



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



# Naturräume unter Druck?

Eine naturwissenschaftliche Betrachtung der Veränderungen  
von wilden Räumen in der Schweiz seit 1985

Masterarbeit im Studiengang Umweltnaturwissenschaften  
Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich

Verfasst von: Robin Burch  
Matrikelnummer: 15-937-493

Referent: Prof. Dr. Felix Kienast, ETH Zürich/ WSL  
Koreferent: PD Dr. Matthias Bürgi, ETH Zürich/ WSL

27.04.2020, Zürich



# Zusammenfassung

Diese Masterarbeit hat zum Ziel, Landnutzungs-Dynamiken der letzten 30 Jahre im Zusammenhang mit der Wildnisdiskussion in der Schweiz zu untersuchen. Dazu werden zuerst sogenannte Landnutzungs-Trajektorien<sup>1</sup> definiert, um ablaufende Prozesse der Bodennutzung und -bedeckung zu verstehen. Exemplarisch werden diese Veränderungen anhand von Fallbeispielen graphisch aufbereitet. Im zweiten Teil werden diese Landnutzungs-Trajektorien verwendet, um die für die Wildnisqualität wichtigen Indikatoren über die letzten 30 Jahre zu berechnen: (1) Natürlichkeit der Bodennutzung, (2) menschlicher Einfluss (Fragmentierung, Infrastruktur, Bewirtschaftung), (3) Abgeschiedenheit (Zugänglichkeit) und (4) Rauheit der Topografie. Die Methodik orientiert sich an der Studie von Radford, et al. (2018), wurde aber auf eine historische Betrachtung angepasst. Durch die Verwendung verschiedener retrospektiv verfügbaren Datensätze ist es möglich, Veränderungen seit 1979/1985 zu untersuchen.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Landnutzung einer hohen Dynamik unterworfen ist. Dabei konnten verschiedene regional unterschiedliche Entwicklungen mit den Landnutzungs-Trajektorien herausgearbeitet werden: Im Alpenbogen sowie auf der Alpensüdseite folgt die Mehrheit der Veränderungen entweder einer Extensivierung (Einwachsen von aufgegebenen, ehemals extensiv genutzten Flächen bis hin zu Wald) oder natürlichen Prozessen, die beim Gletscherrückzug beginnen und durch Bodenbildung sowie durch Einwachsen von Vegetation den Trajektorien folgen. Im Mittelland und im Jura finden Extensivierungsprozesse kaum statt. Dort dominiert die Ausdehnung von Siedlungsflächen auf Kosten der Landwirtschaftsflächen. Diese Veränderungen wirken sich wesentlich auf drei der vier Indikatoren der Wildnisqualität aus. Dabei können auch hier regionale Unterschiede beobachtet werden: Im Jura hat die Wildnisqualität als Summe aller vier Indikatoren mit 0.34 Einheiten am stärksten abgenommen. Auch im Mittelland und im Alpenbogen hat sie abgenommen. Einzig auf der Alpensüdseite ist eine Zunahme vorhanden. Die Gründe für diese Veränderungen sind vielschichtig und regional unterschiedlich. Im Alpenbogen sind zwei gegenläufige Prozesse feststellbar: Die Extensivierung der Landnutzung führt zu einer erhöhten Natürlichkeit. Gleichzeitig nimmt aber - bedingt durch die Zunahme der (Verkehrs-)Infrastruktur, die Abgeschiedenheit ab bzw. der menschliche Einfluss zu. Im Mittelland und im Jura verringert der Siedlungsdruck die Wildnisqualität.

Obwohl sich die Mittelwerte der Wildnisqualität in den einzelnen Regionen nur wenig verändert haben, konnte gezeigt werden, dass sowohl die Kultur- als auch die Naturräume einer starken Veränderung unterworfen sind und unter Druck stehen, wobei die regionalen Unterschiede berücksichtigt werden müssen.

---

<sup>1</sup> Die Landnutzungs-Trajektorien wurden analog zum Sukzessionskonzept aus der Vegetationsökologie entwickelt. Anstelle der zeitlichen Entwicklung von Pflanzengesellschaften werden Entwicklungsprozesse der Bodennutzung und Bodenbedeckung betrachtet.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	1
Inhaltsverzeichnis .....	2
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1. Ausgangslage.....	4
1.1. Ziele und Fragestellung .....	5
<b>2. Grundlegende Konzepte für die Arbeit.....</b>	<b>6</b>
2.1. Raumkonzept Schweiz.....	6
2.2. Das Sukzessionskonzept .....	7
2.3. Das Wildniskonzept.....	9
2.3.1. Der Begriff Wildnis .....	9
2.3.2. Wildnis als Wert für Natur und Gesellschaft.....	10
2.3.3. Prozessschutz: Wildnis in Schutzgebieten .....	11
<b>3. Daten und Methoden .....</b>	<b>12</b>
3.1. Raum-zeitliche Geodaten.....	12
3.2. Landnutzung .....	15
3.2.1. Herleitung von Landnutzungs-Trajektorien zur Analyse der Landnutzungsdynamik ..	15
3.2.2. Darstellen von Landnutzungs-Trajektorien: Fallbeispiele .....	16
3.3. Vereinfachte Indikatoren der Wildnisqualität.....	17
3.3.1. Natürlichkeit .....	18
3.3.2. Abgeschiedenheit .....	19
3.3.3. Rauheit.....	21
3.3.4. Menschlicher Einfluss .....	22
<b>4. Resultate .....</b>	<b>25</b>
4.1. Landnutzungsveränderung .....	25
4.1.1. Veränderung 1985 -2009 .....	25
4.1.2. Veränderung 2009-2018 .....	30
4.1.3. Landnutzungs-Trajektorien.....	32
4.1.4. Fallbeispiele Nationalpark und Val Bedretto .....	34
4.2. Die Entwicklung der Wildnisqualität über die Zeit .....	38
4.3. Veränderung der Wildnisqualität .....	41
4.3.1. Natürlichkeit .....	41
4.3.2. Menschlicher Einfluss .....	46
4.3.3. Abgeschiedenheit .....	49
4.3.4. Kombination der Faktoren: die Veränderung der Wildnisqualität.....	52
4.4. Rekapitulation der wichtigsten Resultate.....	55
<b>5. Diskussion .....</b>	<b>58</b>
5.1. Methodik .....	58
5.1.1. Landnutzung.....	58
5.1.2. Simulation Wildnisqualität.....	58
5.2. Hohe Dynamik entlang der Landnutzungs-Trajektorien .....	63
5.3. Eine retrospektive Betrachtung der Wildnisqualität .....	65
5.3.1. Natürlichkeit: Zwei unterschiedliche Entwicklungen .....	65
5.3.2. Menschlicher Einfluss: Die Infrastrukturen nehmen zu.....	66
5.3.3. Abgeschiedenheit: Schweizweite Abnahme .....	66
5.3.4. Wildnisqualität: Schweizweit grosse Unterschiede .....	67
5.3.5. Die Landschaften verändern sich .....	69
5.3.6. Vergleich mit Wildnis-Studie von Radford, et al. (2018) .....	70

<b>6. Fazit .....</b>	<b>73</b>
6.1. Die Landschaft unter Druck.....	73
6.2. Wissenschaftliche Grundlagen als Basis für Entscheidungen nutzen .....	74
6.3. Die Wildnis – Potenzial für Forschung und Gesellschaft.....	74
<b>7. Literatur.....</b>	<b>76</b>
<b>A Anhang .....</b>	<b>79</b>
A.1. Einteilung in die Landnutzungs-Trajektorien .....	79
A.2. Hemorobie-Index .....	80
A.3. Prozentuale Veränderung der Kategorien 2009-2018.....	82
A.4. Landnutzungs-Trajektorien 2009-2018 .....	83
A.5. Fallbeispiele .....	84
A.6. Veränderungen der Natürlichkeit .....	87
A.7. Veränderungen der Abgeschiedenheit .....	89
A.8. Veränderungen des menschlichen Einflusses .....	91
A.9. Wildnisqualität 1997 .....	93
A.10. Veränderungen der Wildnisqualität .....	94
A.11. Eigenständigkeitserklärung.....	96

# 1. Einleitung

## 1.1. Ausgangslage

Die Landschaft und die Natur in der Schweiz sind geprägt von menschlichen Nutzungsformen, welche sich stetig verändern. Diese Veränderungen sind Ausdruck von Entwicklungen der Gesellschaft und ihrer Werte. Nicht nur den Einheimischen und den Touristen bieten Kulturlandschaften und naturbelassene Räume Möglichkeiten zur Erholung, Identifikation und Nutzung. Auch unsere Umwelt ist auf Naturräume angewiesen. Dieser Spagat zwischen den verschiedenen Nutzungen und der damit verbundene nachhaltige Umgang ist herausfordernd. Insbesondere in der Schweiz, wo die Nutzung und Planung unseres Umlandes Tradition hat. So sind die Täler meist bis hoch zu den Gipfeln geprägt von landwirtschaftlicher oder kultureller Nutzung. In tieferen Lagen dominiert das Mosaik aus Landwirtschaft, Siedlung und Wald, eingeteilt und geplant nach Nutzungsplänen. Die begrenzte Ressource Boden ist so zu einem kostbaren Gut geworden, welches den verschiedenen Bedürfnissen gerecht werden soll. Dabei stellt sich die Frage, in welchen Gebieten welche Bedürfnisse möglich und erwünscht sind. Besonders die landwirtschaftlich genutzten Flächen stehen hierbei unter Druck: Einerseits durch die Siedlungsausdehnung, andererseits durch Aufgabe von Kulturland. (Lauber, et al., 2014). Die durch die Landnutzung stark geprägten Habitate, in welchen viele Arten ihre ökologische Nische gefunden hatten, wurden durch die Intensivierung der Landwirtschaft und durch Meliorationen in Mitleidenschaft gezogen. In Alpgebieten kam es zu einer Polarisierung, welche bis heute anhält: Einfach zugängliche Gebiete werden intensiver genutzt, abgelegene und schwierig zugängliche Gebiete verbuschen und verwalden. (Lauber, et al., 2014). Dem Fördern von natürlichen Räumen als Kontrast zu den intensiv genutzten Flächen der Landwirtschaft und der Siedlungen kommt dadurch ein stärkeres Gewicht zu. So setzen die Ausdehnung der Siedlungsräume, die Intensität der Landwirtschaft, der Tourismus, aber auch der Klimawandel der Biodiversität zu. Das Buch *«Das Potenzial von Wildnis in der Schweiz»* hat versucht, diese Räume anhand einer GIS-Analyse zu eruieren (Moos, et al., 2019). Eine Überprüfung dieser Analyse wurde bisher nicht durchgeführt. Weiter zeigt diese Karte ein, mehr oder weniger, statisches Bild der Wildnisqualität. Eine historische Betrachtung kann dabei helfen die ablaufenden Prozesse sowie die Landnutzungsveränderungen zu verstehen. Dabei sind insbesondere Extensivierungs- und Sukzessionsprozesse wichtig, welche in der bisherigen Studie nur bedingt berücksichtigt wurden.

## 1.1. Ziele und Fragestellung

Diese Masterarbeit will die Dynamik der Landschaftsentwicklung im Hinblick auf die *Veränderung der Landnutzung* und die *Veränderung der Wildnisqualität* untersuchen. Diese beiden Hauptthemen werden zu Beginn für den Perimeter der ganzen Schweiz analysiert. Anschliessend werden wichtige Prozesse in kleineren Fallgebieten exemplarisch dargestellt. Die Fragestellungen der zwei Hauptthemen sind wie folgt:

(1) *Dynamik der Landnutzungsveränderungen*: Die Arealstatistik bietet hier Daten, um diese Veränderung seit den 1980er Jahren zu untersuchen. Besonderes Augenmerk richtet sich wegen der Wildnisdebatte auf Nutzungsaufgaben. Folgende Fragestellungen werden in diesem Zusammenhang bearbeitet:

- A) Welches sind die hauptsächlichsten Veränderungen in der Landnutzung? Welche systematischen Veränderungen finden dabei statt? Gibt es zeitliche und räumliche Unterschiede in der Veränderung der Landnutzung?
- B) Folgen diese Veränderungen bestimmten Gesetzmässigkeiten? Können daraus Prozesse abgeleitet werden. Gibt es zwischen den biogeographischen Regionen Unterschiede?

(2) *Veränderung der Wildnisqualität in der Schweiz*: Hier sollen die in (1) erarbeiteten Resultate mit der Wildnisdebatte verknüpft werden. Dazu wird versucht, die in Moos, et al., (2019) verwendeten Indikatoren für Wildnis (Natürlichkeit, Menschliche Einflüsse, Abgeschiedenheit) als Zeitreihe aufzuarbeiten und folgende Fragestellungen zu beantworten:

- A) Wie entwickelt sich die Wildnisqualität<sup>2</sup> schweizweit/ regional?
- B) Welche Veränderungen gibt es in Gebieten mit hoher Wildnisqualität? Konnten sich diese ausdehnen oder wurden sie zurückgedrängt?
- C) Können klare Gesetzmässigkeiten bezüglich Verlust/ Gewinn von Wildnisgebieten herausgearbeitet werden und in welchen Faktoren und Prozessen sind diese begründet?
- D) Besteht ein Zusammenhang zwischen den Nutzungsveränderungen, der Wildnisqualität und geographischen Gegebenheiten wie Höhe und Hangneigung?

---

<sup>2</sup> Unter Wildnisqualität wird in dieser Arbeit eine naturwissenschaftliche Quantifizierung von Wildnis verstanden, welche sich aus den Faktoren Natürlichkeit, menschlicher Einfluss, Abgeschiedenheit und Rauheit zusammensetzt (nach Carver, et al. 2012, abgeändert von Radford, et al. 2018).

## 2. Grundlegende Konzepte für die Arbeit

### 2.1. Raumkonzept Schweiz

Die Landnutzung in der Schweiz befindet sich in einem stetigen Wandel, getrieben von menschlichen Aktivitäten und natürlichen Prozessen. Mit dem Wachstum der Schweizer Bevölkerung, dem steigenden Platzbedarf und der höheren Mobilität entstehen neue Bedürfnisse und Konflikte. Der erhöhte Bedarf an Siedlungsflächen geht meist auf Kosten von Landwirtschaftsflächen. Dies, und der Produktionsdruck der Landwirtschaft, setzen ihrerseits die Biodiversität unter Druck. (Schweizerischer Bundesrat, 2012)

Da Boden eine beschränkte Ressource ist, sind Konflikte zwischen menschlicher Nutzung und Naturschutz, und somit auch zwischen Siedlungsflächen, Landwirtschaftsflächen und natürlichen Räumen vorprogrammiert. Daher bedarf es einer ganzheitlichen Konzeption, in welcher verschiedene Bedürfnisse abgedeckt werden. Das Raumkonzept der Schweiz versucht hier anzusetzen und gibt einen Rahmen für zukünftige Entwicklungen. Diese sind zwar nicht verbindlich, wurden aber in Zusammenarbeit mit Bund, Kantonen und Gemeinden erarbeitet und wollen damit einen Orientierungsrahmen schaffen. Das Raumkonzept beinhaltet mehrere Ziele und die daraus abgeleiteten Strategien. Eines dieser Ziele möchte die «natürlichen Ressourcen sichern». Die Strategie dazu beinhaltet eine Aufwertung der Siedlungen und Landschaften. Unter anderem soll das Siedlungsgebiet begrenzt und nach innen verdichtet werden, Kulturland erhalten bleiben und die Ansprüche des Waldes koordiniert werden. Dabei soll Raum für Biodiversität geschaffen werden. Zu letzterem Punkt wird folgendes geschrieben: «*Die Biodiversität in der Schweiz ist zu erhalten und zu fördern. Die Raumplanung kann dazu einen zentralen Beitrag leisten: Innerhalb und ausserhalb der Siedlungen müssen ausreichend grosse und qualitativ hochwertige Lebensräume für Tiere und Pflanzen sowie ausreichend Flächen und Gewässer mit natürlicher Dynamik erhalten und vernetzt werden. Für die Biodiversität sind nicht nur Naturschutzgebiete zentral, sondern auch städtische Räume und landwirtschaftlich extensiv genutzte Flächen. Vernetzungskorridore für Wildtiere sind langfristig sicherzustellen.*» (Schweizerischer Bundesrat, 2012). In dieser Masterarbeit wird insbesondere auf die oben erwähnten natürlichen Dynamiken sowie auf die Vernetzungen der Lebensräume eingegangen.



