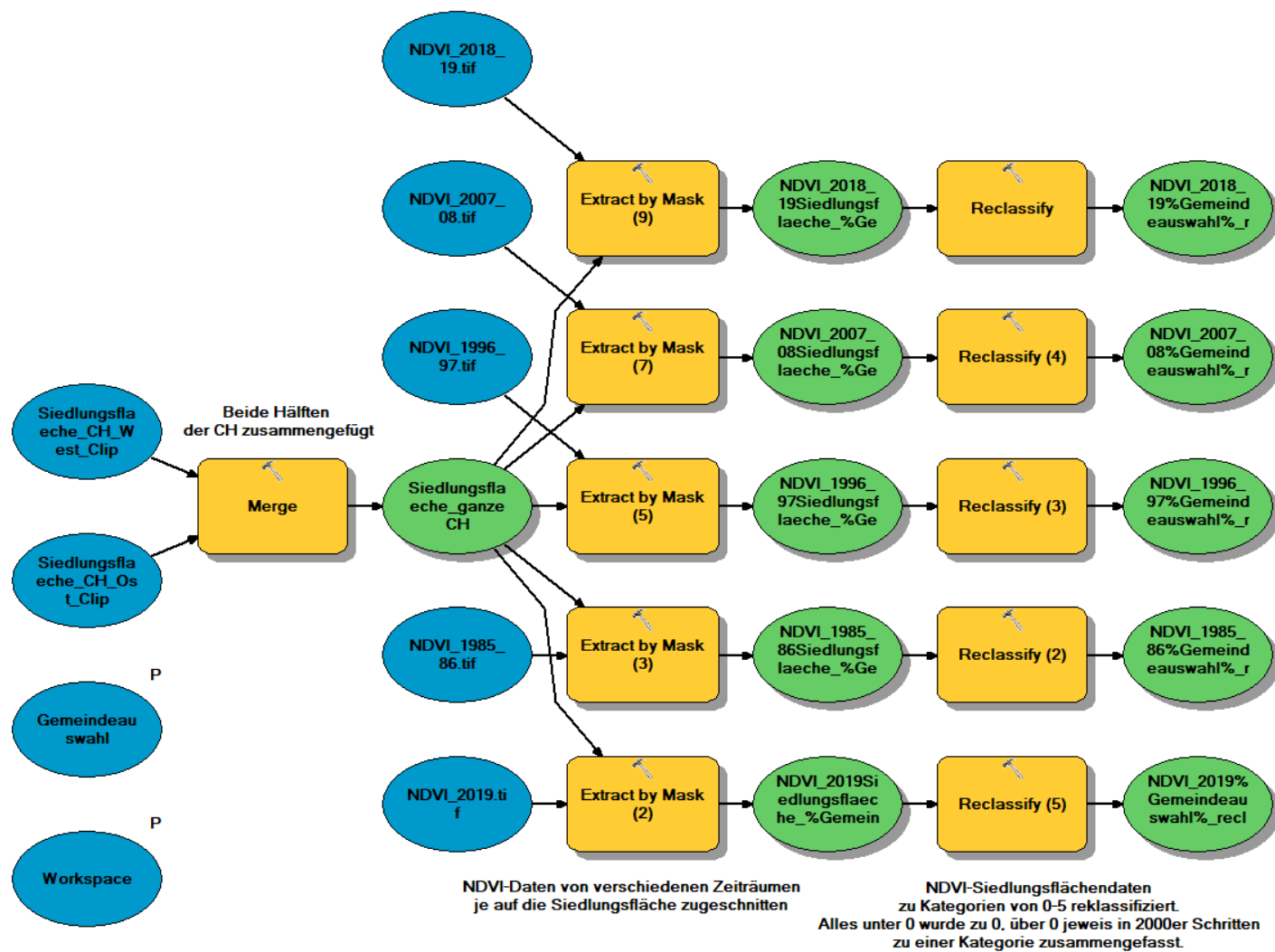


Abb. C: Berechnung der Grünflächen (NDVI) im Siedlungsgebiet aller Schweizer Gemeinden für alle vier Zeitpunkte

Bei unklassifizierten NDVI-Siedlungsflächen
alle negativen Werte zu 0 geändert

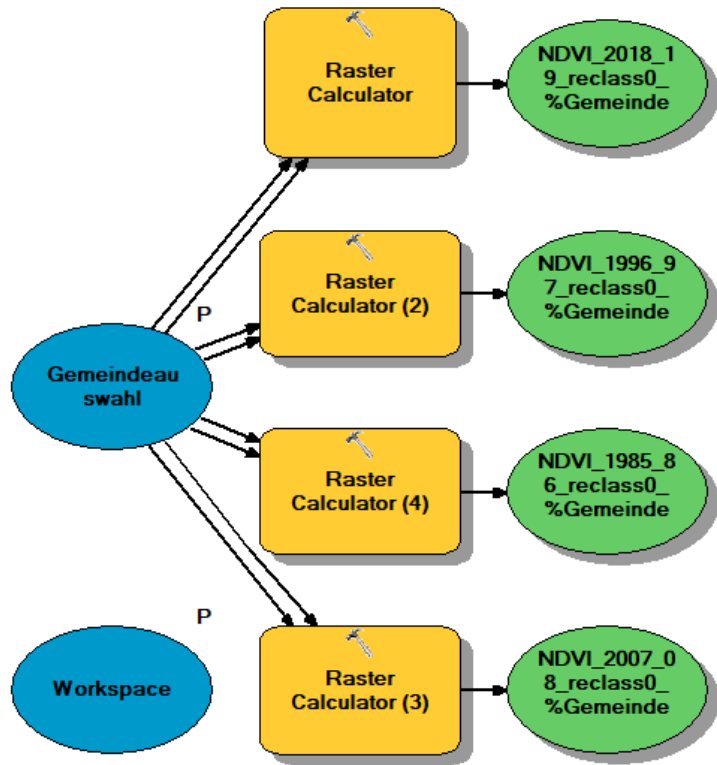


Abb. D: Negative NDVI-Werte zu 0 ändern

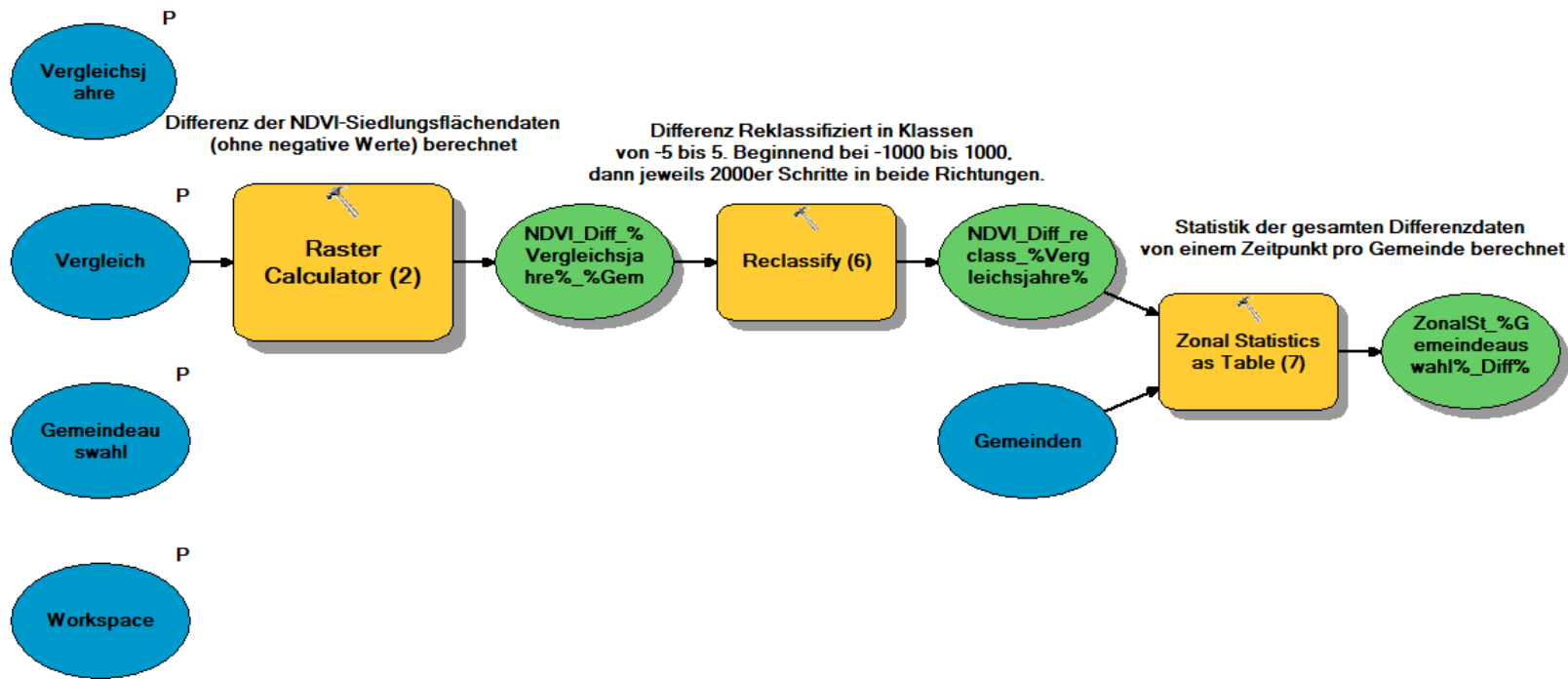


Abb. E: Berechnung der Veränderung. Differenz der NDVI-Werte von zwei Zeitpunkten berechnen.