## 2.2. Das Sukzessionskonzept

Unter Sukzession wird in der Ökologie die Abfolge verschiedener Lebensgemeinschaften von Flora und Fauna verstanden, welche in einem Lebensraum ineinander übergehen (Spektrum, 2019). Die Sukzession wird durch Klima- und Umweltfaktoren gesteuert. In der Literatur bestehen verschiedene Konzepte, wie Sukzessionsprozesse ablaufen und welche Stadien wann und wo auftreten. Diskutiert wird oft über die Klimax- beziehungsweise Schlussgesellschaft, welche in einem System die finale Gesellschaft bildet. Eine heute gängige Theorie ist die von Hermann Remmert: das Mosaik-Zyklus-Konzept (Remmert, 1991). Diese versteht die Schlussgesellschaft als eine aus einem Mosaik bestehende räumliche Aggregation von Flächen, die in verschiedenen Stadien der Sukzession sein können, aber alle einem gewissen Endzustand zustreben. Dieser Endzustand wird immer wieder durch *Störungen*<sup>3</sup> wie Windschäden, Waldbrände, Rutschungen, Lawinen oder Borkenkäferbefälle aufgebrochen, was zu einem dynamischen System führt (Remmert, 1991; Spektrum, 2019). Es ist wichtig zu unterscheiden, ob die Veränderungen durch menschliches Zutun entstanden sind, oder ob natürliche Prozesse dafür verantwortlich sind. Obwohl von einer zyklischen Klimax ausgegangen werden kann, folgen die Veränderungen meist einer bestimmten Prozessabfolge, bis sie durch Störungen im Sukzessionsprozess zurückgeworfen werden. Dabei kann grundsätzlich die Sukzession in Primär- und Sekundärsukzession unterteilt werden. Bei der Primärsukzession beginnt der Prozess mit der Bodenbildung und der Besiedelung von Pionierpflanzen, wodurch erste Pflanzengemeinschaften entstehen. Der Ausgangszustand ist dabei stark ortsabhängig, bei Verlandungsprozessen sind beispielsweise die Wasserflächen der Ausgangszustand. Bei Gletscherrückzug ist der Ausgangszustand der Gletscher und anschliessend der Rohboden, welcher nach dem Rückzug zurückbleibt. Dieser wird dann durch Pionierarten besiedelt, welche keinen oder wenig Boden benötigen. Nach einer gewissen Zeit und nach der Bildung eines Bodens, welcher andere Arten begünstigt, werden die Pionierarten verdrängt. So begünstigen oder verhindern die Flora und Fauna sowie natürliche Prozesse den Übergang zu einem neuen Stadium. Bei der Sekundärsukzession besteht bereits eine Nutzung oder eine Pflanzengemeinschaft, welche den natürlichen Prozessen überlassen wird. Abhängig von natürlichen und klimatischen Bedingungen verändern sich die Ökosysteme dann entlang einer Sukzessionslinie weiter.

Abbildung 2-1 zeigt eine mögliche Sukzessionsabfolge. Dabei handelt es sich hierbei um eine Primärsukzession mit anschliessender Verwaldung. Bei einer Sekundärsukzession findet keine (oder nur marginale) Bodenbildung statt. Klimatische und biotische Faktoren können jedoch das Erreichen einzelner Stadien verhindern. So kann oberhalb der Waldgrenze oder an zu nassen Standorten beispielsweise

---

<sup>3</sup> Unter Störung wird in der Ökologie das Abweichen vom Normalfall in der Sukzessionsabfolge verstanden (Wohlgemuth, et al., 2019).

kein Wald aufkommen. Zu beachten ist, dass hier eine lineare Abfolge dargestellt wird. Es können jedoch auch einzelne Stadien übersprungen werden oder durch Störungen wieder zurückgeworfen werden.



Abbildung 2-1: mögliche Abfolge einer Sukzessionslinie

### Adaption des Sukzessionskonzeptes auf Landnutzungskategorien

Die Sukzessionsprozesse beziehen sich jeweils auf die Veränderung von Lebensgemeinschaften in einem Lebensraum. Die in der Schweiz verfügbare Arealstatistik verwendet jedoch nicht nur die Lebensgemeinschaften, sondern die Bodennutzung und die Bodenbedeckung. Daher kann bei den Veränderungen zwischen diesen Landnutzungen der Arealstatistik nur bedingt von Sukzessionsprozessen gesprochen werden. Jedoch ist das Konzept der Sukzession geeignet, die Veränderungen entlang eines bestimmten Landnutzungs-Pfades zu beschreiben, weshalb das Konzept adaptiert wird. Dabei wird von *Trajektorien* gesprochen. Der Begriff Trajektorie bedeutet ursprünglich *Flugbahn* und kommt aus der Physik, wird aber in der Ökologie und bei historischen Betrachtungen auf Veränderungsprozesse angewendet und zeigt den Verlauf von diesen Entwicklungen auf (De Cáceres, et al., 2019; Cambridge Dictionary, 2020).

In dieser Arbeit wird der Begriff *Landnutzungs-Trajektorie* verwendet, um die Landnutzungsveränderungen in einer zeitlichen Abfolge darzustellen. Konzeptionell orientiert sich die Arbeit dabei am Sukzessionsmodell von Remmert, wobei neben den Lebensgemeinschaften zusätzlich auch die Bodennutzung einbezogen wird. Analog wird auch das Konzept der Primär- und Sekundärsukzession adaptiert: für Prozesse der Bodenbildung und Vegetationsentwicklung nach Eisbedeckung wird beispielsweise der Begriff *Primäre Prozesse* verwendet. Für Veränderungen entlang einer Nutzungs-Extensivierung wird anstelle von Sekundärsukzession der Begriff *Sekundäre Prozesse* verwendet.

## 2.3. Das Wildniskonzept

Wildnis als Begriff wird oft in Zusammenhang mit Natur und Landschaft verwendet. Was Wildnis genau umfasst, ist jedoch meist von persönlichen Einstellungen und Werten geprägt. Im Buch «*Das Potenzial von Wildnis in der Schweiz*» wird auf verschiedene Definitionen und Sichtweisen eingegangen und wissenschaftlich untersucht (Moos, et al., 2019). Folgend werden die für diese Arbeit relevanten Punkte zur Wildnis zusammengefasst.

### 2.3.1. Der Begriff Wildnis

Für das Erstellen einer Wildnisqualitäts-Karte und die historischen Veränderungen wird eine naturwissenschaftliche Sicht auf die Wildnis verwendet, um diese mit räumlichen Daten zu quantifizieren. Dabei wird Wildnis wie folgt definiert:

*«Wildnis ist ein geographischer Raum ausreichender Grösse, in dem natürliche Prozesse überwiegen. Wildnis ist vom Menschen nicht oder kaum verändert und es gibt weder Siedlung, Infrastruktur noch durch Menschen verursachte visuelle Störungen. Wildnis ist aber nicht zwingend mit dem Ziel der freien Naturentwicklung als Wildnisgebiet geschützt.»* (Moos, et al., 2019)

Um die Wildnis räumlich zu bewerten, werden geographisch messbare Kriterien benötigt. Dabei werden vier verschiedene Faktoren verwendet: Natürlichkeit, menschlicher Einfluss, Abgeschiedenheit und Rauheit der Topographie (In Kapitel 3.3 wird näher auf die Kriterien eingegangen). Neben einer naturwissenschaftlichen Betrachtung der Wildnis gibt es auch eine gesellschaftlich-sozialwissenschaftliche Betrachtung der Wildnis. Dabei wird die Wechselwirkung der Wildnis mit dem Menschen miteinbezogen. So kann der Begriff positiv oder negativ konnotiert werden. Der Mensch wird hierbei als elementarer Bestandteil der Wildnis gesehen, weil er sie plant, erlebt und auch zulässt. Natur, welche sich frei entwickeln kann, ist dabei wesentlicher Bestandteil dieser Wildnis. Diese Entwicklungen können entweder passiv oder aktiv entstehen. Aktive freie Naturentwicklung beinhaltet die Entscheidung, der Natur bewusst die Möglichkeit zur freien Entwicklung zu geben und den menschlichen Aktivitäten zu entziehen. Dabei sind gerade diese Entscheidungen sich passiv zu verhalten ein aktives Vorgehen. Bei der passiven freien Naturentwicklung handelt es viel mehr um natürliche Sukzessionsprozesse, welche nicht durch bewusste Entscheide entstehen und meist von demographischen Veränderungen getrieben werden. Obwohl diese gesellschaftlich-sozialwissenschaftliche Betrachtung zentral ist für die Diskussionen rund um Wildnis, ist es schwierig, diese in räumlichen Geodaten darzustellen, weshalb die Quantifizierung der Wildnis in dieser Arbeit auf einer naturwissenschaftlichen Charakterisierung basiert.

### 2.3.2. Wildnis als Wert für Natur und Gesellschaft

Das Vorhandensein von Wildnis kann sowohl positiv als auch negativ bewertet werden. Der Schutz von Wildnis kann sowohl dem Menschen wie auch der Biodiversität von Nutzen sein. So dienen Wildnisgebiete als Rückzugsorte für Arten, welche in den Kulturlandschaften nur wenig Platz finden. Die natürliche Dynamik lässt Habitats zu, welche durch menschliches Zutun nur schwer erreicht werden. Besonders Störungen helfen dabei eine hohe Diversität an Lebensräumen zu schaffen. Größere Wildtiere geraten oft in Konflikte mit menschlich genutzten Flächen. In Wildnisgebieten können solche Arten Schutz finden. Auch kann Raum geschaffen werden, für Interaktionen und Evolutionsprozesse der Lebewesen, welche in den Kulturräumen keinen Platz finden. Für den Menschen bieten Wildnisgebiete Erholungs- und Inspirationsräume und fördern Regionalentwicklungen und Tourismus. Weiter können sie zu Forschung und Bildung beitragen. Neue Ökosystemdienstleistungen, wie die Speicherung von Kohlenstoff entstehen. Dabei spielt auch eine gesellschaftliche Verantwortung eine Rolle. Sei es als Vorbildfunktion oder der Verantwortung für den Schutz von Arten für unsere Nachkommen. (Moos, et al., 2019)

Als negativ wird hingegen der Verlust von Kulturland gesehen. Damit verbunden ist ein Verlust von Kultur, von Produktionsflächen und von Heimat und Identität, welche diese Flächen den Menschen bieten. Dabei wird oft die emotionale Bindung zur Umwelt gestört. Bei fortgeschrittener Sukzession ist auch die Bewirtschaftung und somit das wirtschaftliche Rückgrat einzelner Gebiete gefährdet. Obwohl die Sukzession meist die Folge und nicht die Ursache ist, wird diese als Negativ empfunden. Beim Unterschutzstellen von Gebieten kann auch der Verlust der Gestaltungsmöglichkeiten zu negativen Emotionen führen.

Um das Verhältnis zwischen den Menschen und der Natur zu verstehen, wurden im Buch von Moos, et al. (2019) Argumentationsmuster, welche zu verschiedenen Naturverständnissen führen, ausgearbeitet. Dabei sind «*der Zweck des menschlichen Umgangs mit der Natur (Intention); das Naturverständnis; die Position der Natur in Bezug auf den Menschen (die Hierarchie von Mensch und Natur) [und] der Charakter der Mensch-Natur-Beziehung*» entscheidend (Moos, et al., 2019). Je nach Ausprägung der Faktoren ergeben sich unterschiedliche Argumentationsmuster. Dabei kann ein solches Muster nicht einer Person zugeordnet werden. Die Muster können je nach Zeitpunkt und Situation variieren. Durch diese Unterschiede können die verschiedenen Sichtweisen auf die Wildnis erklärt werden und zeigen gleichzeitig die Schwierigkeiten auf, welche durch Wildnis-Prozesse ausgelöst werden.

### 2.3.3. Prozessschutz: Wildnis in Schutzgebieten

Mit der Gründung des ersten und einzigen schweizerischen Nationalparks wurden 1914 erste Grundpfeiler im Schweizer Naturschutz gelegt. Heute kennt die Schweiz verschiedene Natur- und Landschaftsschutzgebiete mit unterschiedlichsten Grössen und Zielsetzungen, welche auf verschiedenen politischen Ebenen definiert werden. Dabei werden, je nach Schwerpunkt, andere Massnahmen erarbeitet und umgesetzt. Im Grunde dienen die Natur- und Landschaftsschutzgebiete dem Erhalten oder Erstellen einer hohen Vielfalt, der Förderung der Biodiversität<sup>4</sup>, sowie von Kultur- und Naturlandschaften.

Für Wildnisgebiete von besonderer Bedeutung ist hierbei der Prozessschutz: Hier steht die freie Naturentwicklung im Zentrum. Die Idee des Prozessschutzes ist, dass in einem grösseren Gebiet verschiedene Stadien vorhanden sein können. Diese lassen Habitatsstrukturen zu, welche durch menschliches Eingreifen nur schwer zu erreichen sind (Rohner, et al., 2001). Störungen werden beim Prozessschutz zugelassen und bilden eine der Grundlage für die Diversität der Habitate. Dies kann jedoch dazu führen, dass die Artenzusammensetzung sich im Verlauf der Prozesse verändert und die Artenvielfalt abnehmen kann. Zu den Flächen, welche unter Prozessschutz stehen, gehören in der Schweiz die National- und Naturerlebnispärke sowie mehrere Naturwaldreservate (Schweizer Pärke, 2019; Eisenhut, et al., 2019). Im Bereich Landschaftsschutz gibt es neben einzelnen Pärken keine Schutzkategorien, welche explizit die Wildnis schützen. Jedoch werden im Bundesinventar für Landschaften und Naturdenkmäler (BLN) gewisse Naturdenkmäler, wie beispielsweise das Aletsch-Gebiet (auch UNESCO-Welterbe) geschützt, welche hohe Wildnisqualität aufweisen (Moos, et al., 2019; BAFU, 2020).

Neben dem Prozessschutz bestehen viele Flächen, welche unter statischem Schutz stehen. Diese sind für die Wildnis weniger bedeutend. Vielmehr steht in diesen Flächen der Artenschutz, der Biotopschutz sowie der Schutz von Einzelobjekten im Zentrum (Rohner, et al., 2001). Dabei sollen meist gewisse Stadien erhalten bleiben oder gefördert werden, wozu oft menschliche Eingriffe notwendig sind. Diese erzeugen Habitate mit dem Ziel, dass sie nicht mehr verschwinden. Natürlich ablaufende Prozesse werden unterbunden. Auch diese sind in einer stark genutzten und fragmentierten Landschaft für den Naturschutz essenziell und fördern die Vielfalt.