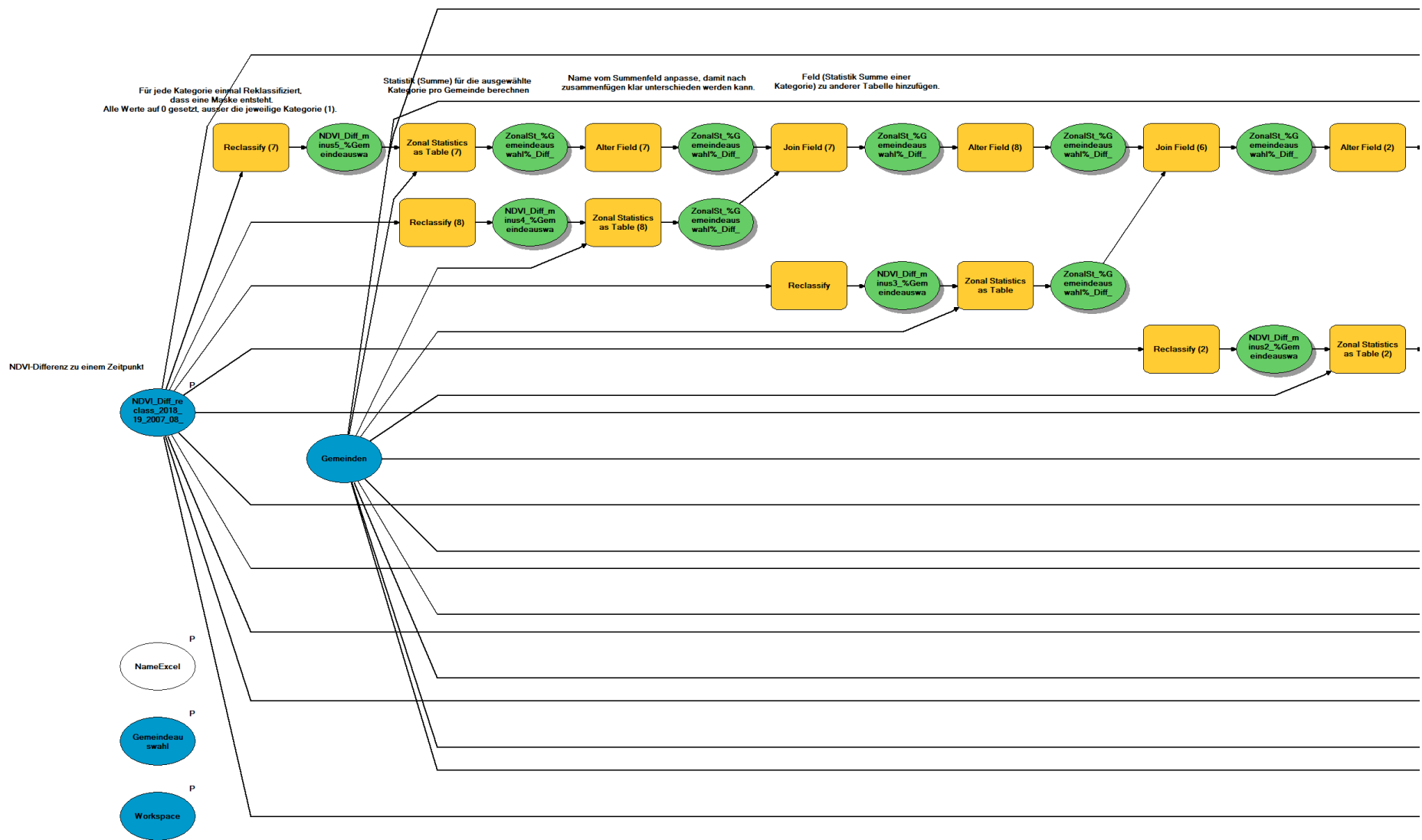


Abb. F: Zusammenfassen der statistischen Werte pro Kategorie und Gemeinde zu einer Tabelle (Teil 1)

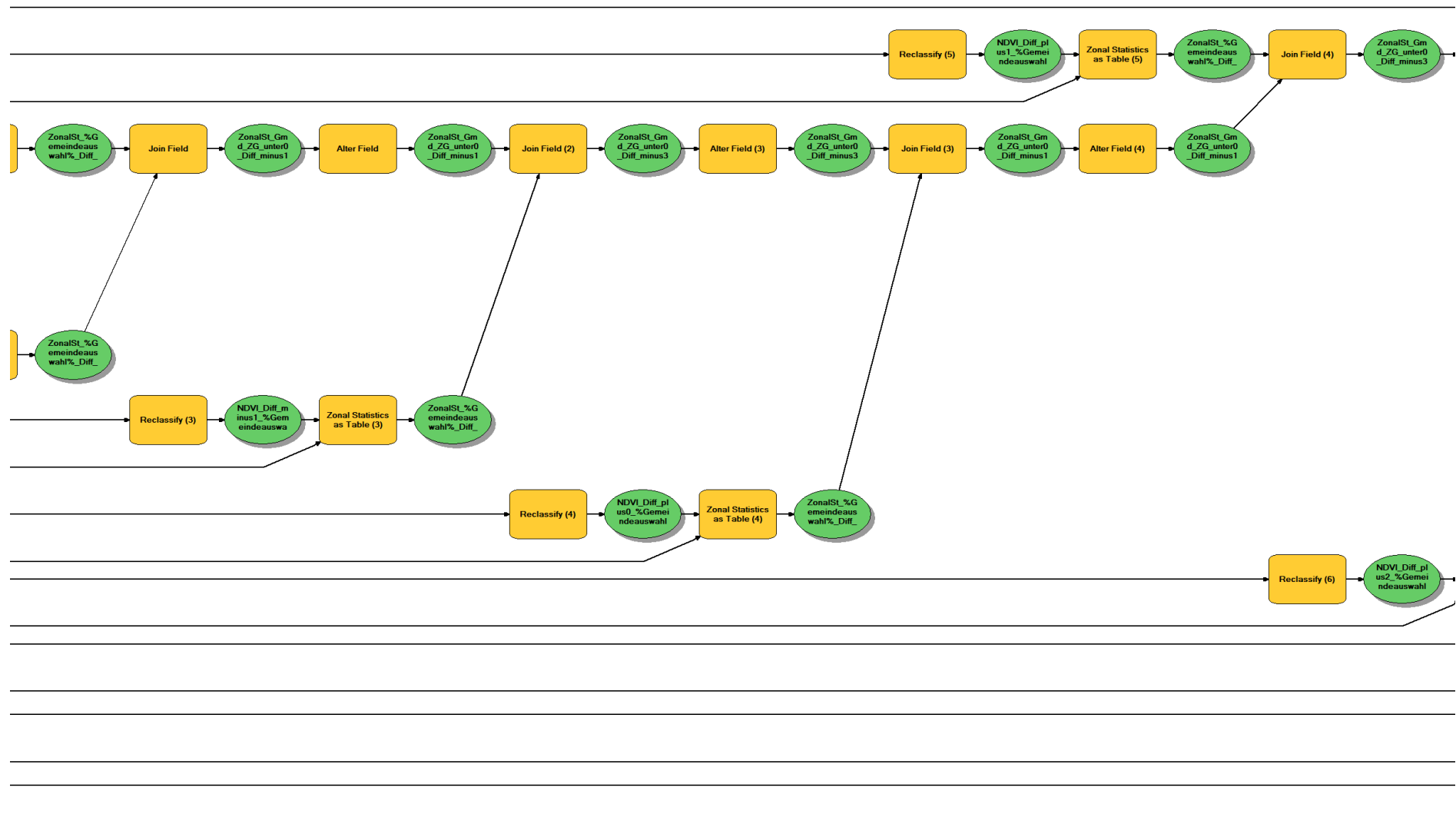


Abb. G: Zusammenfassen der statistischen Werte pro Kategorie und Gemeinde zu einer Tabelle (Teil 2)