---

<sup>4</sup> Zur Biodiversität gehört neben der Artenvielfalt, der genetischen Vielfalt und der Vielfalt der Ökosysteme auch die Vielfalt der Wechselbeziehungen innerhalb und zwischen den Arten und den Ökosystemen. (Schweizerischer Nationalpark, 2020)

## 3. Daten und Methoden

Die folgenden Kapitel befassen sich mit der Methodik, welche angewendet wird, um die erwähnten Fragestellungen zu beantworten. Grundlage für die Durchführung der Simulationen und Analysen dienen verschiedene Geodaten. Die Untersuchungen der Landnutzungsveränderungen und zur Wildnisqualität werden mehrheitlich als GIS-Analyse durchgeführt.

### 3.1. Raum-zeitliche Geodaten

Für die räumlich-zeitlichen Analysen werden verschiedene Geodaten verwendet. Dazu gehören die Arealstatistiken, die Vector200-Geodaten (lineare Elemente aus der Landeskarte 1:200'000) und Erhebungen des Landesforstinventars (LFI). Die, für die räumlichen Gliederungen verwendeten Geodaten können bei Swisstopo frei bezogen werden.

#### Arealstatistik

Seit 1912 wird die Raumnutzung in der Schweiz statistisch erfasst. Diese und die darauffolgenden Erhebungen sind jedoch unvollständig und eignen sich nicht für ausführliche Analysen, da nur zwischen produktiven und unproduktiven Flächen unterschieden wurde (Bundesamt für Statistik, 2019a). Mit der neuen Erfassungsmethode für die Zeitperiode 1972/1985 wurde die Grundlage für statistische und räumliche Analysen geschaffen. Bei dieser Methode wird die Schweiz in 4.1 Millionen Stichproben im Abstand von 100 Metern (Hektar-Raster) unterteilt. Mittels Luftbilder wird jeder Hektarfläche eine Bodennutzung zugeordnet. Basierend auf diesen Grundlagen entstand 1992/1997 die nächste Erhebung. Mit der Erhebung 2005/2009 erfolgte eine weitere Methodenrevision, da neue technische und methodische Möglichkeiten vorhanden waren. Diese wurde rückwirkend bis zur Erhebung 1972/1985 angewendet und erlaubt so einen vollständigen Vergleich der Bodennutzungen (Bundesamt für Statistik, 2019b). Bei dieser Methodik wird für jedes Stichprobenraster (100x100 Meter) die reine Bodennutzung und die Bodenbedeckung interpretiert und anschliessend in der Standardnomenklatur kombiniert. Diese in 72 Grundklassen gegliederte Kategorisierung dient als Grundlage für diese Masterarbeit und wird als Bodennutzung bezeichnet. Die 72 Grundklassen können grob in vier Kategorien eingeteilt werden: Siedlungsfläche, Landwirtschaftsfläche, bestockte Flächen und übrige Naturräume. Durch Zeitreihen können Veränderungen zwischen den Kategorien untersucht werden (Bundesamt für Statistik, 2015).

Aktuell läuft die Auswertung der Erhebungsperiode 2013/2018. Die bereits vorhandenen Daten (es fehlen noch Teile der Ostschweiz und des Kantons Graubünden) fliessen auch in diese Untersuchung mit ein.

## Biogeographische Regionen

Um Unterschiede der Veränderung zwischen einzelnen Regionen sichtbar zu machen, wird eine geeignete Einteilung benötigt. Es ist grundsätzlich schwierig klare Grenzen in der Landschaft zu ziehen. Die biogeographischen Regionen der Schweiz bieten für diese Arbeit eine nachvollziehbare Gliederung, um regionale Unterschiede abzubilden. Dabei bezieht sich diese Einteilung auf einen statistischen Gliederungsansatz, wobei «faunistische und floristische Gegebenheiten» berücksichtigt wurden (Gonseth, et al., 2001). Für das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (heute Bundesamt für Umwelt) stellt diese Einteilung die Grundlage für Projekte im Naturschutz dar. Dabei wurde die Schweiz in sechs biogeographische Regionen, respektive zehn Unterregionen eingeteilt (Gonseth, et al., 2001). Für diese Arbeit werden die sechs Hauptregionen verwendet, wobei die Alpennordflanke in die Voralpen und die Nordalpen und die Alpensüdflanke in die Südalpen und das südliche Tessin aufgeteilt wurden. Dadurch ist eine Einteilung in acht Regionen entstanden (Abbildung 3-1).

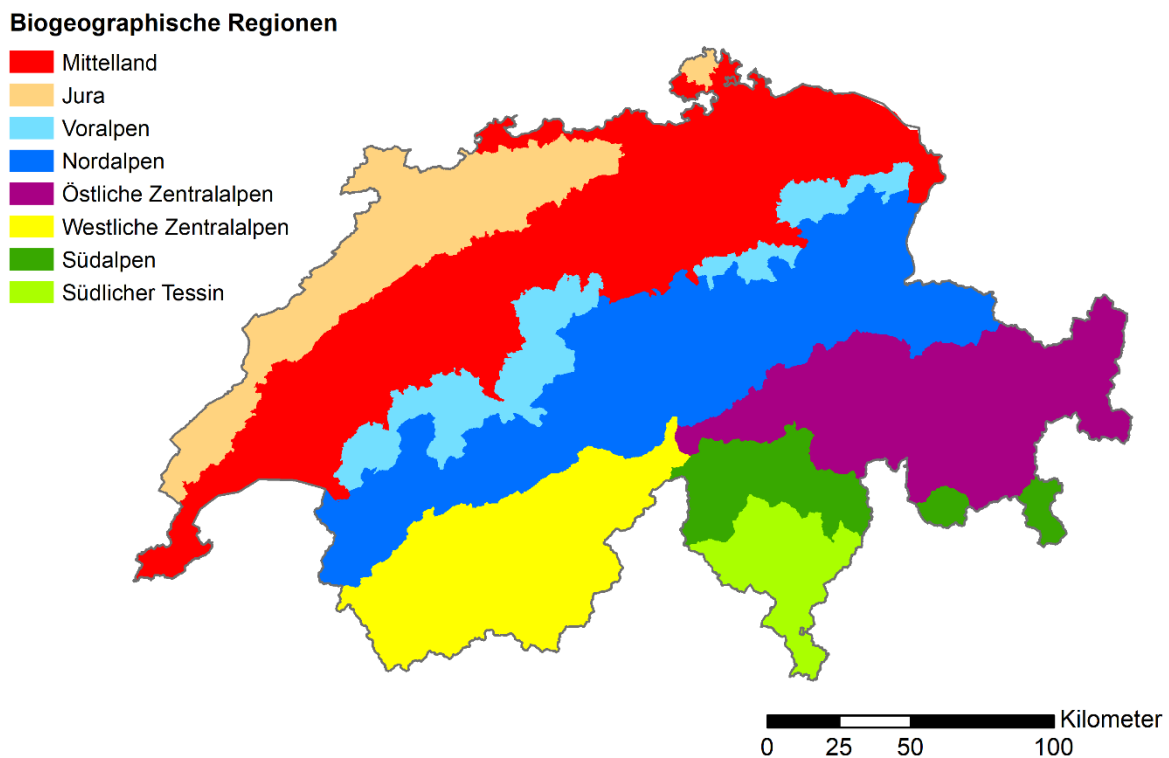


Abbildung 3-1: die biogeographischen Regionen der Schweiz (nach Gonseth, et al., 2001, verändert)

## Geodaten

Die verwendeten Geodaten, der Datentyp und die Datenquelle werden in Tabelle 3-1 aufgelistet. Um die Arealstatistik mit den Vektordaten zu kombinieren, wurde der zu jeder Arealstatistik-Zeitpunkt passendste Vector200-Datensatz verwendet. Obwohl die Ersterhebung der Vector200 Daten etwas später als die Arealstatistik erfolgte, wurde dieser als bestmögliche und früheste Ergänzung gewählt. Für das digitale Höhenmodell wurde keine Zeitreihe verwendet. In der Analyse wurden die Zeitschritte jeweils auf das letzte Erhebungsjahr ausgerichtet und dem entsprechend so bezeichnet: Also für die Arealstatistik 1979/1985 wird die Bezeichnung 1985 verwendet, für 1992/1997 die Bezeichnung 1997, für 2004/2009 die Bezeichnung 2009 und für die neuste Erhebung 2013/2018 die Bezeichnung 2018.

Tabelle 3-1: die Verwendeten Geodaten, die Datentypen und die Datenquelle

Geodaten	Datentyp	Datenquelle
Arealstatistik 1979/1985	Raster Dataset	Bundesamt für Statistik (2019)
Arealstatistik 1992/1997	Raster Dataset	Bundesamt für Statistik (2019)
Arealstatistik 2004/2009	Raster Dataset	Bundesamt für Statistik (2019)
Arealstatistik 2013/2018 (Stand 2019)	Raster Dataset	Bundesamt für Statistik (2019)
Vector200 Datensatz (Ersterhebung: 1988/1993 basierend auf der Landeskarte 1:200'000)	Feature Class (Point, Line, Polygon)	Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2000)
Vector200 Datensatz (Nachführung: bis 2000)	Feature Class (Point, Line, Polygon)	Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2003)
Vector200 Datensatz (Nachführung: bis 2009)	Feature Class (Point, Line, Polygon)	Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2009)
swissTLM Regio (Nachführung: bis 2019)	Feature Class (Point, Line, Polygon)	Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2019b)
Landesforstinventar 3 (LFI3: Erhebungszeitraum: 2004-2006)	Feature Class (Point)	Bundesamt für Umwelt BAFU und WSL (2010)
Digitales Höhenmodell DHM25	Raster Dataset	Bundesamt für Landestopografie swisstopo (1994)
Julitemperatur	Feature Class (Polygon)	Zimmermann und Kienast (1995)
SwissBOUNDARIES3D	Feature Class (Polygon)	Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2019a)
Einzugsgebietsgliederung Schweiz (EZGG-CH)	Feature Class (Polygon)	Bundesamt für Umwelt BAFU (2015)
Biogeographische Regionen der Schweiz	Feature Class (Polygon)	Bundesamt für Umwelt BAFU (2004)



## 3.2. Landnutzung

### 3.2.1. Herleitung von Landnutzungs-Trajektorien zur Analyse der Landnutzungsdynamik

Um die Dynamik der Landnutzung abzubilden, werden die Arealstatistiken der verschiedenen Zeitschritte miteinander verglichen. Die 72 Kategorien der Landnutzung werden neu klassifiziert. Flächen, welche zum Siedlungsgebiet gehören, werden in einer Klasse zusammengefasst, weil der Hauptfokus dieser Arbeit auf der Veränderung im ländlichen Raum liegt. Dadurch ergeben sich 34 Kategorien.

In einem ersten Schritt werden Gebiete ausgeschieden, in welchen es keine Veränderung der Landnutzung gegeben hat. Anschliessend wird für jede Hektarfläche der Arealstatistik, die sich zwischen den untersuchten Zeitschritten verändert hat, ein für jede Veränderung spezifischer Code generiert. Um die flächenmässig relevanten Prozesse abzubilden, werden nur solche berücksichtigt, welche auf mehr als 800 Hektar (entsprechen etwa 0.2‰ der Schweizer Landfläche) auftreten. Der Schwellenwert bei den Nettoflüssen liegt bei 1000 Hektar für die Zeitperiode 1985-2009 und bei 800 Hektar für die Zeitperiode 2009-2018. Dies, weil die Daten für 2018 nicht für die ganze Schweiz vorhanden sind. Anhand des Codes können nun die Prozesse herausgearbeitet werden. Mittels Mengenflussdiagrammen (Sankey-Plots) werden ablaufende Prozesse herausgearbeitet.

Die Mengenflussdiagramme geben Auskunft über die ablaufenden Prozesse. Somit können Extensivierungen, Intensivierungen und weitere wichtige Flüsse erkannt werden. Um festzustellen ob die ablaufenden Prozesse einem gewissen Muster folgen, werden die Kategorien und Veränderungen der Landnutzung in Landnutzungs-Trajektorien eingeteilt (Abbildung 3-2). Diese Einteilung erlaubt es, die Flüsse zwischen den einzelnen Kategorien in Sankey-Diagrammen abzubilden. Daraus kann abgeleitet werden, ob sich die Netto-Veränderungen entlang der Trajektorien verändern.

Diese Kategorisierung ist darauf ausgelegt, dass Waldgesellschaften die höchste Stufe darstellen. Dies bildet jedoch die Gegebenheiten in der Schweiz nur bedingt ab. Klimatische und geographische Gegebenheiten können das Aufkommen von Wald vermindern oder gar verhindern. So ergibt sich beispielsweise oberhalb der Waldgrenze eine andere Klimax-Landnutzung als im Mittelland. So können die absoluten Werte, besonders in höheren Lagen nur bedingt eine Aussage über die Trajektorien machen. Aussagekräftiger sind die relativen Veränderungen. Dadurch kann versucht werden, eine Aussage über natürlich ablaufende Prozesse zu machen, beziehungsweise eine Aussage über eine Intensivierung der Landnutzung. Die ausführliche Klassifizierung der Kategorien befindet sich im Anhang 7.A.1. Untersucht werden die Zeitschritte zwischen 1985 und 2009 und zwischen 2009 und 2018.

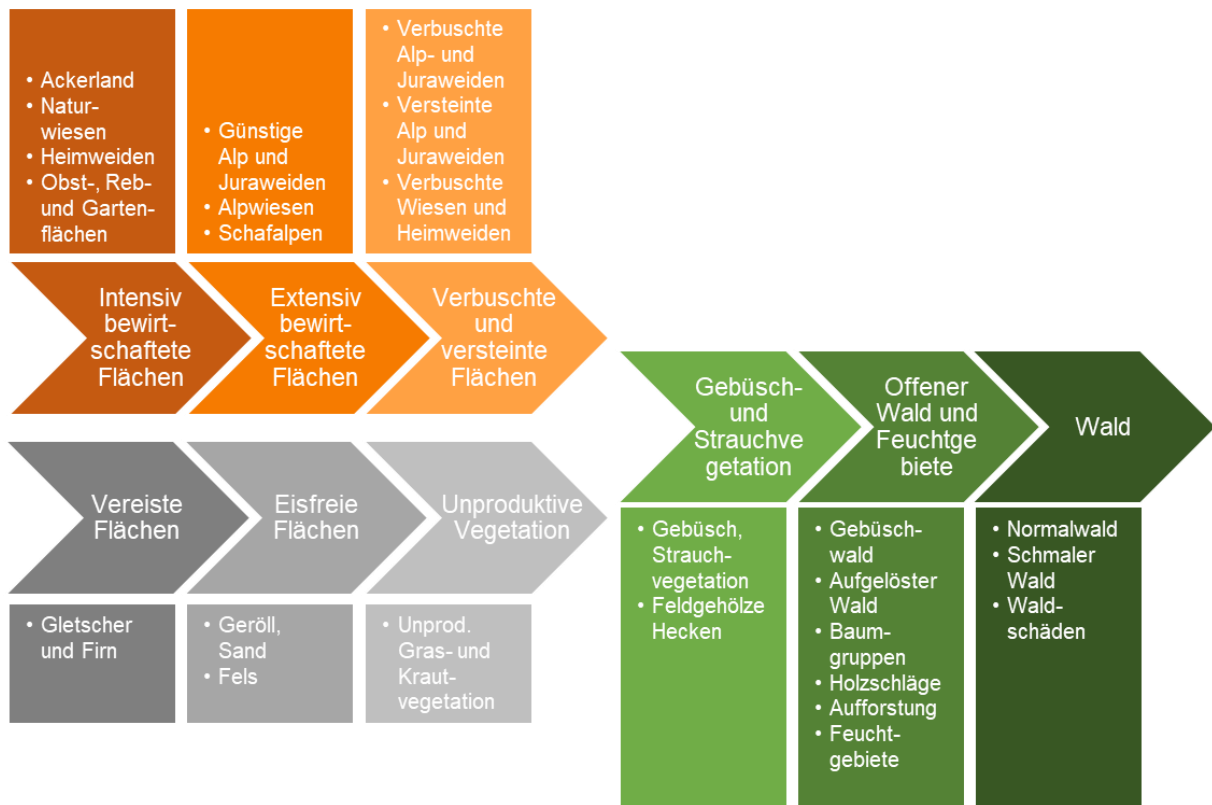


Abbildung 3-2: Grundsätzliche Abfolge der Landnutzungs-Trajektorien in der Schweiz seit 1985 anhand der Arealstatistik. Die Pfeile zeigen die Landnutzungsstufen, die Kästen die Einteilung der Arealstatistik. Links oben (Orange) befinden sich die Sekundär-Prozesse ohne Bodenbildung, welche sich an der Sekundär-Sukzession orientieren. Links unten (grau) befinden sich die Primär-Prozesse, welche sich an den Primär-Sukzessionen orientieren.

### 3.2.2. Darstellen von Landnutzungs-Trajektorien: Fallbeispiele

Um die Dynamik der Landnutzung kartographisch darzustellen, ist eine Betrachtung auf Fallebene sinnvoll. Die Veränderungen auf Hektarebene können dadurch besser veranschaulicht werden. Der Fokus liegt hierbei auf den Extensivierungsprozessen und den ausgearbeiteten Trajektorien der Landnutzung. Zur Darstellung der Karten und Ergebnisse werden die zehn Landnutzungs-klassifikationen der Trajektorien verwendet. Bei den Fallbeispielen handelt es sich nicht um repräsentative Flächen, sondern um Flächen, in welchen die verschiedenen Prozesse und Stadien der Extensivierung aufgezeigt werden können. Es besteht jeweils ein grosser Höhengradient, wodurch verschiedene Prozesse auf engem Raum abgebildet werden können. Weiter bestehen in den verschiedenen Gebieten unterschiedliche Schutzkategorien. Diese werden mit dem schweizerischen Nationalpark verglichen, welcher seit über 100 Jahren unter Prozessschutz steht. Die Fallgebiete befinden sich, mit Ausnahme des Nationalparks, in Regionen, in welchen die neuste Erhebung der Arealstatistik 2018 bereits publiziert wurde.

### 3.3. Vereinfachte Indikatoren der Wildnisqualität

Eine erste GIS-basierte Analyse der Wildnis in der Schweiz wurde 2018 von Sarah Radford, et al. erstellt und diente als Grundlage für das Buch *«Das Potenzial von Wildnis in der Schweiz»* von Sebastian Moos. In dieser Analyse wurde die zeitliche Komponente, also die Veränderung über die letzten Jahrzehnte, nicht simuliert. Hier setzt diese Analyse an. Dabei wird die Wildnisqualität für mehrere Zeitschritte simuliert. Eine Analyse, wie bei Radford, et al. ist aufgrund der Verfügbarkeit von verschiedenen Datensätzen in der Vergangenheit nicht möglich. Viele Indikatoren wurden erst nach der Jahrtausendwende erstellt, beispielsweise im Rahmen der Landschaftsbeobachtung Schweiz LABES (Kienast, et al., 2015). Um die Verschiedenen Zeitschritte miteinander zu vergleichen, ist eine über alle Zeitschritte konsistente Berechnungsmethode nötig. Daher basiert diese Analyse im Grunde auf der Arealstatistik der Schweiz, welche seit der Ersterhebung 1985 in den Jahren 1997 und 2009 wiederholt wurden, sowie aus den Vector200-Datensätzen von Swisstopo. Daher wird die Methodik angepasst. Die Grundsätze, auf welchen die Indikatoren basieren, werden jedoch aufgenommen: Die Wildnis-Qualität wird mittels der Indikatoren Natürlichkeit, Abgeschiedenheit, Rauheit und menschliche Einflüsse quantifiziert. Jeder dieser Indikatoren wird einzeln simuliert und anschliessend generalisiert, um die einzelnen Indikatoren miteinander zu verrechnen. Dabei werden die Indikatoren auf einer Skala von eins bis zehn neu klassifiziert. Die Verrechnung der einzelnen Indikatoren folgt der Gewichtung, welche Radford, et al. (2018) verwendet haben. Diese basiert auf Experteninterviews (Radford, et al., 2018).

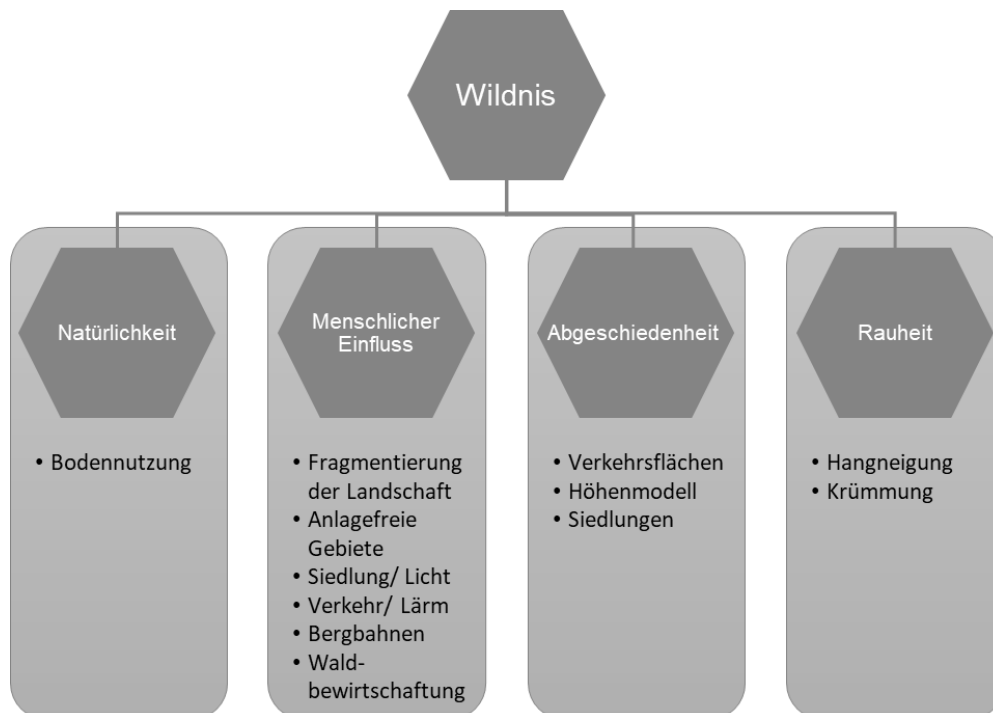


Abbildung 3-3: Die wichtigsten Parameter, welche für die Berechnung der Wildnisqualität verwendet wurden.

Folgende vier Kriterien werden für die Quantifizierung der Wildnis verwendet (nach Moos, et al., 2019):

1. **Natürlichkeit:** Die Bodennutzung gibt Aufschluss darüber, welche Pflanzengemeinschaften darauf wachsen und welche Nutzung auf den Flächen stattfinden. Die Natürlichkeit versucht diese Bodennutzungen nach Naturnähe einzuteilen.
2. **Menschlicher Einfluss:** Wildnisgebiete sollten möglichst wenig direkte Einflussfaktoren des Menschen beinhalten.
3. **Abgeschiedenheit:** Wildnis soll möglichst von der Zivilisation abgelegen oder schwer zu erreichen sein.
4. **Rauheit:** Die Rauheit der Topografie ist ein Indiz für hohe Variabilität an Lebensräumen und Prozessen.

Umgesetzt wird die Analyse in ArcMap 10.7.1 sowie in ArcGIS Pro von ESRI. Für die Reproduktion der Analyse wird mit Model-Builder von ESRI und Python-Scripts gearbeitet. Durch die Orientierung der Methodik an Radford, et al. können die Resultate miteinander verglichen werden.

### 3.3.1. Natürlichkeit

Die Natürlichkeit der Bodenbedeckung ist ein wichtiger Indikator, um menschliche Aktivitäten und Auswirkungen auf Habitate abzubilden. Im Wesentlichen setzt sich die Analyse aus den Elementen der Arealstatistik und der Höhenstufen zusammen.

Als Grundlage für den Natürlichkeits-Index dient wie in Radford, et al. (2018) die Bodennutzungs-klassifikation der Arealstatistik, welche die Landnutzungen der Schweiz abbildet und sich in 72 Kategorien gliedert. Über die Qualität der Habitate und über die Intensität der Nutzung innerhalb der Kategorie kann nur bedingt eine Aussage gemacht werden. Daher handelt es sich bei dieser Klassifizierung um Verallgemeinerungen, welche mehrheitlich aus Luftbildern abgeleitet werden. Diese werden in einer Rasterauflösung von 100x100 Metern zusammengefasst und lassen deshalb nur bedingt Rückschlüsse auf die Biodiversität zu.

Das Überführen der Landnutzungskategorien in den Natürlichkeitsindex orientiert sich teilweise am Hemerobie-Index, welche Radford, et al. (2018) verwendet haben. Diese Indexierung wird mit ablaufenden Sukzessionsprozesse ergänzt, wodurch insbesondere Waldflächen eine höhere Natürlichkeit aufweisen. Für Wälder und Wiesen wird die Neu-Klassifikation jeweils nach Höhenstufen anders klassifiziert. Dieses Vorgehen orientiert sich ebenfalls an Radford, et al. und verwendet als Abstufungen die Analysen von Zimmermann und Kienast (1995).

Durch die zeitliche Betrachtung können die Extensivierungsprozesse in den Natürlichkeits-Index eingebaut werden. Dazu werden die Landnutzungs-Trajektorien verwendet. Folgt die Veränderung einer dieser Trajektorien, so wird dieser Fläche der Natürlichkeitswert der Vorperiode zugewiesen, sofern dieser höher war. Verändert sich also beispielsweise eine unproduktive Vegetation zu einem Gebüsch weiter, würde sich die Natürlichkeit verringern. Da diese Veränderung aber als natürlicher Prozess betrachtet wird, wird dieser Fläche der höhere Natürlichkeitswert der unproduktiven Vegetation zugewiesen. Das Ziel ist es, dadurch die Natürlichkeit nicht zu verringern, wenn sich eine Fläche durch Extensivierung verändert.

Im Anhang 7.A.2 (Tabelle A-2) befindet sich die Klassifizierung der Natürlichkeit, wobei 1 naturnah und 10 für künstlich/naturfern steht (entsprechend zu Radford, et al. 2018). Für den Index wurden die Werte in die Skala 1 (tiefe Natürlichkeit) und 10 (hohe Natürlichkeit) überführt.

### 3.3.2. Abgeschiedenheit

Um die Abgeschiedenheit jeder Rasterzelle pro Zeitschnitt zu berechnen wird die Pfadentfernung (Path Distance, ArcGis-Tool) verwendet. Dabei werden die Kosten zwischen jeder Rasterzelle und den Siedlungsflächen berechnet, welche sich aus der Landnutzungsklassifizierung der Vector200-Datenreihe ergeben, definiert. Die Oberflächenentfernung berechnet sich aus der horizontalen und der vertikalen Distanz (Einbezug des digitalen Höhenmodells DHM25) und einem Kostenraster, welcher jeder Zelle die Kosten zuweist, welche beim Durchschreiten dieser Fläche entstehen. Dabei wird die Neigung der Oberfläche (Tabelle 3-2) und die Bodenbedeckung (Tabelle 3-3) berücksichtigt: Die Infrastruktur (Straßen, Bahnen und Fusswege) basiert auf dem Vector200 Datensatz und die Bodenbedeckung auf der Arealstatistik. Aus dieser Berechnung resultiert die Distanz jeder Rasterzelle zum nächstgelegenen Siedlungsgebiet (in Minuten). Die Distanz in Minuten wird anschliessend als Grundlage verwendet, um den Index der Abgeschiedenheit zu klassifizieren (Tabelle 3-4).

Tabelle 3-2: Kostenzuschlag für verschiedene Hangneigungen

Neigung [°]	Kostenzuschlag [%]
0-5	0
5-10	20
10-20	40
20-30	60
30-45	80
>45	100

Tabelle 3-3: Kategorien und die dazu verwendeten Geschwindigkeiten und Zeiten

Kategorie	Geschwindigkeit [km/h]	Zeit, um Zelle zu durchqueren [min/100m]
Strasse	30	0.2
Fahrstrasse	10	0.6
Bergbahnen	10	0.6
Fussweg	4	1.5
Siedlungsflächen (Arealstatistik Nr. 1-36, 68,71)	3	2
Landwirtschaft (Nr. 37-43, 55, 46, 49, 65)	3	2
Verbuschte und versteinte Flächen und Verbauungen (Nr. 44, 47, 48, 66)	2	3
Waldflächen (Nr. 50-56, 59, 60)	2	3
Dichter Bewuchs, Feuchtgebiete und Geröll (Nr. 57, 58, 64, 67, 70)	1	6
Fliessgewässer, Fels, Gletscher und Firn (Nr. 62, 63,69, 72)	0.5	12
Stehende Gewässer	Barriere	-

Tabelle 3-4: Wegkosten und der dazugehörige Index der Abgeschiedenheit

Wegkosten [min]	Index
0-30	1
30-60	2
60-90	3
90-120	4
120-180	5
180-240	6
240-360	7
360-480	8
480-600	9
>600	10

### 3.3.3. Rauheit

Die Rauheit der Landschaft basiert auf einer Analyse des digitalen Höhenmodells mit einer Auflösung von 25 x 25 Metern. Es wird angenommen, dass sie keiner zeitlichen Schwankung ausgesetzt ist. Aus dem Höhenmodell wurden zwei Parameter abgeleitet, namentlich Krümmung und Neigung. Die Krümmung (Curvature) wird wie bei Radford, et al. (2018) berechnet (Tabelle 3-5). Dabei wird aus dem Höhenmodell die Standardabweichung der Krümmung berechnet und neu klassifiziert. Dafür werden die im Radius von 250 Metern liegenden Zellenwerte berücksichtigt, wodurch das umliegende Sichtfeld in die Berechnung einbezogen wird. Bei dieser Berechnung werden konstant steile Gebiete nicht als besonders rau ausgewiesen. Dieser Aspekt wird beim Parameter Neigung berücksichtigt (Tabelle 3-6). Um diese zwei Parameter miteinander zu verrechnen, wird für jedes Rasterfeld das Maximum genommen.

Tabelle 3-5: Die Standardabweichung der Krümmung und der dazugehörige Index der Rauheit

Krümmung [STD]	Index
0 - 0.5	1
0.5 - 1	2
1 - 1.5	3
1.5 - 2	4
2 - 2.5	5
2.5 - 3	6
3 - 3.5	7
3.5 - 4	8
4 - 5	9
> 5	10
NoData	NoData

Tabelle 3-6: Hangneigung und der dazugehörige Index der Rauheit

Neigung [°]	Index
0 - 5	1
5 - 10	2
10 - 15	3
15 - 20	4
20 - 25	5
25 - 30	6
30 - 35	7
35 - 45	8
45 - 55	9
> 55	10
NoData	NoData

### 3.3.4. Menschlicher Einfluss

Der menschliche Einfluss berücksichtigt folgende Faktoren: Anlagefreie Gebiete, Fragmentierung der Landschaft, Siedlungsgebiet / Lichtemissionen, Verkehr und Lärm sowie Bergbahnen und Skilifte. Die Methodik orientiert sich am Vorgehen, welches auch Radford, et al. (2018) angewendet hat, aber nicht alle Datensätze sind retrospektiv verfügbar.