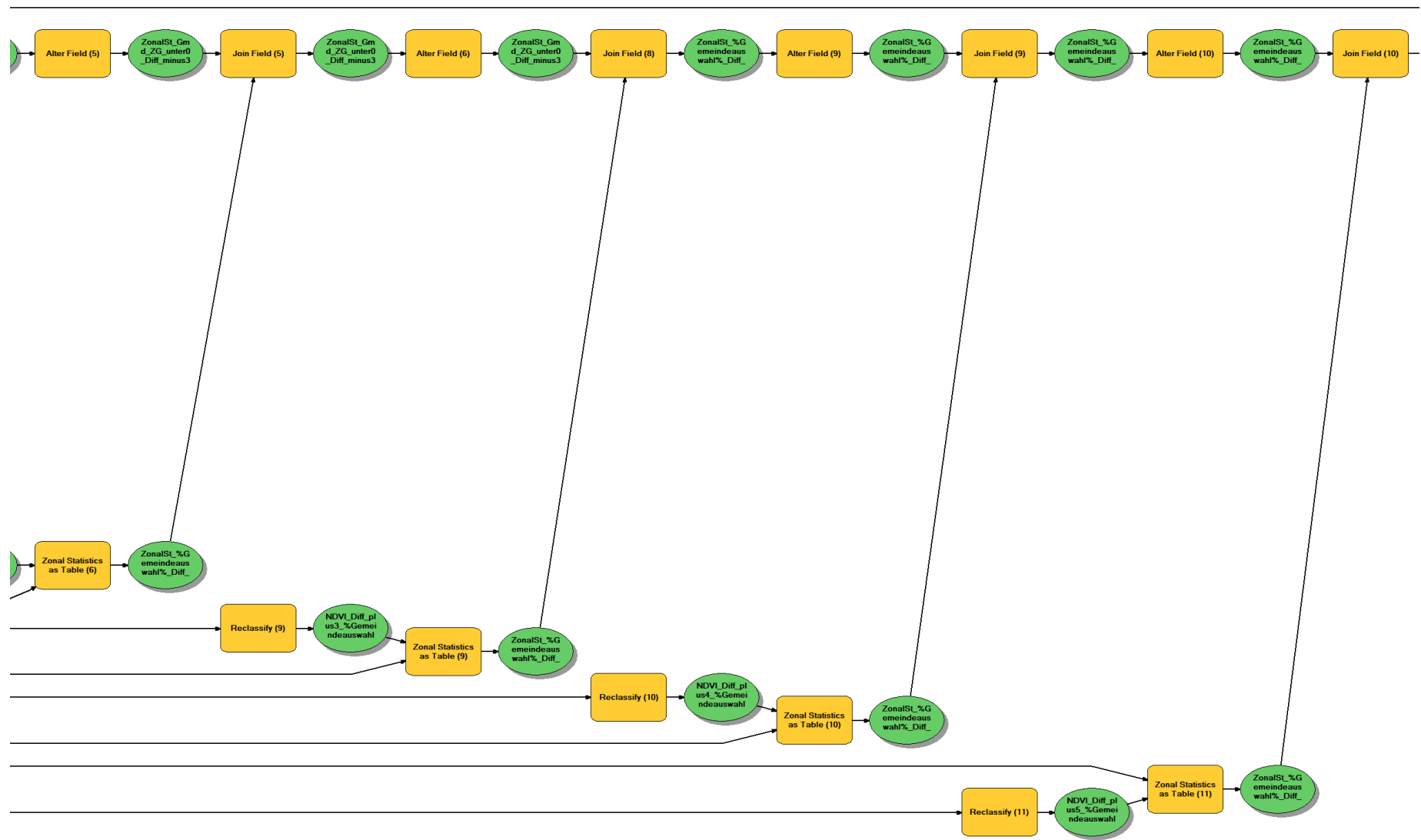


Abb. H: Zusammenfassen der statistischen Werte pro Kategorie und Gemeinde zu einer Tabelle (Teil 3)

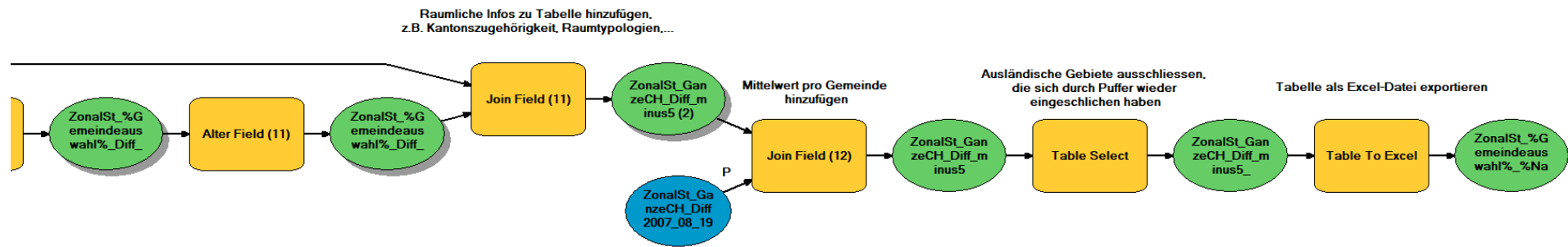


Abb. 1: Zusammenfassen der statistischen Werte pro Kategorie und Gemeinde zu einer Tabelle (Teil 4)

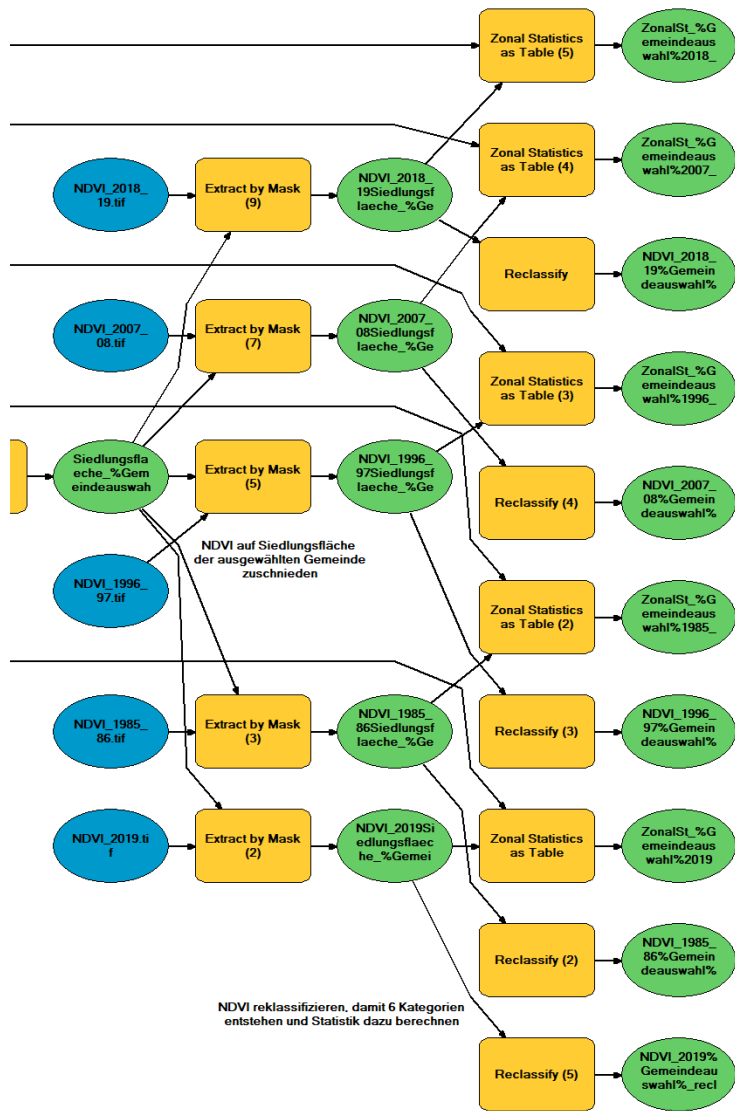


Abb. K: Erstes Modell des NDVI-Tools. Berechnung der NDVI-Zustandskarte für die verschiedenen Zeitpunkte in einer ausgewählten Gemeinde (Teil 2)

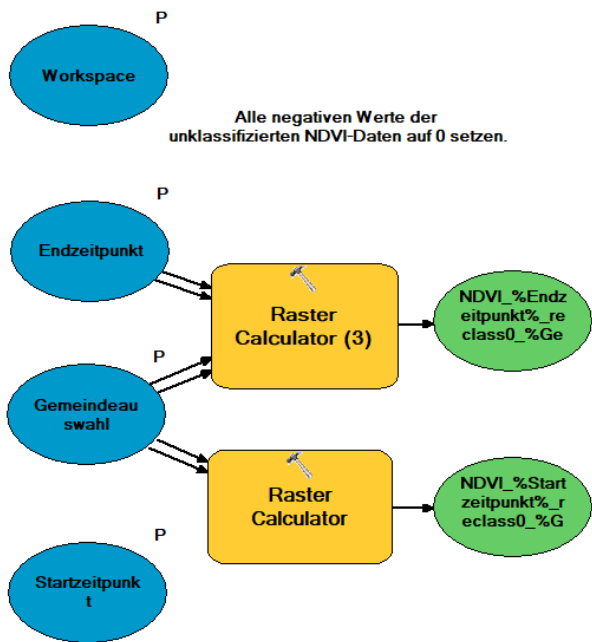


Abb. L: Zweites Modell des NDVI-Tools

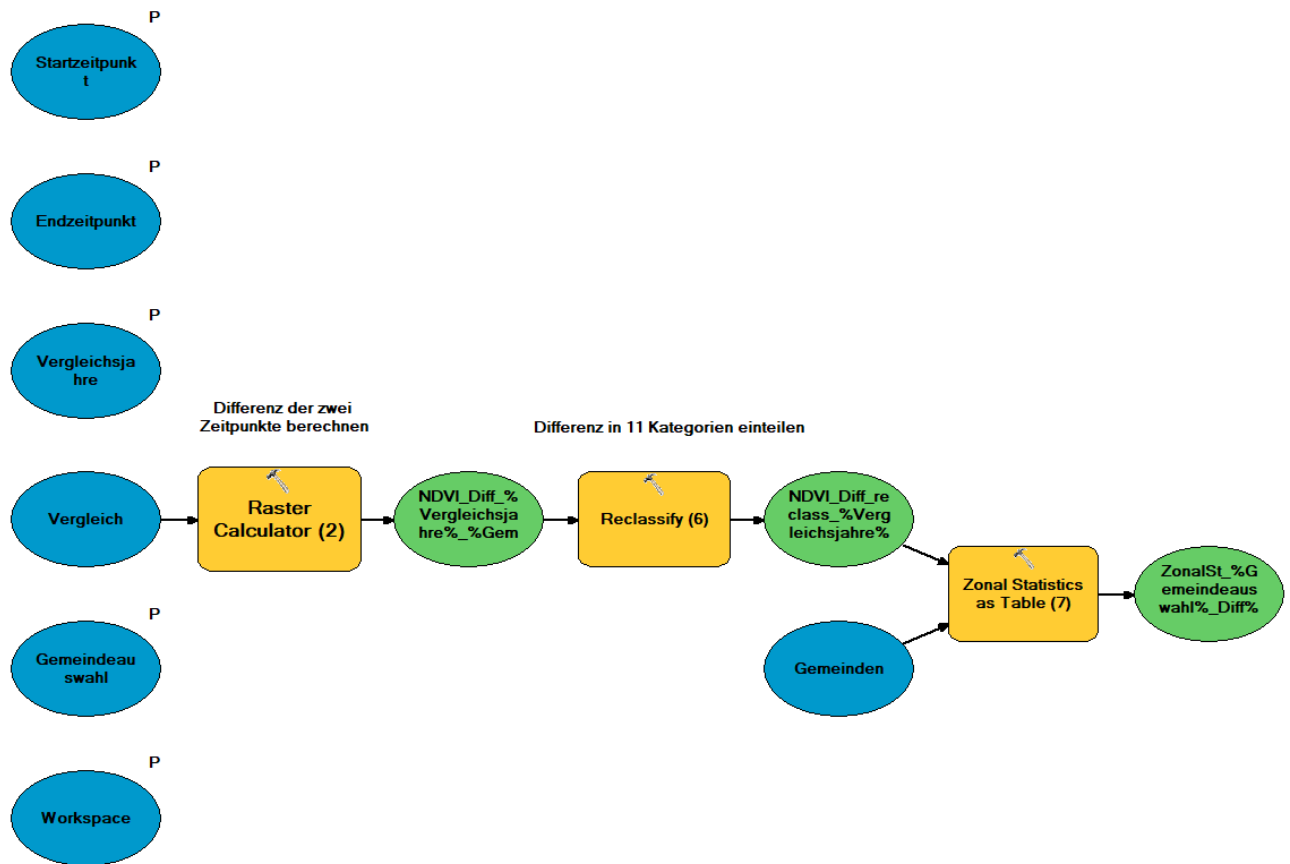


Abb. M: Drittes Modell des NDVI-Tools

C. R-Code aus RStudio

Der R-Code diente zur Weiterverarbeitung der Zwischenresultate aus ArcGIS für die schweizweiten Vergleiche.

```
## 1. Daten einlesen und grundlegende zusätzliche Spalten berechnen
## 2. Mittelwerte der Abnahmen und Zunahmen der ganzen CH für verschiedene Zeitabschnitte berechnen
## 3. Plot für Zeitabschnitte ganze CH
## 4. Distanz der Gemeinden zum Schweizer Mittelwert, Plot und Rangliste
## 5. Histogramme (Vergleich einer ausgewählten Gemeinde mit allen Schweizer Gemeinden)
## 6. Boxplots
## 7. Ranking der Kantone
setwd("~/ETH/Masterarbeit/R")

#####
## 1. Daten einlesen
library(readxl)
daten2018_2007<- read_excel("~/ETH/Masterarbeit/GIS/CH/ZonalSt_GanzeCH5.xls")
daten2018_1996<- read_excel("~/ETH/Masterarbeit/GIS/CH_Teil3/ZonalSt_GanzeCH_2018_19_1996_97.xls")
daten2018_1985<- read_excel("~/ETH/Masterarbeit/GIS/CH_Teil3/ZonalSt_GanzeCH_2018_19_1985_86.xls")
daten2007_1996<- read_excel("~/ETH/Masterarbeit/GIS/CH_Teil3/ZonalSt_GanzeCH_2007_08_1996_97_MEAN.xls")
daten2007_1985<- read_excel("~/ETH/Masterarbeit/GIS/CH_Teil3/ZonalSt_GanzeCH_2007_08_1985_86.xls")
daten1996_1985<- read_excel("~/ETH/Masterarbeit/GIS/CH_Teil3/ZonalSt_GanzeCH_1996_97_1985_86.xls")

## Daten ergänzen mit weiteren Spalten
library(dplyr)

## Grundlagen für Zeitraum 2007/08 bis 2018/19 berechnen (Anteil, Zunahme, Abnahme, Verhältnis)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_minus5=daten2018_2007$SUM_minus5/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_minus4=daten2018_2007$SUM_minus4/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_minus3=daten2018_2007$SUM_minus3/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_minus2=daten2018_2007$SUM_minus2/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_minus1=daten2018_2007$SUM_minus1/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_0=daten2018_2007$SUM_0/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_1=daten2018_2007$SUM_1/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_2=daten2018_2007$SUM_2/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_3=daten2018_2007$SUM_3/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_4=daten2018_2007$SUM_4/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Anteil_5=daten2018_2007$SUM_5/daten2018_2007$COUNT)
daten2018_2007<-
mutate(daten2018_2007,Abnahme=Anteil_minus5*5+Anteil_minus4*4+Anteil_minus3*3+Anteil_minus2*2+Anteil_minus1*1)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Zunahme=Anteil_5*5+Anteil_4*4+Anteil_3*3+Anteil_2*2+Anteil_1*1)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,Verhaeltnis=Zunahme/Abnahme)

## Grundlagen für Zeitraum 1996/07 bis 2018/19 berechnen (Anteil, Zunahme, Abnahme, Verhältnis)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_minus5=daten2018_1996$SUM_minus5/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_minus4=daten2018_1996$SUM_minus4/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_minus3=daten2018_1996$SUM_minus3/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_minus2=daten2018_1996$SUM_minus2/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_minus1=daten2018_1996$SUM_minus1/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_0=daten2018_1996$SUM_0/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_1=daten2018_1996$SUM_1/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_2=daten2018_1996$SUM_2/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_3=daten2018_1996$SUM_3/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_4=daten2018_1996$SUM_4/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Anteil_5=daten2018_1996$SUM_5/daten2018_1996$COUNT)
daten2018_1996<-
mutate(daten2018_1996,Abnahme=Anteil_minus5*5+Anteil_minus4*4+Anteil_minus3*3+Anteil_minus2*2+Anteil_minus1*1)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Zunahme=Anteil_5*5+Anteil_4*4+Anteil_3*3+Anteil_2*2+Anteil_1*1)
daten2018_1996<-mutate(daten2018_1996,Verhaeltnis=Zunahme/Abnahme)

## Grundlagen für Zeitraum 1985/86 bis 2018/19 berechnen (Anteil, Zunahme, Abnahme, Verhältnis)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_minus5=daten2018_1985$SUM_minus5/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_minus4=daten2018_1985$SUM_minus4/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_minus3=daten2018_1985$SUM_minus3/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_minus2=daten2018_1985$SUM_minus2/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_minus1=daten2018_1985$SUM_minus1/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_0=daten2018_1985$SUM_0/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_1=daten2018_1985$SUM_1/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_2=daten2018_1985$SUM_2/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_3=daten2018_1985$SUM_3/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_4=daten2018_1985$SUM_4/daten2018_1985$COUNT)
```

```

daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Anteil_5=daten2018_1985$SUM_5/daten2018_1985$COUNT)
daten2018_1985<-
mutate(daten2018_1985,Abnahme=Anteil_minus5*5+Anteil_minus4*4+Anteil_minus3*3+Anteil_minus2*2+Anteil_minus1*1)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Zunahme=Anteil_5*5+Anteil_4*4+Anteil_3*3+Anteil_2*2+Anteil_1*1)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,Verhaeltnis=Zunahme/Abnahme)