#### Anlagefreie Gebiete

Die Berechnung basiert auf den Vector200-Daten von Swisstopo: Gebäude, Verkehrsflächen (ohne Tunnel, welche länger sind als 1000m) und Einzelobjekten. Diese Vektordaten werden in einem ersten Schritt in Rasterdaten umgewandelt. Dabei wird für jedes 25x25m Rasterfeld die An- beziehungsweise Abwesenheit einer Anlage angegeben. Anschliessend wird für jede Zelle berechnet, wie viele Rasterfelder mit Anlagen in einem Radius von 500 Metern vorhanden sind. Die Zellauflösung wird auf 100x100m reduziert und anschliessend neuklassifiziert (Tabelle 3-7) um den Einfluss zu charakterisieren.

Tabelle 3-7: Bewertung der Anlagefreien Gebiete

Fläche [Anzahl Rasterzellen]	Anlage [% der Fläche]	Index
0	0	0
1-42	0-3.33	1
43-84	3.33-6.66	2
84-126	6.66-10	3
>126	>10	4

#### Fragmentierung der Landschaft

Um die Fragmentierung der Landschaft wiederzugeben, werden die Verkehrsflächen (ohne Fusswege und Fahrstrassen) des Vector200-Datensatzes mit den Gebäudedaten und den Siedlungsdaten zu einem Datensatz verschnitten. Dabei dient die Fläche der Schweiz als Rahmen. Anschliessend werden die Polygone, basierend auf ihrer Flächengrösse, in Rasterdaten mit einer Auflösung von 100x100m umgewandelt. Die Neuklassifizierung dient dazu, die Auswirkungen der Fragmentierung der Landschaft zu charakterisieren (Tabelle 3-8).

Tabelle 3-8: Grösse der Fläche ohne Fragmentierung

Fläche [km <sup>2</sup> ]	Index
0-10	4
10-25	3
25-50	2
50-100	1
>100	0



## Siedlung und Licht

Die Lichtmessungen, welche Radford, et al. (2018) für ihre Berechnungen verwendet haben, können für die historische Betrachtung nicht verwendet werden, da diese Zeitreihe nicht genügend weit zurück reichen. Daher wird, basierend auf den Landnutzungsdaten des Vektor200-Datensatzes, der Einfluss des Siedlungsgebietes und der Lichtverschmutzung simuliert. Im ersten Schritt wird die zusammenhängende Siedlungs-Polygonfläche anhand ihrer Grösse in ein Rasterdatensatz überführt und in drei Siedlungsgrössen unterteilt. Im nächsten Schritt wird für die jeweilige Siedlungsgrösse die Pfadentfernung zur nächstgelegenen Siedlung berechnet, wobei das digitale Höhenmodell berücksichtigt wird. Für die unterschiedlichen Siedlungsgrössen werden nun die Auswirkungen auf den menschlichen Einfluss charakterisiert (Tabelle 3-9).

Tabelle 3-9: Zusammenhang der Siedlungsgrössen, den Buffern und des Indexes

Siedlungsgrösse	Siedlungsfläche [km <sup>2</sup> ]	Entfernung zur Siedlung	Index
Klein	0-5	0-500	1
		>500	0
Mittel	5-10	0-500	2
		500-1000	1
		>1000	0
Gross	>10	0-1000	2
		1000-2000	1
		>2000	0

## Verkehr und Lärm

Neben den Lichtmessungen können auch die Lärmdaten, welche Radford, et al. (2018) verwendet haben, nicht für eine historische Betrachtung verwendet werden. Um negative Auswirkungen, welche der Strassen- und Schienenverkehr auf die Wildnis haben, einzubeziehen, werden die Verkehrsdaten des Vektor200-Datensatzes verwendet. Die Polylinien werden je nach Verkehrsintensität mit einem Buffer versehen, zusammengeführt, in ein Rasterdatensatz umgewandelt und am Ende neu klassifiziert (Tabelle 3-10).

Tabelle 3-10: Beeinträchtigung durch Verkehrsflächen

Kategorie	Buffer [m]	Index
Autobahn	250	2
Autostrasse	250	2
Hauptstrassen	100	2
Verbindungsstrassen	100	2
Eisenbahn	100	2

## Bergbahnen

Auch die Bergbahnen und Skilifte, welche im Vector200-Datensatz vorhanden sind, werden mit 250 Metern gebuffert, in Rasterdaten umgewandelt und mit einem Indexwert zwei versehen.

## Waldbewirtschaftung

Um die Intensität der Bewirtschaftung der Wälder zu beurteilen, wurden die Daten des letzten Eingriffes aus dem Landesforstinventars LFI genommen. Dieser Datensatz sagt nicht zwingend etwas über die Qualität der Habitate aus, zeigt aber in Richtung Extensivierung des Waldes. Da die LFI Daten als Stichproben erhoben werden, werden diese in dieser Analyse mit einem Buffer erweitert. Weiter wird die Annahme getroffen, dass in diesem Bereich die Bewirtschaftung des Waldes ähnlich funktioniert. Anschliessend wird diese Maske mit den Waldflächen verschnitten und neu klassifiziert. Dabei bekommen Flächen, welche seit 50 beziehungsweise seit 100 Jahren nicht mehr bewirtschaftet werden, einen tieferen menschlichen Einfluss (Tabelle 3-11). Da der Datensatz auf die Berechnung von 2009 ausgelegt ist, wurde für die Berechnungen der Jahre 1985 und 1997 die Zeitdifferenz von 24 respektive 12 Jahren abgezogen.

Tabelle 3-11: Einfluss des letzten Eingriffes im Wald auf den menschlichen Einfluss

Anzahl Jahre seit dem letzten Eingriff	Menschlicher Einfluss
0 – 50	NoData
50-100	-1
>100	-2

## Verrechnung

Um die verschiedenen menschlichen Einflüsse zu kombinieren, werden die Indizes vom Maximalwert (10) abgezogen. Werte unter eins werden dem Minimalwert (1) zugeordnet.

---

## 4. Resultate

### 4.1. Landnutzungsveränderung

Die generellen Entwicklungen der Landnutzungsveränderung wurden in der Reihe «Statistik der Schweiz» im Fachbereich «Raum und Umwelt» des Bundesamtes für Statistik (BFS) bereits aufgearbeitet. Die Publikation von 2015 hat die Veränderung zwischen 1985 und 2009 untersucht und zusammengefasst ( Bundesamt für Statistik, 2015). Diese werden nun ergänzt und mit neuen Aspekten erweitert. Dabei stehen die Veränderung im ländlichen Raum und die Extensivierung für die Zeitperioden 1985 und 2009 sowie 2009 und 2018 im Zentrum.

#### 4.1.1. Veränderung 1985 -2009

##### Dynamik der Landnutzung

Rund 7.46% der Schweizer Landfläche wurde 2009 als Siedlungsfläche ausgeschieden. Die restlichen 92.54% sind Landwirtschaft, bestockte Flächen und übrige Naturräume. Diese wurden in 33 weitere Kategorien unterteilt. Wird die Landnutzung zwischen 1985 und 2009 verglichen, zeigt sich, dass jede achte Fläche (12.82%) einer neuen Kategorie zugeordnet wurde. Dabei ist zu beachten, dass die Veränderungen innerhalb der Siedlungsflächen nicht berücksichtigt wurden. Aufgeschlüsselt nach Landnutzungsklassen können grosse Unterschiede in den Dynamiken ausgemacht werden (Abbildung 4-1). Innerhalb der bestockten Flächen weisen besonders die Aufforstungen (99.58%), die Waldschäden (99.34%) und die Holzschläge (98.92%) eine hohe Dynamik auf. Der Gebüschwald und insbesondere der Normalwald sind hingegen träge. Bei den Landwirtschaftsflächen ist die Dynamik nur bei den verbuschten Wiesen und Heimweiden gross (88.42%). Bei den übrigen Naturräumen zu beachten sind die Landschaftseingriffe, welche eine hohe Dynamik aufweisen (99.48%).

Bei den Kategorien mit hoher Dynamik kann eine starke Zunahme oder eine starke Abnahme vorhanden sein. In gewissen Kategorien gleichen sich die Zu- beziehungsweise Abnahme in etwa aus. Zwischen 1985 und 2009 haben die Waldschäden besonders stark zugenommen. Auch die Flächen der Holzschläge überwiegen jenen die wieder zugewachsen sind deutlich. Beispiele für starke Abnahmen sind die Aufforstungen, die Landschaftseingriffe, die verbuschten Wiesen und Heimweiden. Auch zu beachten ist die grosse Abnahme der Gletscher und Firnflächen.

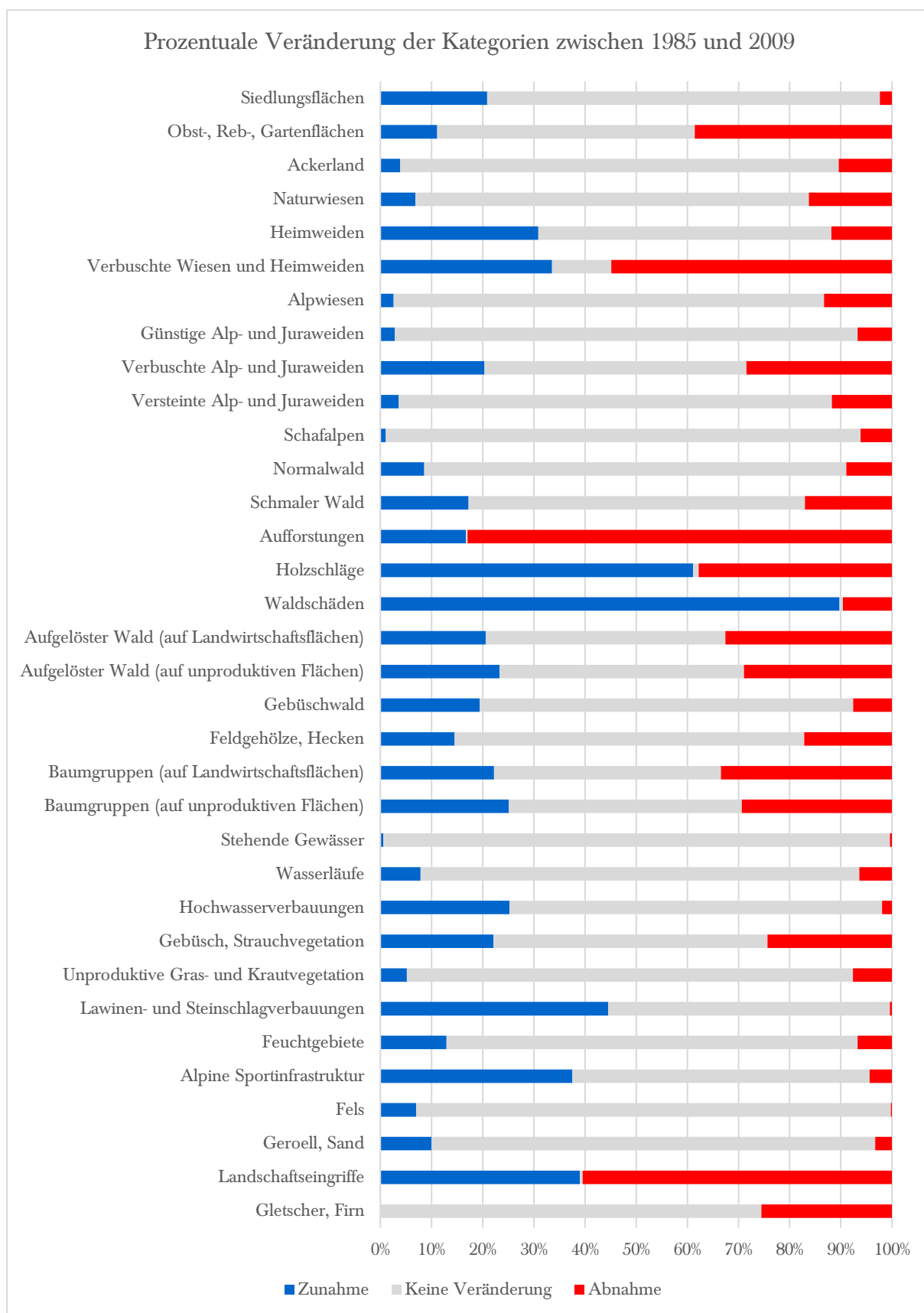


Abbildung 4-1: Prozentuale Veränderung der Kategorien zwischen 1985 und 2009

## Veränderungsflüsse

Folgend werden die Nettoflüsse (mehr als 1'000 Hektar) zwischen den Landnutzungskategorien betrachtet, wobei die Pixelgrösse 100x100 Meter beträgt. Dabei gilt es zu beachten, dass nur solche Flächen abgebildet werden, welche sich verändern. Es werden keine absoluten Werte der Kategorien dargestellt. Im Grunde können zwei voneinander unabhängige Mengenflüsse unterschieden werden. So gibt es die Veränderungen innerhalb der intensiven Landwirtschaftsflächen und die Flüsse hin zu den Siedlungsflächen (Abbildung 4-2) sowie die Flüsse, bestehend aus der extensiven Landwirtschaft, den bestockten Flächen und den übrigen Naturräumen (Abbildung 4-3). Bei den Abbildungen führen die Flüsse jeweils von links nach rechts und zeigen die Veränderungen der Landnutzung zwischen den Kategorien. Sind die Zuflüsse (links) grösser, als die Abflüsse (rechts) nimmt die Fläche der Kategorie zu.

Die intensive Landwirtschaft und die Siedlungsflächen sind eng miteinander verbunden. Obwohl auch einzelne Flächen vom Siedlungsgebiet in andere Kategorien übergegangen sind, ist der Nettofluss jeweils immer in Richtung Siedlungsflächen. Bei den Obst-, Reb- und Gartenflächen hingegen gehen die Nettoflüsse jeweils weg in Richtung Naturwiesen (6'845ha), Heimweiden (6'321ha) und Siedlungsflächen (8'686ha). Abbildung 4-2 zeigt die grossen Flächenzuwächse der Heimweiden und der Siedlungsflächen. Die Gewinne der Heimweiden gehen auf Kosten der Naturwiesen (21'523ha), des Ackerlandes (12'741ha) und der Obst-, Reb- und Gartenflächen. Dasselbe gilt für die Siedlungsflächen, wobei noch

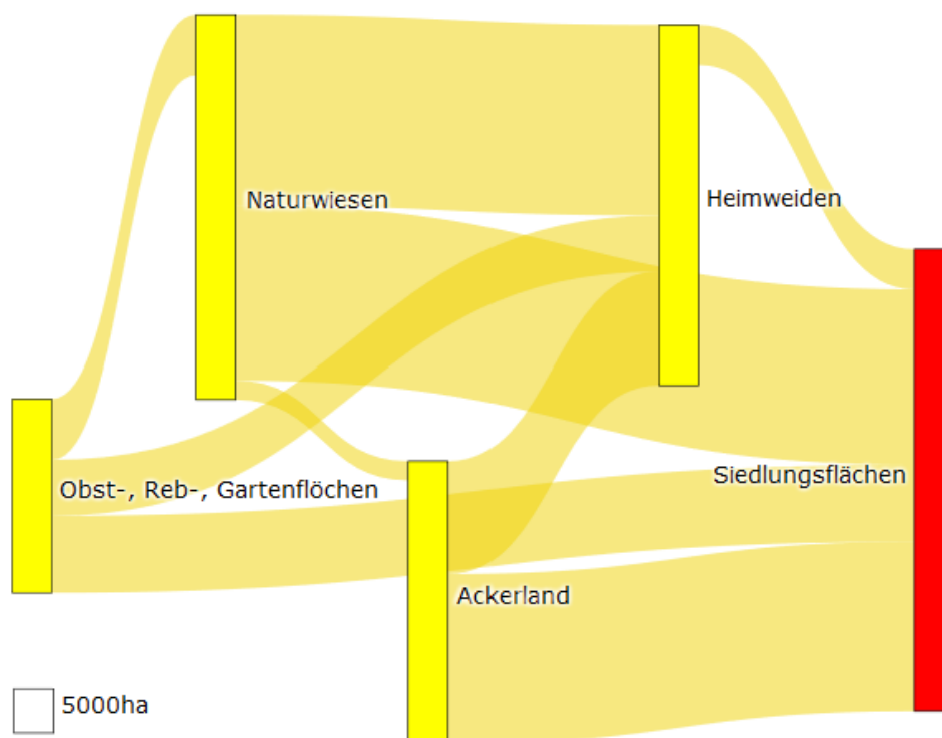


Abbildung 4-2: Veränderungen in der Landnutzung zwischen 1985 und 2009: Dargestellt sind die intensiven Landnutzungsklassen, welche Nettoveränderungen grösser als 1000 Hektar aufweisen.