```

```

## Grundlagen für Zeitraum 1996/07 bis 2007/08 berechnen (Anteil, Zunahme, Abnahme, Verhältnis)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_minus5=daten2007_1996$SUM_minus5/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_minus4=daten2007_1996$SUM_minus4/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_minus3=daten2007_1996$SUM_minus3/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_minus2=daten2007_1996$SUM_minus2/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_minus1=daten2007_1996$SUM_minus1/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_0=daten2007_1996$SUM_0/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_1=daten2007_1996$SUM_1/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_2=daten2007_1996$SUM_2/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_3=daten2007_1996$SUM_3/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_4=daten2007_1996$SUM_4/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Anteil_5=daten2007_1996$SUM_5/daten2007_1996$COUNT)
daten2007_1996<-
mutate(daten2007_1996,Abnahme=Anteil_minus5*5+Anteil_minus4*4+Anteil_minus3*3+Anteil_minus2*2+Anteil_minus1*1)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Zunahme=Anteil_5*5+Anteil_4*4+Anteil_3*3+Anteil_2*2+Anteil_1*1)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,Verhaeltnis=Zunahme/Abnahme)

```

```

## Grundlagen für Zeitraum 1985/86 bis 2007/08 berechnen (Anteil, Zunahme, Abnahme, Verhältnis)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_minus5=daten2007_1985$SUM_minus5/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_minus4=daten2007_1985$SUM_minus4/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_minus3=daten2007_1985$SUM_minus3/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_minus2=daten2007_1985$SUM_minus2/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_minus1=daten2007_1985$SUM_minus1/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_0=daten2007_1985$SUM_0/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_1=daten2007_1985$SUM_1/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_2=daten2007_1985$SUM_2/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_3=daten2007_1985$SUM_3/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_4=daten2007_1985$SUM_4/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Anteil_5=daten2007_1985$SUM_5/daten2007_1985$COUNT)
daten2007_1985<-
mutate(daten2007_1985,Abnahme=Anteil_minus5*5+Anteil_minus4*4+Anteil_minus3*3+Anteil_minus2*2+Anteil_minus1*1)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Zunahme=Anteil_5*5+Anteil_4*4+Anteil_3*3+Anteil_2*2+Anteil_1*1)
daten2007_1985<-mutate(daten2007_1985,Verhaeltnis=Zunahme/Abnahme)

```

```

## Grundlagen für Zeitraum 1985/86 bis 1996/07 berechnen (Anteil, Zunahme, Abnahme, Verhältnis)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_minus5=daten1996_1985$SUM_minus5/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_minus4=daten1996_1985$SUM_minus4/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_minus3=daten1996_1985$SUM_minus3/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_minus2=daten1996_1985$SUM_minus2/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_minus1=daten1996_1985$SUM_minus1/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_0=daten1996_1985$SUM_0/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_1=daten1996_1985$SUM_1/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_2=daten1996_1985$SUM_2/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_3=daten1996_1985$SUM_3/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_4=daten1996_1985$SUM_4/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Anteil_5=daten1996_1985$SUM_5/daten1996_1985$COUNT)
daten1996_1985<-
mutate(daten1996_1985,Abnahme=Anteil_minus5*5+Anteil_minus4*4+Anteil_minus3*3+Anteil_minus2*2+Anteil_minus1*1)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Zunahme=Anteil_5*5+Anteil_4*4+Anteil_3*3+Anteil_2*2+Anteil_1*1)
daten1996_1985<-mutate(daten1996_1985,Verhaeltnis=Zunahme/Abnahme)
#####

```

2. Schweizweiter Mittelwert berechnen

```

## Schweizweiter Mittelwert 2018_2007
mwert_ab2018_2007<-mean(daten2018_2007$Abnahme)
mwert_zu2018_2007<-mean(daten2018_2007$Zunahme)
## Schweizweiter Mittelwert 2018_1996
mwert_ab2018_1996<-mean(daten2018_1996$Abnahme)
mwert_zu2018_1996<-mean(daten2018_1996$Zunahme)
## Schweizweiter Mittelwert 2018_1985
mwert_ab2018_1985<-mean(daten2018_1985$Abnahme)
mwert_zu2018_1985<-mean(daten2018_1985$Zunahme)
## Schweizweiter Mittelwert 2007_1996
mwert_ab2007_1996<-mean(daten2007_1996$Abnahme)
mwert_zu2007_1996<-mean(daten2007_1996$Zunahme)
## Schweizweiter Mittelwert 2007_1985