Flächen von den Heimweiden dazu kommen. So können auch die starken Zuwächse der Heimweiden und der Siedlungsflächen, welche bereits in Abbildung 4-1 aufgefallen sind, erklärt werden. Die verbuschten Wiesen und Heimweiden, welche ein Hinweis auf eine Extensivierung der Landwirtschaft geben würden, werden in der Abbildung nicht ausgewiesen. Dies, weil dieser Prozess beinahe nicht vorhanden ist.

Bei der extensiven Landwirtschaft (gelb), den übrigen Naturräumen (grau), und den bestockten Flächen (grün) können klare Muster der Nettoflüsse erkannt werden, welche sich meist hin zu Normalwald entwickeln. Die Prozesse beginnen entweder von den Gletscher- und Firnflächen oder von den Alp- und Juraweiden aus (Abbildung 4-3).

Die abschmelzenden Gletscher- und Firnflächen verändern sich einerseits zu Felsflächen (14'122ha), andererseits zu Geröll- und Sandflächen (24'330ha). Die Felsflächen verändern sich anschliessend kaum, da diese mehrheitlich im Hochgebirge liegen und die Bodenbildung, wenn überhaupt, nur sehr langsam voranschreitet. Die Geröll- und Sandflächen hingegen gehen über in unproduktive Gras- und Krautvegetationen (4'856ha). Es kann eine Bodenbildung einsetzen, wodurch erste Pflanzen diese Flächen besiedeln können. Die Differenz zwischen Zu- und Abflüssen bei den Geröll- und Sandflächen deutet darauf hin, dass das Abschmelzen und Freiwerden dieser Flächen schneller voranschreitet als die Bodenbildung im Anschluss. Zu beachten gilt hierbei, dass die Zuwächse mehrheitlich in hohen Lagen

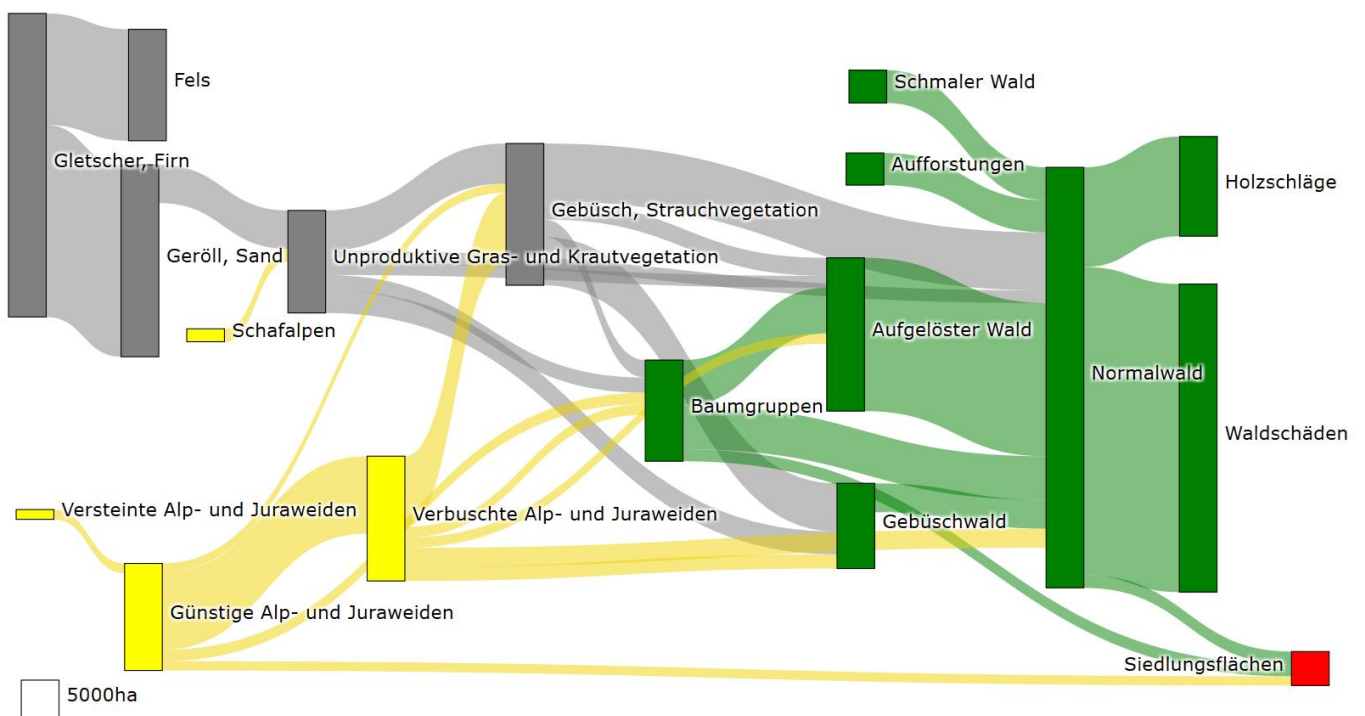


Abbildung 4-3: Veränderungen der Landnutzung zwischen 1985 und 2009: Extensive Landnutzung. Abgebildet sind Nettoveränderungen grösser als 1000 Hektar.

dazukommen und die Abgänge in tieferen Lagen, wo die Flächen bereits länger eisfrei sind, weggehen. Daher ist es schwierig auf die Verweildauer in den einzelnen Kategorien zu schliessen. Die unproduktiven Gras- und Krautvegetationen weisen eine negative Bilanz auf. Die Zuflüsse der Geröll- und Sandflächen, sowie der Schafalpen (1'639ha) vermögen die Abgänge nicht zu kompensieren. Bei den Abgängen handelt es sich um Verbuschungs- und Verwaldungsprozesse. Wie die Abbildung zeigt, können diese Prozesse über mehrere Stufen ablaufen oder auch einzelne Stufen überspringen. So verändern sich die unproduktiven Gras- und Krautvegetationen über Gebüsch- und Strauchvegetationen (5'080ha) hin zu Baumgruppen und diese wiederum über aufgelöste Wälder hin zu Normalwald oder über Gebüschwälder hin zu Normalwald. Es gibt auch Flächen, welche zwischen 1985 und 2009 direkt von unproduktiven Gras- und Krautvegetationen in Normalwald(1'596ha) übergegangen sind. Diese Veränderungen hin zu Normalwald mit den Zwischenschritten ist auch bei den Gebüsch- und Strauchvegetationen, den Baumgruppen, den Gebüschwäldern und den aufgelösten Wäldern vorhanden.

Bei der extensiven Landnutzung sind ähnliche Prozesse vorhanden. So verändern sich die günstigen Alp- und Juraweiden mehrheitlich hin zu verbuschten Alp- und Juraweiden (9'798ha). Vereinzelt verändern sie sich auch zu Gebüsch- und Strauchvegetationen (1'149ha) und Baumgruppen (1'436ha) oder zu Siedlungsflächen (1'181ha). Die verbuschten Alp- und Juraweiden verändern sich weiter hin zu Gebüsch- und Strauchvegetationen (8'972ha), zu Baumgruppen (1'345ha), zu Gebüschwald (1'749ha) und zu Normalwald (2'409ha).

Der Normalwald wiederum verändert sich mehrheitlich hin zu Waldschäden (39'032ha), Holzschlägen (12'627ha) und vereinzelt auch zu Siedlungsflächen (1'614ha). Diese sind jedoch räumlich losgelöst von den Gebieten in den Alpen. Dabei gleichen sich die Veränderungen hin zu Normalwald und vom Normalwald weg in etwa aus. Wobei die Zuwächse im Alpenraum geschehen und die Abgänge mehrheitlich im Mittelland und den Voralpen. Weiter zu beachten ist, dass die Dynamiken bei den Waldschäden und den Holzschlägen sehr hoch sind und die Veränderungen fast ausschliesslich mit dem Normalwald interagieren. Mehr als 99% der Flächen sind einer Veränderung unterworfen (Siehe Abbildung 4-1). Dies bedeutet, dass viele Flächen zwar vom Normalwald weggehen, diese aber in den nächsten Jahren sich wieder zurück verändern.

## 4.1.2. Veränderung 2009-2018

Bei den folgenden Resultaten ist zu beachten, dass diese auf der Arealstatistik 2018 aufbaut, welche bisher nicht für die ganze Schweiz vorhanden war. Die Veränderungen, welche im Osten der Schweiz ablaufen, können nicht berücksichtigt werden. Des Weiteren ist zu beachten, dass diese Resultate die Veränderungen zwischen 2009 und 2018 zeigen. Dies bedeutet, dass zwischen den Erhebungen neun Jahre liegen. Die Resultate im Kapitel 4.1.1 beziehen sich hingegen auf die Veränderungen zwischen 1985 und 2009, was einem Zeithorizont von 34 Jahren entspricht.

### Dynamik der Landnutzung

Grundsätzlich können ähnliche Muster wie bereits in der Zeitperiode 1985-2009 erkannt werden. Grössere Unterschiede können bei den Aufforstungen, den Holzschlägen, den Waldschäden, dem aufgelösten Wald und den alpinen Infrastrukturen ausgemacht werden (Anhang 7.A.3, Abbildung A-1). Bei den Aufforstungen und den Holzschlägen zeigt sich, dass, im Gegensatz zur Zeitperiode 1985-2009, weniger Flächen einer Veränderung unterworfen sind. Dies ist jedoch auf den kürzeren Zeitraum, welcher betrachtet wird, zurückzuführen. Bei den Waldschäden zeigt sich nach einer starken Zunahme der Flächen nun eine starke Abnahme dieser Flächen. Auch die alpinen Infrastrukturen nehmen nach einem starken Wachstum zwischen 1985 und 2009 nun Flächenmässig wieder ab. Die Zu- beziehungsweise Abnahmen verändern sich insgesamt weniger stark, was auf die kürzere Untersuchungsperiode zurückzuführen ist.

### Veränderungsflüsse

Bei der intensiven Landwirtschaft und den Siedlungsflächen sind die Veränderungen zwischen den Kategorien grundsätzlich ähnlich wie in der Zeitperiode 1985-2009. Aufgrund der kürzeren Zeitperiode sind die Veränderungen kleiner. Dabei wurde der Schwellenwert bei den Abbildungen von 1'000 Hektar auf 800 Hektar gesenkt. Die grössten Zuwächse können weiterhin die Siedlungsflächen und die Heimweiden beziffern. Dies auf Kosten des Ackerlandes, der Naturwiesen und der Obst-, Reb- und Gartenflächen. Neu verändern sich mehr Flächen vom Ackerbau hin zu Naturwiesen als dies in der Zeitperiode 1985-2009 der Fall war. Hinzu kommt des Weiteren die Veränderung von Naturwiesen hin zu Feuchtgebieten. Dieser Zuwachs der Feuchtgebiete auf Kosten der Naturwiesen findet fast ausschliesslich im Kanton Schwyz statt.



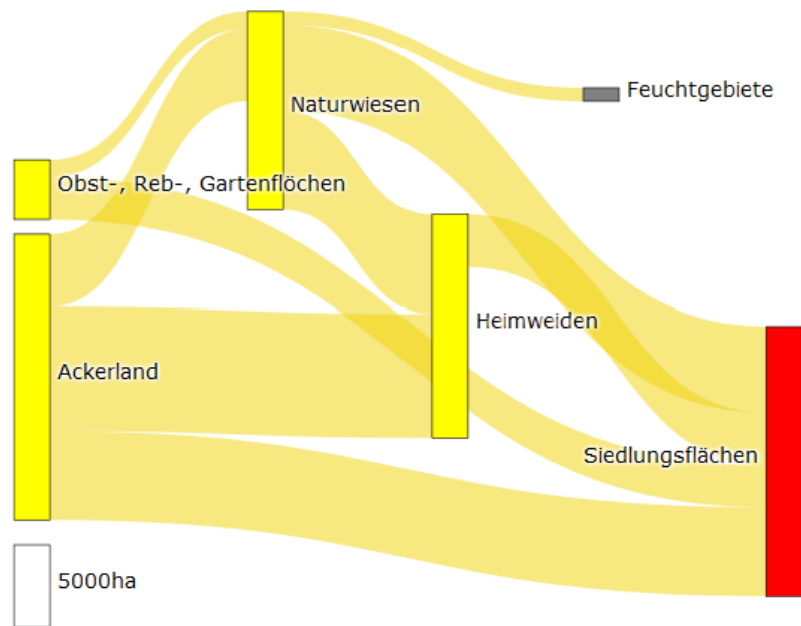


Abbildung 4-4: Veränderungen der Landnutzung 2009-2018: Intensive Nutzung. Abgebildet sind Nettoveränderungen grösser als 800 Hektar.

Auch bei der extensiven Landwirtschaft (gelb), den übrigen Naturräumen (grau), und den bestockten Flächen (grün) werden im Grundsatz die Muster, welche zwischen 1985 und 2009 aufgetreten sind, bestätigt. Die Veränderungen verlaufen zwischen 2009 und 2018 vermehrt über die einzelnen Zwischenschritte. Dies zeigt sich beispielsweise bei den verbuschten Alp- und Juraweiden. Diese verändern sich nun hauptsächlich in Richtung Gebüsch- und Strauchvegetation oder Baumgruppen. Die Entwicklungen hin zu aufgelösten Wäldern oder Normalwald sind nicht mehr so gross. Bei den übrigen Naturräumen fällt auf, dass auch Fels sich zu unproduktiven Flächen entwickelt und die Abnahme der unproduktiven Gras- und Krautvegetationen kleiner sind. Bei den bestockten Flächen fällt auf, dass nun die Waldschäden netto nicht mehr zugenommen, sondern wieder abgenommen haben. Diese entwickeln sich wieder zu Normalwald oder zu aufgelösten Wäldern, welche im Verlauf der Zeit wahrscheinlich wieder zu Normalwald werden. Auch die Holzschläge entwickeln sich zu aufgelösten Wäldern. Nahm in der Zeitperiode 1985-2009 die Normalwald-Fläche noch leicht ab, nimmt sie in dieser Periode zu.