```

```

mwert_ab2007_1985<-mean(daten2007_1985$Abnahme)
mwert_zu2007_1985<-mean(daten2007_1985$Zunahme)
## Schweizweiter Mittelwert 1996_1985
mwert_ab1996_1985<-mean(daten1996_1985$Abnahme)
mwert_zu1996_1985<-mean(daten1996_1985$Zunahme)

#####
## 3. PLOT für verschiedene Zeitabschnitte Mittelwerte Zu- und Abnahme der gesamten Schweiz
## Symbole
symb <- c(17,16,16,15,15,15) ## Art der Symbole für Plot auswählen
farb <-c(gray(0),gray(0.6),gray(0.2),gray(0.8),gray(0.6),gray(0.2)) ## Farbe der Symbole (Grautöne)
gross <- c(cex=1.25,cex=1.25,cex=1.25,cex=1,cex=1,cex=1) ## Grösse der Symbole

##Plot
plot(c(mwert_ab2018_1985,mwert_ab2007_1985,mwert_ab2018_1996,mwert_ab1996_1985,mwert_ab2007_1996,
mwert_ab2018_2007),
     c(mwert_zu2018_1985,mwert_zu2007_1985,mwert_zu2018_1996,mwert_zu1996_1985,mwert_zu2007_1996,
mwert_zu2018_2007),xlab= "Abnahme",ylab = "Zunahme",
     pch=symb, col=farb,cex=gross,
     asp=1,xlim= c(0,0.5), ylim=c(0,0.4))
abline(a=0,b=1, col= gray(0.8))
legend(x=0.31,
       y=0.28,
       legend=c("1985/86 - 2018/19","1985/86 - 2007/08","1996/97 - 2018/19","1985/86 - 1996/97", "1996/97 - 2007/08","2007/08 -
2018/19" ), # Vektor mit dem Text
       pch=symb, # Symbole
       col=farb) # Farbe der Symbole

#####
## 4. Distanz Mittelwert zu einzelner Gemeinde, Plot und Rangliste
##### 2007/08 bis 2018/19
## Distanz Mittelwert zu einzelner Gemeinde für Rangliste
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,delta_ab2018_2007 = daten2018_2007$Abnahme-mwert_ab2018_2007)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,delta_zu2018_2007 = daten2018_2007$Zunahme-mwert_zu2018_2007)
daten2018_2007<-mutate(daten2018_2007,dist_mittelwert_2018_2007 = sqrt((delta_zu2018_2007)^2+(delta_ab2018_2007)^2))

## Daten nach viertel Aufteilen. Oben links = 1, oben rechts = 2, unten links = 3, unten rechts = 4
daten2018_2007_1<- filter(daten2018_2007, Zunahme > mwert_zu2018_2007 & Abnahme <= mwert_ab2018_2007)
daten2018_2007_2<- filter(daten2018_2007, Zunahme > mwert_zu2018_2007 & Abnahme > mwert_ab2018_2007)
daten2018_2007_3<- filter(daten2018_2007, Zunahme <= mwert_zu2018_2007 & Abnahme <= mwert_ab2018_2007)
daten2018_2007_4<- filter(daten2018_2007, Zunahme <= mwert_zu2018_2007 & Abnahme > mwert_ab2018_2007)
View(daten2018_2007_1)
##Überprüfen, ob alle Gemeinden irgendwo einbezogen und keine doppelt (Gleiche Anzahl Gemeinden wie vor dem Aufteilen)
count(daten2018_2007_1)+count(daten2018_2007_2)+count(daten2018_2007_3)+count(daten2018_2007_4)

## Rangliste vom Viertel oben links; alle und Kernstädte; oberste Gemeinden am besten
rangliste2018_2007_1<-arrange(daten2018_2007_1, desc(dist_mittelwert_2018_2007))
View(rangliste2018_2007_1)
rangliste2018_2007_1_stadt <-filter(rangliste2018_2007_1, Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter == 1)
View(rangliste2018_2007_1_stadt)

## VERLIERER-Rangliste vom Viertel unten rechts; alle und Kernstädte; oberste Gemeinden am schlechtesten
rangliste2018_2007_4<-arrange(daten2018_2007_4, desc(dist_mittelwert_2018_2007))
View(rangliste2018_2007_4)
rangliste2018_2007_4_stadt <-filter(rangliste2018_2007_4, Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter == 1)
View(rangliste2018_2007_4_stadt)

## Veränderung alle Gemeinden von 2017/08 2018/19
plot(daten2018_2007$Abnahme, daten2018_2007$Zunahme,xlab= "Abnahme",ylab = "Zunahme", asp=1,xlim= c(0,0.55), ylim=c(0,0.4))
abline(a=0,b=1, col= gray(0.8))
abline(mwert_zu2018_2007,0)
abline(v=mwert_ab2018_2007)
points(mwert_ab2018_2007,mwert_zu2018_2007,pch=19,col="deepskyblue",cex=2) ## Mittelwert der gesamten Schweiz
points(rangliste2018_2007_1_stadt$Abnahme,rangliste2018_2007_1_stadt$Zunahme,pch=19, col ="orange", cex =1.25)## Top-Städte

points(rangliste2018_2007_4_stadt$Abnahme,rangliste2018_2007_4_stadt$Zunahme,pch=19, col ="orange", cex =1.25)## Verlierer-
Städte

##### 1985/86 bis 2018/19
## Distanz Mittelwert zu einzelner Gemeinde für Rangliste
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,delta_ab2018_1985 = daten2018_1985$Abnahme-mwert_ab2018_1985)
daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,delta_zu2018_1985 = daten2018_1985$Zunahme-mwert_zu2018_1985)

```

```

daten2018_1985<-mutate(daten2018_1985,dist_mittelwert_2018_1985 = sqrt((delta_zu2018_1985)^2+(delta_ab2018_1985)^2))

## Daten nach viertel Aufteilen. Oben links = 1, oben rechts = 2, unten links = 3, unten rechts = 4
daten2018_1985_1<- filter(daten2018_1985, Zunahme > mwert_zu2018_1985 & Abnahme <= mwert_ab2018_1985)
daten2018_1985_2<- filter(daten2018_1985, Zunahme > mwert_zu2018_1985 & Abnahme > mwert_ab2018_1985)
daten2018_1985_3<- filter(daten2018_1985, Zunahme <= mwert_zu2018_1985 & Abnahme <= mwert_ab2018_1985)
daten2018_1985_4<- filter(daten2018_1985, Zunahme <= mwert_zu2018_1985 & Abnahme > mwert_ab2018_1985)
View(daten2018_1985_1)
##Überprüfen, ob alle Gemeinden irgendwo einbezogen und keine doppelt (Gleiche Anzahl Gemeinden wie vor dem Aufteilen)
count(daten2018_1985_1)+count(daten2018_1985_2)+count(daten2018_1985_3)+count(daten2018_1985_4)

## Rangliste vom Viertel oben links; alle und Kernstädte; oberste Gemeinden am besten
rangliste2018_1985_1<-arrange(daten2018_1985_1, desc(dist_mittelwert_2018_1985))
View(rangliste2018_1985_1)
rangliste2018_1985_1_stadt <-filter(rangliste2018_1985_1, Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter == 1)
View(rangliste2018_1985_1_stadt)

## VERLIERER-Rangliste vom Viertel unten rechts; alle und Kernstädte; oberste Gemeinden am schlechtesten
rangliste2018_1985_4<-arrange(daten2018_1985_4, desc(dist_mittelwert_2018_1985))
View(rangliste2018_1985_4)
rangliste2018_1985_4_stadt <-filter(rangliste2018_1985_4, Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter == 1)
View(rangliste2018_1985_4_stadt)

## Veränderung alle Gemeinden von 1985/86 bis 2018/19
plot(daten2018_1985$Abnahme, daten2018_1985$Zunahme,xlab="Abnahme",ylab="Zunahme")
title("Veränderung 1985/86 bis 2018/19 aller Schweizer Gemeinden")
abline(a=0,b=1, col= gray(0.8))
abline(mwert_zu2018_1985,0)
abline(v=mwert_ab2018_1985)
points(mwert_ab2018_1985,mwert_zu2018_1985,pch=19,col="deepskyblue",cex=2) ## Mittelwert der gesamten Schweiz
points(rangliste2018_1985_1_stadt$Abnahme,rangliste2018_1985_1_stadt$Zunahme,pch=19, col ="orange", cex =1.25) ## Top-Städte

points(rangliste2018_1985_4_stadt$Abnahme,rangliste2018_1985_4_stadt$Zunahme,pch=19, col ="orange", cex =1.25) ## Verlierer-
Städte

##### 1996/97 bis 2007/08
## Distanz Mittelwert zu einzelner Gemeinde für Rangliste
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,delta_ab2007_1996 = daten2007_1996$Abnahme-mwert_ab2007_1996)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,delta_zu2007_1996 = daten2007_1996$Zunahme-mwert_zu2007_1996)
daten2007_1996<-mutate(daten2007_1996,dist_mittelwert_2007_1996 = sqrt((delta_zu2007_1996)^2+(delta_ab2007_1996)^2))

## Daten nach viertel Aufteilen. Oben links = 1, oben rechts = 2, unten links = 3, unten rechts = 4
daten2007_1996_1<- filter(daten2007_1996, Zunahme > mwert_zu2007_1996 & Abnahme <= mwert_ab2007_1996)
daten2007_1996_2<- filter(daten2007_1996, Zunahme > mwert_zu2007_1996 & Abnahme > mwert_ab2007_1996)
daten2007_1996_3<- filter(daten2007_1996, Zunahme <= mwert_zu2007_1996 & Abnahme <= mwert_ab2007_1996)
daten2007_1996_4<- filter(daten2007_1996, Zunahme <= mwert_zu2007_1996 & Abnahme > mwert_ab2007_1996)
View(daten2007_1996_1)
##Überprüfen, ob alle Gemeinden irgendwo einbezogen und keine doppelt (Gleiche Anzahl Gemeinden wie vor dem Aufteilen)
count(daten2007_1996_1)+count(daten2007_1996_2)+count(daten2007_1996_3)+count(daten2007_1996_4)

## Rangliste vom Viertel oben links; alle und Kernstädte; oberste Gemeinden am besten
rangliste2007_1996_1<-arrange(daten2007_1996_1, desc(dist_mittelwert_2007_1996))
View(rangliste2007_1996_1)
rangliste2007_1996_1_stadt <-filter(rangliste2007_1996_1, Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter == 1)
View(rangliste2007_1996_1_stadt)

## VERLIERER-Rangliste vom Viertel unten rechts; alle und Kernstädte; oberste Gemeinden am schlechtesten
rangliste2007_1996_4<-arrange(daten2007_1996_4, desc(dist_mittelwert_2007_1996))
View(rangliste2007_1996_4)
rangliste2007_1996_4_stadt <-filter(rangliste2007_1996_4, Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter == 1)
View(rangliste2007_1996_4_stadt)

## Veränderung alle Gemeinden von 1996/97 bis 2007/08
plot(daten2007_1996$Abnahme, daten2007_1996$Zunahme,xlab="Abnahme",ylab="Zunahme")
title("Veränderung 1996/97 bis 2007/08 aller Schweizer Gemeinden")
abline(a=0,b=1, col= gray(0.8))
abline(mwert_zu2007_1996,0)
abline(v=mwert_ab2007_1996)
points(mwert_ab2007_1996,mwert_zu2007_1996,pch=19,col="deepskyblue",cex=2) ## Mittelwert der gesamten Schweiz
points(rangliste2007_1996_1_stadt$Abnahme,rangliste2007_1996_1_stadt$Zunahme,pch=19, col ="orange", cex =1.25) ## Top-Städte

```

```
points(rangliste2007_1996_4_stadt$Abnahme,rangliste2007_1996_4_stadt$Zunahme,pch=19, col ="orange", cex=1.25) ## Verlierer-
Städte
```

```
#####
```

```
## 5. Histogramme, Vergleich eine Gemeinde mit gesamter CH
##Gemeinde auswählen, Zeitabschnitt/Jahre anpassen
Gemeinde <- filter(daten2018_2007, TLM_HOHEITSGEBIET_NAME == "Hochdorf")
View(Gemeinde)
```

```
## Histogramm mit Gemeindepunkt
## Zeitabschnitt/Jahre an Gemeindeauswahl anpassen
## Histogramm mit Mittelwert
hist(daten2018_2007$MEAN,breaks=40,xlab="Mittelwert der Grünflächenveränderung", ylab="Häufigkeit",
      main="Histogram Mittelwerte aller Gemeinden der Schweiz") ## schmalere Säulen
points(Gemeinde$MEAN,1,pch=19,col="red",cex=2)
legend(x=0.2, y=250,
       legend=Gemeinde$TLM_HOHEITSGEBIET_NAME,
       pch=19, # Symbole
       col="red") # Farbe der Symbole
```

```
## Plot mit Gemeindepunkt
## Zeitabschnitt/Jahre an Gemeindeauswahl anpassen
plot(daten2018_2007$Abnahme, daten2018_2007$Zunahme,xlab= "Abnahme",ylab = "Zunahme")
abline(a=0,b=1, col= gray(0.8))
abline(mwert_zu2018_2007,0)
abline(v=mwert_ab2018_2007)
points(mwert_ab2018_2007,mwert_zu2018_2007,pch=19,col="deepskyblue",cex=2) ## Mittelwert der gesamten Schweiz
points(Gemeinde$Abnahme,Gemeinde$Zunahme,pch=19,col="red",cex=2) ## Punkt für ausgewählte Gemeinde
legend(x=0.35, y=0.29,
       legend=c(Gemeinde$TLM_HOHEITSGEBIET_NAME,"Schweizer Mittelwert"),
       pch=19, # Symbole
       col=c("red", "deepskyblue")) # Farbe der Symbole
```

```
#####
```

```
## 6.Boxplots Vergleich der Mittelwerte
```

```
## Mittelwerte der Gemeindetypologien 2012 9 Typen
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Gemeindetypologie_2012_9Typen,daten2018_2007, xlab= "Gemeindetypologie",
        ylab="Mittelwert 2007/08 bis 2018/19") ##2007 - 2018
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Gemeindetypologie_2012_9Typen,daten2007_1996, xlab= "Gemeindetypologie",
        ylab="Mittelwert 1996/97 bis 2007/08") ##1996 - 2007
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Gemeindetypologie_2012_9Typen,daten2018_1985, xlab= "Gemeindetypologie",
        ylab="Mittelwert 1985/86 bis 2018/19") ##1985 - 2018
```

```
## Mittelwerte der Stadt/Land-Typologie
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_StadtLand_Typologie,daten2018_2007, xlab= "Stadt/Land-Typologie",
        ylab="Mittelwert 2007/08 bis 2018/19") ##2007 - 2018
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_StadtLand_Typologie,daten2007_1996, xlab= "Stadt/Land-Typologie",
        ylab="Mittelwert 1996/97 bis 2007/08") ##1996 - 2007
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_StadtLand_Typologie,daten2018_1985, xlab= "Stadt/Land-Typologie",
        ylab="Mittelwert 1985/86 bis 2018/19") ##1985 - 2018
```

```
##Mittelwerte Raum mit städtischem Charatker
par(mar=c(5.1, 6.1, 4.1, 2.1))
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter,daten2018_2007,xlab= "Raum mit städtischem
Charakter", ylab="Gemeindemittelwert der Veranderung\nton 2007/08 bis 2018/19") ##2007 - 2018
abline(h=0,col= gray(0.8), lty="dotted")
par(mar=c(5.1, 4.1, 4.1, 2.1))
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter,daten2007_1996) ##1996 - 2007
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter,daten2018_1985) ##1985 - 2018
```

```
## 2018 - 2007 Rangliste Mediane zu Boxplot Raum mit städtischem Charakter
median_RmsC2018_2007<-
tapply(daten2018_2007$MEAN,daten2018_2007$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter,median) ##
Median pro Kategorie berechnen
dataframe_median_RmsC2018_2007<-data.frame(median_RmsC2018_2007) ## dataframe aus Medianwerte
View(dataframe_median_RmsC2018_2007)
RmsC=names(median_RmsC2018_2007) ##Namen der Kategorien
median_RmsC2018_2007<-mutate(dataframe_median_RmsC2018_2007,Raum_mit_staedtischemCharakter=RmsC) ## Namen des RmsC
zu dataframe mit Medianwerten hinzufügen
rang_median_RmsC2018_2007<-arrange(median_RmsC2018_2007, desc(median_RmsC2018_2007)) ## Rangliste der Medianwerte der
RmsC (entsprechend dem Boxplot)
```

```

View(rang_median_RmsC2018_2007)
range(rang_median_RmsC2018_2007$median_RmsC2018_2007)

gmd_pro_RmsC<-count(daten2018_2007, daten2018_2007$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter) ##
Anzahl Gemeinden pro Kategorie zählen
View(gmd_pro_RmsC)

## 2018 - 1985 Rangliste Mediane zu Boxplot Raum mit städtischem Charakter
median_RmsC2018_1985<-
tapply(daten2018_1985$MEAN, daten2018_1985$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter, median) ##
Median pro Kategorie berechnen
dataframe_median_RmsC2018_1985<-data.frame(median_RmsC2018_1985) ## dataframe aus Medianwerte
View(dataframe_median_RmsC2018_1985)
RmsC=names(median_RmsC2018_1985) ##Namen der Kategorien
median_RmsC2018_1985<-mutate(dataframe_median_RmsC2018_1985, Raum_mit_staedtischemCharakter=RmsC) ## Namen der RmsC
zu dataframe mit Medianwerten hinzufügen
rang_median_RmsC2018_1985<-arrange(median_RmsC2018_1985, desc(median_RmsC2018_1985)) ## Rangliste der Medianwerte der
RmsC (entsprechend dem Boxplot)
View(rang_median_RmsC2018_1985)
range(rang_median_RmsC2018_1985$median_RmsC2018_1985)

gmd_pro_RmsC<-count(daten2018_1985, daten2018_1985$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Raum_mit_staedtischem_Charakter)
View(gmd_pro_RmsC)

par(mfrow=c(2,1), mar=c(5.1, 6.1, 4.1, 2.1))

boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton, daten2018_2007, ylim=c(-0.65, 0.45), xlab="Schweizer Kantone",
ylab="Gemeindemittelwert der Veränderung\`n von 2007/08 bis 2018/19", cex.lab=1.5) ##2007 - 2018
abline(h=0, col=gray(0.8), lty="dotted")
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton, daten2018_1985, ylim=c(-0.65, 0.45), xlab="Schweizer Kantone",
ylab="Gemeindemittelwert der Veränderung\`n von 1985/86 bis 2018/19", cex.lab=1.5) ##1985 - 2018
abline(h=0, col=gray(0.8), lty="dotted")

par(mfrow=c(1,1), mar=c(5.1, 4.1, 4.1, 2.1))
boxplot(MEAN ~ Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton, daten2007_1996) ##1996 - 2007

## 2018 - 2007 Rangliste Mediane zu Boxplot Kantone
median_kantone2018_2007<-tapply(daten2018_2007$MEAN, daten2018_2007$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton, median) ##
Median pro Kanton berechnen
dataframe_median_kantone2018_2007<-data.frame(median_kantone2018_2007) ## dataframe aus Medianwerte der Kantone
View(dataframe_median_kantone2018_2007)
kantone=names(median_kantone2018_2007) ##Namen der Kanton alphabetisch
median_kantone2018_2007<-mutate(dataframe_median_kantone2018_2007, Kanton=kantone) ## Namen der Kantone zu dataframe mit
Medianwerten hinzufügen
rang_median_kantone2018_2007<-arrange(median_kantone2018_2007, desc(median_kantone2018_2007)) ## Rangliste der Medianwerte
der Kantone (entsprechend dem Boxplot)
View(rang_median_kantone2018_2007)
range(rang_median_kantone2018_2007$median_kantone2018_2007)

gmd_pro_kanton<-count(daten2018_2007, daten2018_2007$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton)
View(gmd_pro_kanton)

## 2018 - 1985 Rangliste Mediane zu Boxplot Kantone
median_kantone2018_1985<-tapply(daten2018_1985$MEAN, daten2018_1985$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton, median) ##
Median pro Kanton berechnen
dataframe_median_kantone2018_1985<-data.frame(median_kantone2018_1985) ## dataframe aus Medianwerten der Kantone
View(dataframe_median_kantone2018_1985)
kantone=names(median_kantone2018_1985) ##Namen der Kanton alphabetisch
median_kantone2018_1985<-mutate(dataframe_median_kantone2018_1985, Kanton=kantone) ## Namen der Kantone zu dataframe mit
Medianwerten hinzufügen
rang_median_kantone2018_1985<-arrange(median_kantone2018_1985, desc(median_kantone2018_1985)) ## Rangliste der Medianwerte
der Kantone (entsprechend dem Boxplot)
View(rang_median_kantone2018_1985)
range(rang_median_kantone2018_1985$median_kantone2018_1985)
gmd_pro_kanton<-count(daten2018_1985, daten2018_1985$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton)
View(gmd_pro_kanton)

#####
## 7. Ranking Kantone

##### 2007/08 bis 2018/19
## Mittelwert Abnahme und Zunahme pro Kanton