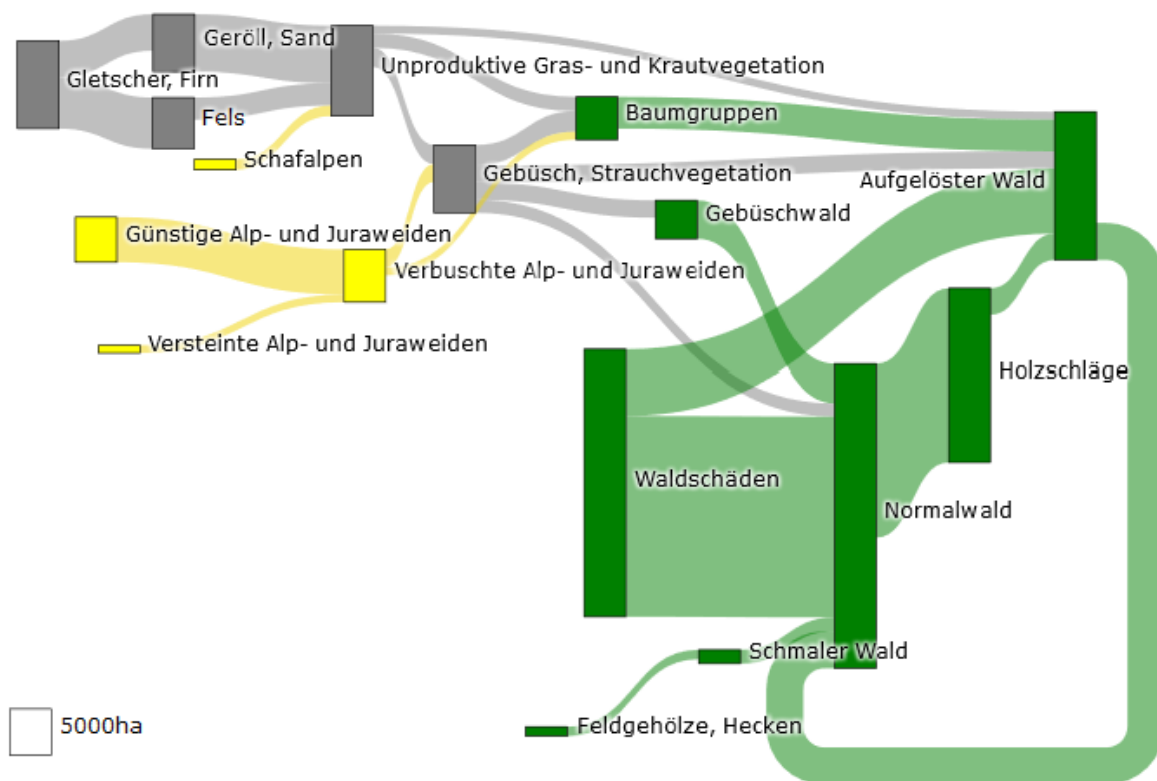


Abbildung 4-5: Veränderung der Landnutzung zwischen 2009 und 2018: Extensive Nutzung. Abgebildet sind Nettoveränderungen grösser als 800 Hektar.

### 4.1.3. Landnutzungs-Trajektorien

Im Grunde unterscheiden sich die Landnutzungs-Trajektorien zwischen 1985 und 2009 (Abbildung 4-6) sowie 2009 und 2018 (Anhang 7.A.4 Abbildung A-2) nicht stark. Die Unterschiede bestehen darin, dass der Wald sich in der Periode 2009-2018 teilweise in offene Wälder verändert. Was mit dem Einwachsen der Waldschäden über offene Wälder und den Holzschlägen im Mittelland zusammenhängt. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass vereinzelt extensive Nutzung in intensive Nutzung überführt wird und die intensive Nutzung in offene Wälder und Feuchtgebiete übergeht.

Die Abbildung 4-6 zeigt die wichtigsten Veränderungen der Landnutzungs-Trajektorien zwischen 1985 und 2009. Dabei können zwei gegenläufige Prozesse beobachtet werden: einerseits eine Intensivierung der Nutzung und andererseits das Ablaufen von natürlichen Landnutzungs-Trajektorien. Die Intensivierung basiert mehrheitlich auf den Veränderungen der intensiven Landwirtschaft hin zu Siedlungsflächen. Auch verändern sich mehr Flächen der extensiven Nutzung, der offenen Waldflächen und der Wälder hin zu Siedlungsflächen, als in Gegenrichtung. Die Auflösung von Siedlungsflächen findet nur sehr selten statt: Ist eine Fläche einmal überbaut, wird dies meist nicht mehr rückgängig gemacht.

Alle weiteren relevanten Prozesse führen von einer tieferen zu einer höheren Landnutzungsstufe. Die Hauptveränderungen der Extensivierung führen von extensiver Nutzung über verbuschte und versteinte Flächen hin zu Gebüsch und Sträucher. Dabei handelt es sich um Sekundär-Prozesse, bei welchen die Bodenbildung bereits mehrheitlich abgeschlossen ist und meist eine Nutzung aufgegeben wird. Weiter finden auch Primär-Prozesse statt: Dazu gehört das Abschmelzen der Vereisten Flächen, das Einwachsen der eisfreien Flächen, sowie das Aufkommen der Gebüsch und Sträucher. Sowohl die verbuschten und versteinten Flächen der Sekundär-Prozesse wie auch die unproduktive Vegetation der Primär-Prozesse entwickeln sich zu offenen Waldflächen und anschliessend zu Wald.

Die Landnutzungs-Trajektorien sind regional stark unterschiedlich. Im Mittelland, wo viele Flächen intensiv genutzt werden, ist die Siedlungsausdehnung der entscheidende Prozess. In den Hochalpen, wo sich die Mehrheit der vereisten und eisfreien Flächen sowie die unproduktiven Vegetationen befinden, finden mehrheitlich Primär-Prozesse statt. Befindet sich die Fläche oberhalb der Waldgrenze, können auch keine Waldflächen einwachsen, wodurch die unproduktiven Vegetationen oder allenfalls die Gebüsch und Sträucher das finale Stadium darstellen können. Auf den extensiv bewirtschafteten Alp- und Juraweiden kann ein Sekundär-Prozess nachgewiesen werden.

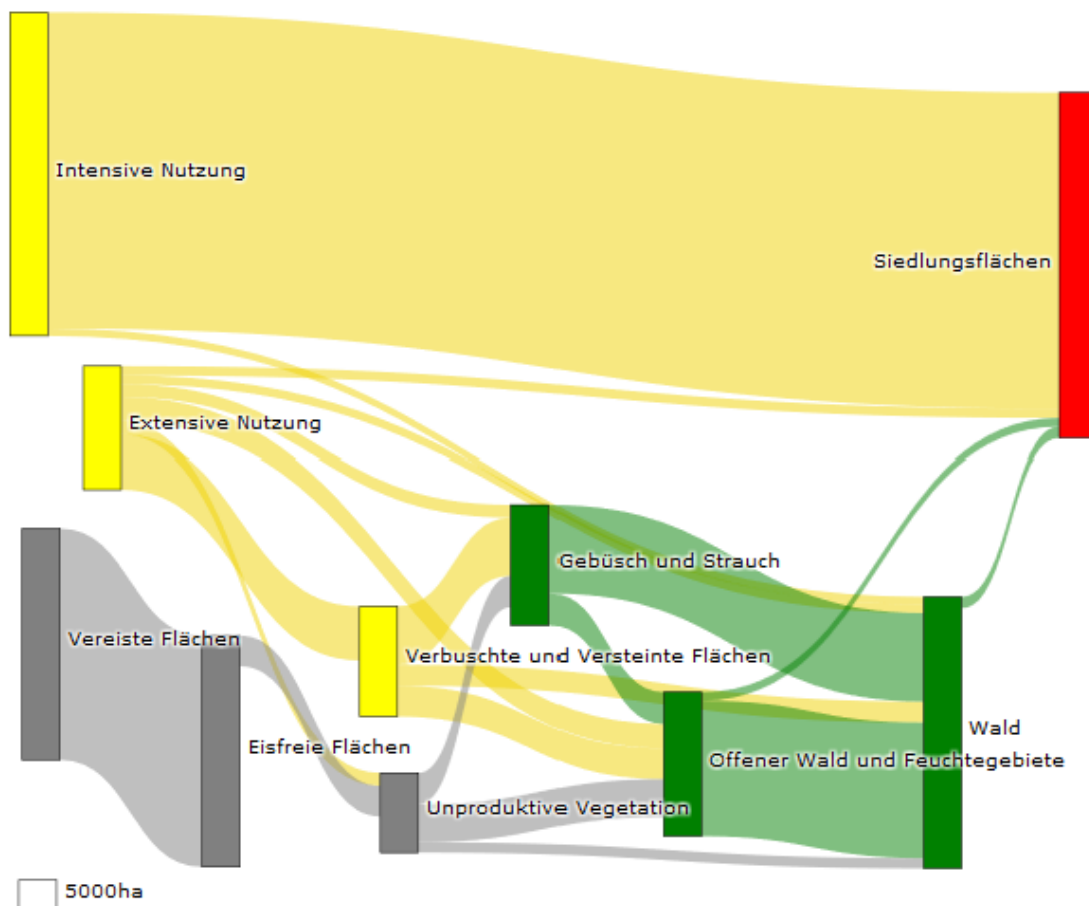


Abbildung 4-6: Landnutzungs-Trajektorien zwischen 1985 und 2009. Abgebildet sind Nettoveränderungen grösser als 800 Hektar.

#### 4.1.4. Fallbeispiele Nationalpark und Val Bedretto

Mit der Untersuchung auf Fallebene werden die Landnutzungs-Trajektorien auf Fallebene dargestellt. Das erste Gebiet welches genauer untersucht wurde, ist der Schweizerische Nationalpark. Dieses Gebiet dient daher als Vergleichsfläche, welche eine hohe Natürlichkeit und weit fortgeschrittene Landnutzungs-Trajektorien aufweist. Als zweite Fläche werden die Veränderungen des Val Bedretto im Tessin untersucht. Die weiteren Fallgebiete Naturpark Diemtigtal, das BLN-Gebiet Felli- & Maderanertal sowie das Lötschental befinden sich im Anhang. Diese weisen ähnliche Prozesse auf, wie sie im Val Bedretto vorkommen. Dabei weist das Val Bedretto die stärksten Änderungen auf, weshalb es sich für die Veranschaulichung der Landnutzungsveränderung entlang der Trajektorien gut eignet.

##### Nationalpark

Wie Abbildung 4-7 zeigt, befinden sich beinahe keine landwirtschaftlichen Flächen in diesem Gebiet mehr. Auch Siedlungsflächen sind nur vereinzelt vorhanden, wobei es sich mehrheitlich um Verkehrsflächen handelt. Prägend für dieses Gebiet sind die eisfreien Flächen, die unproduktive Vegetation sowie die Waldflächen. Das Gebiet erstreckt sich über einen Höhengradient zwischen 1500 und etwas mehr als 3000 Metern über Meer. Die Verteilung dieser Landnutzungsklassen zeigt die natürlichen Grenzen in diesem Gebiet auf. So befinden sich in Gebieten unter 2000 Metern mehrheitlich Waldflächen. Zwischen 2000 und 2200 Metern befindet sich das Mosaik aus offenem Wald, Waldflächen und vereinzelt Gebüsch und Sträucher. Oberhalb von 2200 Metern folgen die unproduktiven Flächen sowie über 2800 Metern die eisfreien Flächen. Die Vereisten Flächen sind nur vereinzelt vorhanden.

Weniger als 4% der Flächen haben sich zwischen 1985 und 2009 im Nationalpark verändert. Über ein Drittel davon ist auf den Rückgang der vereisten Flächen zurück zu führen. Auch die restlichen Veränderungen verändern sich mehrheitlich entlang der Landnutzungs-Trajektorien. Im Potenzialgebiet des Waldes befinden sich mehrheitlich Waldflächen, welche über die Zeit vereinzelt zu offenen Waldflächen wurden.

## Nationalpark

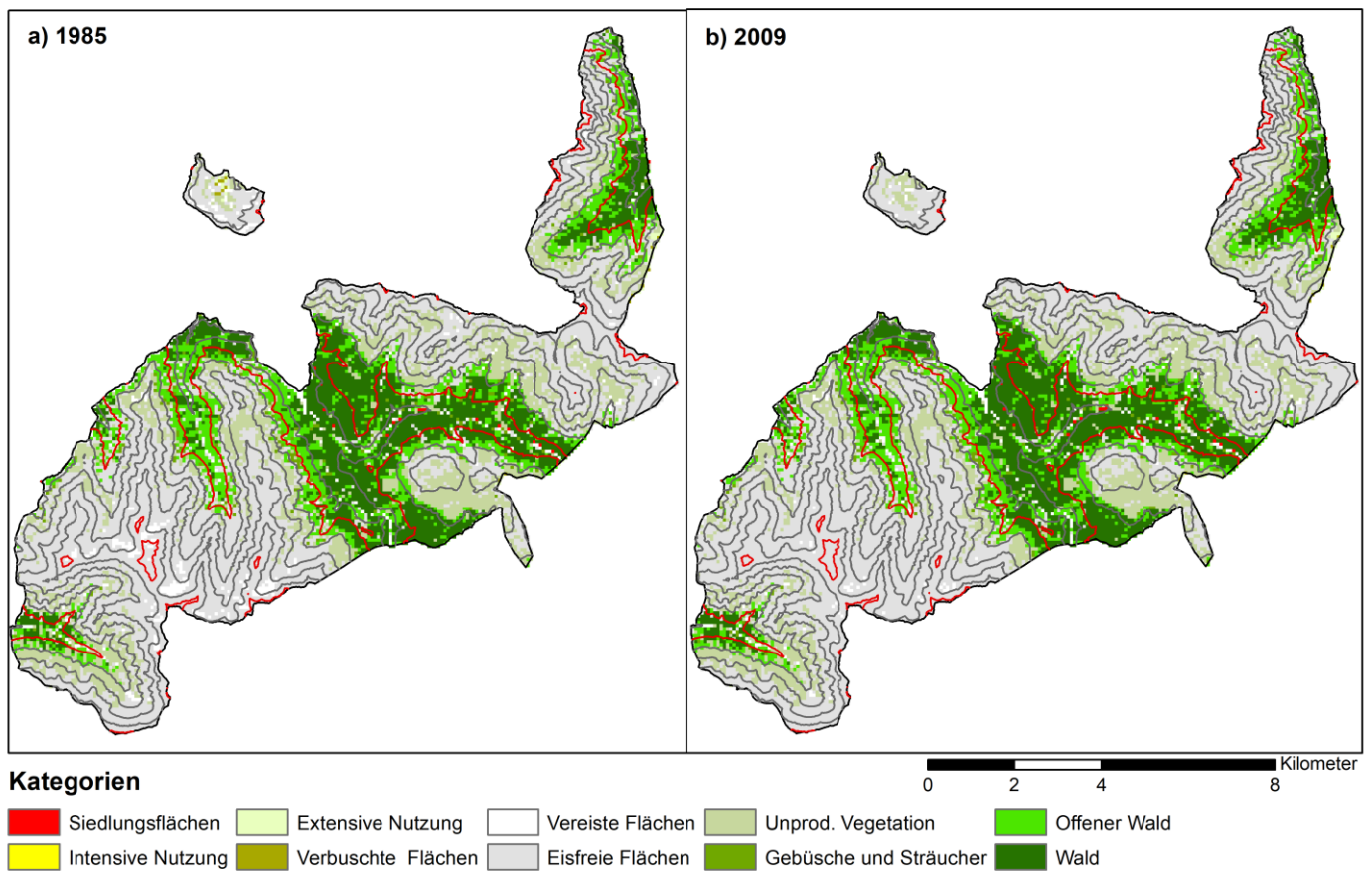


Abbildung 4-7: Schweizerischer Nationalpark: Landnutzung 1985 und 2009. Neben den Landnutzungen sind die Höhenlinien dargestellt.