```



```

mwert_ab_kanton2018_2007<-tapply(daten2018_2007$Abnahme,daten2018_2007$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton,mean)
##Abnahme pro Kanton berechnen
dataframe_mwert_ab_kanton2018_2007<-data.frame(mwert_ab_kanton2018_2007) ## dataframe aus Medianwerten der Kantone
kantone=names(mwert_ab_kanton2018_2007) ##Namen der Kanton alphabetisch
mwert_ab_kanton2018_2007<-mutate(dataframe_mwert_ab_kanton2018_2007,Kanton=kantone) ## Namen der Kantone zu dataframe
hinzufügen

mwert_zu_kanton2018_2007<-tapply(daten2018_2007$Zunahme,daten2018_2007$Raumgliederungen_Gemeinden_csv_Kanton,mean)
##Zunahme pro Kanton berechnen
dataframe_mwert_zu_kanton2018_2007<-data.frame(mwert_zu_kanton2018_2007) ## dataframe aus Medianwerten der Kantone
kantone=names(mwert_zu_kanton2018_2007) ##Namen der Kanton alphabetisch
mwert_zu_kanton2018_2007<-mutate(dataframe_mwert_zu_kanton2018_2007,Kanton=kantone) ## Namen der Kantone zu dataframe
hinzufügen

mwert_kanton2018_2007<-inner_join(mwert_ab_kanton2018_2007,mwert_zu_kanton2018_2007)

## Distanz Mittelwert der Schweiz zu Kanton für Rangliste
mwert_kanton2018_2007<-mutate(mwert_kanton2018_2007,delta_ab2018_2007
=mwert_kanton2018_2007$mwert_ab_kanton2018_2007-mwert_ab2018_2007)
mwert_kanton2018_2007<-mutate(mwert_kanton2018_2007,delta_zu2018_2007
=mwert_kanton2018_2007$mwert_zu_kanton2018_2007-mwert_zu2018_2007)
mwert_kanton2018_2007<-mutate(mwert_kanton2018_2007,dist_mittelwert_2018_2007 =
sqrt((delta_zu2018_2007)^2+(delta_ab2018_2007)^2))

## Daten nach viertel Aufteilen. Oben links = 1, oben rechts = 2, unten links = 3, unten rechts = 4
mwert_kanton2018_2007_1<- filter(mwert_kanton2018_2007, mwert_zu_kanton2018_2007 > mwert_zu2018_2007 &
mwert_ab_kanton2018_2007 <= mwert_ab2018_2007)
mwert_kanton2018_2007_2<- filter(mwert_kanton2018_2007, mwert_zu_kanton2018_2007 > mwert_zu2018_2007 &
mwert_ab_kanton2018_2007 > mwert_ab2018_2007)
mwert_kanton2018_2007_3<- filter(mwert_kanton2018_2007, mwert_zu_kanton2018_2007 <= mwert_zu2018_2007 &
mwert_ab_kanton2018_2007 <= mwert_ab2018_2007)
mwert_kanton2018_2007_4<- filter(mwert_kanton2018_2007, mwert_zu_kanton2018_2007 <= mwert_zu2018_2007 &
mwert_ab_kanton2018_2007 > mwert_ab2018_2007)
View(mwert_kanton2018_2007_1)
##Überprüfen, ob alle Gemeinden irgendwo einbezogen und keine doppelt (Gleiche Anzahl Gemeinden wie vor dem Aufteilen)
count(mwert_kanton2018_2007_1)+count(mwert_kanton2018_2007_2)+count(mwert_kanton2018_2007_3)+count(mwert_kanton2018_
2007_4)

## Rangliste vom Viertel oben links; alle und Kernstädte; oberster Kanton am besten
rangliste_kanton2018_2007_1<-arrange(mwert_kanton2018_2007_1, desc(dist_mittelwert_2018_2007))
View(rangliste_kanton2018_2007_1)

## VERLIERER-Rangliste vom Viertel unten rechts; alle und Kernstädte; oberster Kanton am schlechtesten
rangliste_kanton2018_2007_4<-arrange(mwert_kanton2018_2007_4, desc(dist_mittelwert_2018_2007))
View(rangliste_kanton2018_2007_4)

## Plot: Veränderung alle Kantone von 2017/08 2018/19
plot(mwert_kanton2018_2007$mwert_ab_kanton2018_2007, mwert_kanton2018_2007$mwert_zu_kanton2018_2007,xlab=
"Abnahme",ylab = "Zunahme")
title("Veränderung 2007/08 bis 2018/19 aller Schweizer Kantone (Mittelwerte der Gemeinden)")
abline(a=0,b=1, col= gray(0.8))
abline(mwert_zu2018_2007,0)
abline(v=mwert_ab2018_2007)
points(mwert_ab2018_2007,mwert_zu2018_2007,pch=19,col="deepskyblue",cex=2) ## Mittelwert der gesamten Schweiz

```

Eigenständigkeitserklärung



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Eigenständigkeitserklärung

Die unterzeichnete Eigenständigkeitserklärung ist Bestandteil jeder während des Studiums verfassten Semester-, Bachelor- und Master-Arbeit oder anderen Abschlussarbeit (auch der jeweils elektronischen Version).

Die Dozentinnen und Dozenten können auch für andere bei ihnen verfasste schriftliche Arbeiten eine Eigenständigkeitserklärung verlangen.

Ich bestätige, die vorliegende Arbeit selbständig und in eigenen Worten verfasst zu haben. Davon ausgenommen sind sprachliche und inhaltliche Korrekturvorschläge durch die Betreuer und Betreuerinnen der Arbeit.

Titel der Arbeit (in Druckschrift):

Grünflächenveränderung in Siedlungsgebieten der Schweiz: Mit Fernerkundungsdaten zum Vergleich der Grünflächenveränderungen auf Gemeindeebene

Verfasst von (in Druckschrift):

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.

Name(n):

Felber

Vorname(n):

Silvana

Ich bestätige mit meiner Unterschrift:

- Ich habe keine im Merkblatt „Zitier-Knigge“ beschriebene Form des Plagiats begangen.
- Ich habe alle Methoden, Daten und Arbeitsabläufe wahrheitsgetreu dokumentiert.
- Ich habe keine Daten manipuliert.
- Ich habe alle Personen erwähnt, welche die Arbeit wesentlich unterstützt haben.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die Arbeit mit elektronischen Hilfsmitteln auf Plagiate überprüft werden kann.

Ort, Datum

Ballwil, 23.03.2020

Unterschrift(en)

S. Felber

Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich. Durch die Unterschriften bürgen sie gemeinsam für den gesamten Inhalt dieser schriftlichen Arbeit.