## Val Bedretto

Das Val Bedretto erstreckt sich über einen Höhengradient von rund 1300 Metern über Meer bis etwas über 3000 Metern über Meer. Die intensiven Nutzungen, sowie die Siedlungsflächen befinden sich mehrheitlich in der Talsohle sowie entlang der Passstrasse auf den Nufenen und entlang des Ticinos. An den Hängen befinden sich mehrheitlich bestockte Flächen, sowie Alpweiden.

Abbildung 4-8 zeigt die verschiedenen Zeitschritte zwischen 1985 und 2018. In diesen 33 Jahren hat sich die Landnutzung stark verändert. Rund 30% der Flächen wurden 2018 einer neuen Kategorie zugeordnet. Die Extensivierungsprozesse spielen dabei eine wichtige Rolle. So können die gezeigten Prozesse in Abbildung 4-6 im Val Bedretto räumlich nachvollzogen werden. Besonders das Einwachsen der Waldflächen wird zwischen 1985 und 2018 deutlich, wobei die unproduktiven Vegetationen und die Gebüsche und Sträucher sich zu offenem Wald und der offene Wald sich zu Wald entwickeln konnten. Auch die Landwirtschaftsflächen sind diesem Prozess unterworfen. So hat die extensive Nutzung zwischen 1800 und 2200 Metern über Meer um die Hälfte abgenommen. Besonders zwischen 2009 und 2018 hat das Verbuschen im oberen Teil des Tales stark zugenommen. Dabei fällt auf, dass die Ausdehnung des Waldes vom bisherigen Wald ausgeht und sich talaufwärts ausdehnt.

Entlang der Bergketten verschwinden zunehmend die vereisten Flächen. Dies besonders dort, wo nur noch kleine Flächen vorhanden waren. Durch dieses Abschmelzen nehmen die eisfreien Flächen stark zu, obwohl sich diese ihrerseits in unproduktive Vegetation verändern. Obwohl sich das Untersuchungsgebiet auf über 1300 Metern über Meer befinden, bestehen in der Talsohle noch intensiv genutzte Flächen, welche sich kaum verändert haben. Das Einwachsen der Flächen beschränkt sich auf die Hanglagen.

Das Val Bedretto zeigt das Einwachsen von Gebüsch und Sträucher sowie von Waldflächen (Sekundärprozesse) von der Talsohle her und die Primärprozesse mit Bodenbildung und Einwachsen von den Gipfeln her. In den weiteren Fallgebieten im Anhang werden einzelne Prozesse ausführlicher beobachtet werden. Im Lötschental kann beispielsweise der Gletscherrückzug und die anschliessende Bodenbildung beobachtet werden.

## Veränderung im Val Bedretto

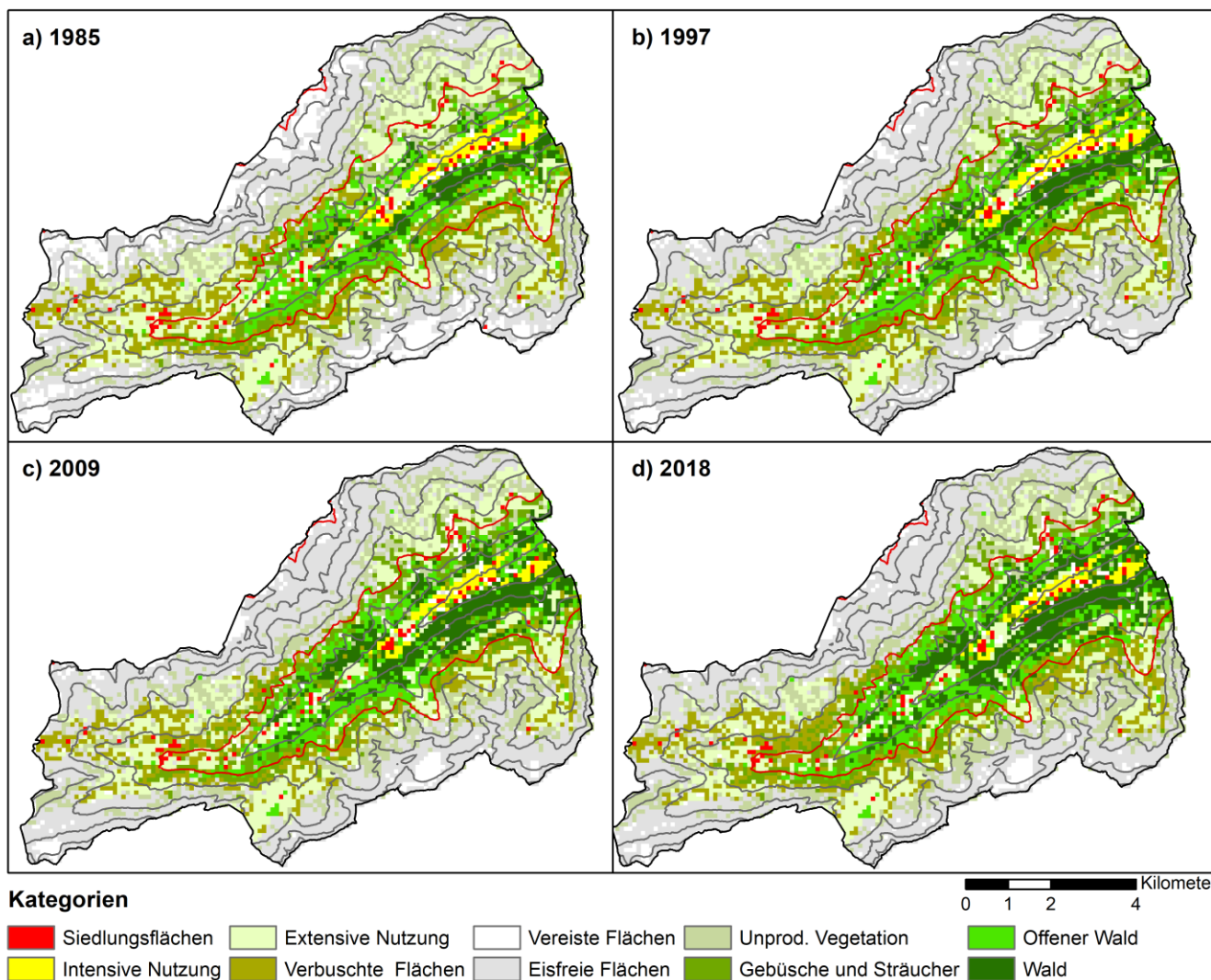


Abbildung 4-8: Landnutzung im Val Bedretto. Gezeigt sind die Zeitschritte 1985, 1997, 2009 und 2018. Neben den Landnutzungen sind die Höhenlinien dargestellt.

## 4.2. Die Entwicklung der Wildnisqualität über die Zeit

Die Simulation der Wildnisqualität wurde für die Zeitschritte 1985, 1997, 2009 und 2018 durchgeführt. Abbildung 4-9 zeigt die Resultate der ersten Simulationen 1985, der letzten Simulation 2009 und der Simulation mit den aktuell publizierten Werten der Arealstatistik 2018. Bei den Resultaten der Wildnisqualität gilt es allgemein zu beachten, dass es sich hierbei um dimensionslose Einheiten handelt, welche einen Wert zwischen 4 (tiefe Wildnisqualität) und 40 (hohe Wildnisqualität) annehmen können. Beim Betrachten der Abbildung fällt auf, dass sich die Karten der verschiedenen Zeitschritte nicht stark unterscheiden. Grundsätzlich behalten Gebiete mit hoher Wildnisqualität in den 24 respektive 33 Jahren ihre hohe Qualität. Dasselbe gilt für Gebiete mit tiefer Wildnisqualität. In Kapitel 4.3 wird genauer auf die Veränderung der Wildnisqualität und der einzelnen Indizes eingegangen.

Schweizweit befinden sich die tiefen Werte in Siedlungsgebieten und entlang von stark befahrenen Strassen. Dem gegenüber stehen die Gebiete mit hoher und höchster Wildnisqualität, welche sich im Alpenraum in hohen Lagen befinden. Die Höhe der Wildnisqualität im ländlichen Raum unterscheidet sich stark zwischen Jura, Mittelland, Alpen und Alpensüdseite.

Das dichtbesiedelte Mittelland weist grundsätzlich eine tiefere Wildnisqualität auf (Tabelle 4-1). Das Mosaik aus Siedlungen, Strassen, Landwirtschaftsflächen und Wald, sowie der Hügelzüge und Gewässer, zeigt sich auch in den Qualitätswerten wieder. So befinden sich die höchsten Werte im Mittelland entlang der bewaldeten Hügelzüge wie beispielsweise dem Albis oder entlang von Gewässern und Schluchten, wie etwa entlang der Schwarzwasser und der Sense im Naturpark Ganttrich. Im Vergleich zum Mittelland weist der Jura eine höhere Wildnisqualität auf. Prägend für den Jura sind die Juraketten, welche sich entlang des Mittellandes heben und die hügelige Landschaft charakterisieren. Diese bilden auch eine Grenze zum Mittelland, hinter denen die Qualität der Wildnis zunimmt. Die Unterschiede in der Wildnisqualität bilden ein Mosaik, welches durch das Strassennetz zerschnitten wird, wodurch grossflächige Gebiete mit höherer Wildnisqualität nur vereinzelt vorkommen. Dazu gehören das Gebiet um den Mont Pelé und Mont Tendre im parc jura vaudois, das Gebiet um den Chasseral und das Gebiet zwischen Moutier, Grenchen und Welschenrohr. Die Voralpen bilden den Übergang vom Mittelland zu den Alpen. Geprägt von hügeligen Gebieten verändert sich auch die Landnutzung und die Abgeschiedenheit, wodurch die Wildnisqualität zunimmt. Mit einer durchschnittlichen Wildnisqualität von 17.72 (2009) liegt dieser Wert etwas höher als im Jura. In den Voralpen liegen die Gebiete mit der höchsten Wildnisqualität im unteren Toggenburg, dem Napfgebiet und den Bergketten um den Ganttrich.

Im Alpenbogen liegen die grössten Gebiete mit hoher und sehr hoher Wildnisqualität. Diese liegen meist in höheren Lagen. Die dicht besiedelten und genutzten Alpentäler auf der einen und die

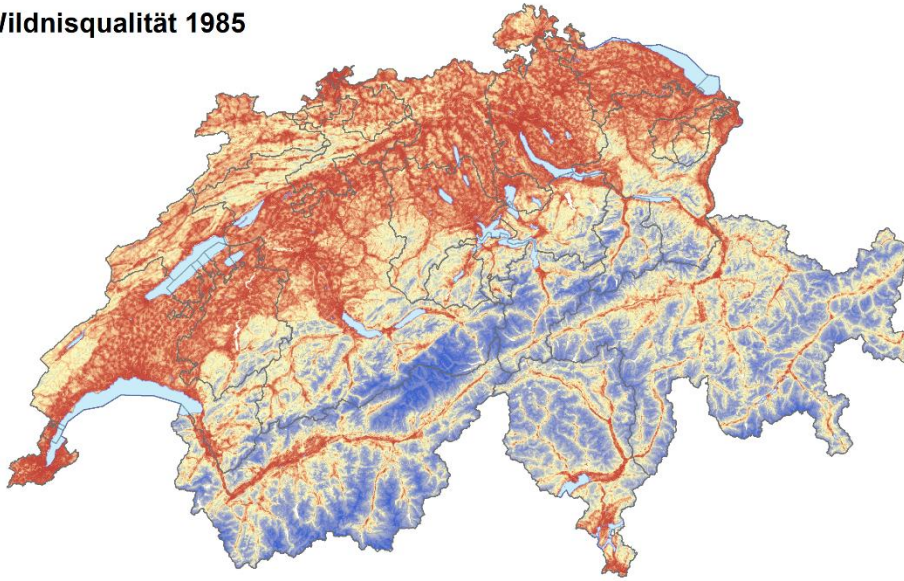


Passstrassen auf der anderen Seite bilden die Abgrenzungen der Wildnisgebiete mit hoher Qualität. Das grösste zusammenhängende Gebiet umfasst etwa den Perimeter der UNESCO-Welterbe Naturstätte *Schweizer Alpen Jungfrau-Aletsch*. Weitere grössere zusammenhängende Gebiete befinden sich rund um den Dammastock und das Sustenhorn, welche durch die Pässe Furka, Susten und Grimsel abgegrenzt werden. Auch in den Glarner Alpen rund um den Tödi und den Clariden, sowie entlang der Bergketten in den Walliser Alpen sind solche Gebiete. Die Gebiete mit sehr hoher Wildnisqualität in den Ostalpen sind kleiner und werden oft durch Siedlungen und Strassen in mehrere Gebiete unterteilt. In den Südalpen und dem südlichen Tessin liegen die Gebiete mit hoher Qualität entlang der Bergketten, welche meist Nord-Süd verlaufen. Bezeichnend für dieses Gebiet sind die stark genutzten Talböden und der abrupte Übergang zu steilen Hängen, welche meist bewaldet und weniger stark genutzt werden. Dieser Unterschied zeigt sich auch in der Wildnisqualität.

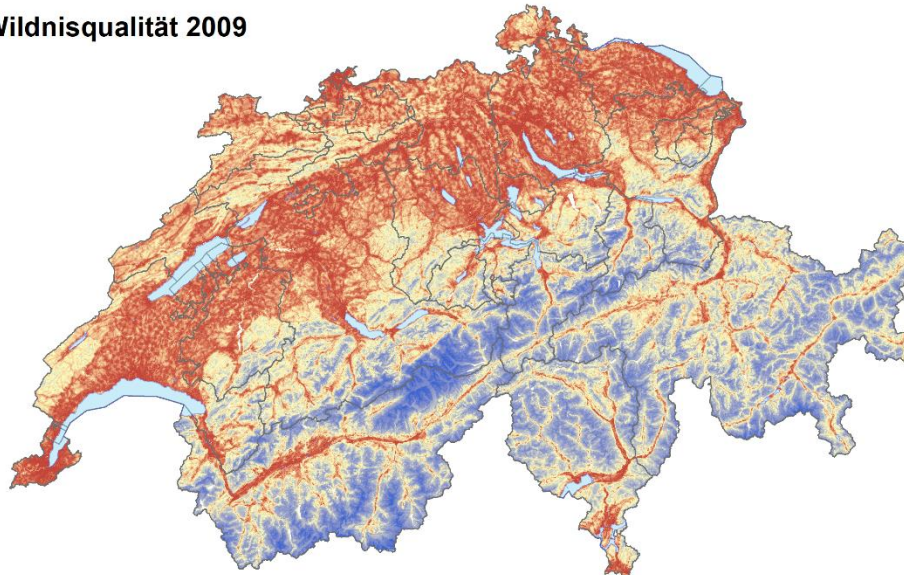
Tabelle 4-1: Wildnisqualität 1985, 2009 und 2018. (Der höchste Wert liegt bei 40, der tiefste bei 4. Es handelt sich hierbei um dimensionslose Einheiten)

Biogeographische Region	Wildnisqualität 1985	Wildnisqualität 2009	Wildnisqualität 2018
<b>Schweiz</b>	19.73	19.55	18.29 (ohne östliche Schweiz)
<b>Jura</b>	15.30	14.97	14.82
<b>Mittelland</b>	10.04	9.77	9.68
<b>Voralpen</b>	17.82	17.62	17.46
<b>Nordalpen</b>	23.52	23.38	23.45 (Ohne Walensee und Rheintal bis Chur; 2009: 23.55)
<b>Östliche Zentralalpen</b>	26.02	25.95	28.50 (Grossmehrheitlich nur die westliche Surselva; 2009: 28.39)
<b>Westliche Zentralalpen</b>	26.86	26.71	26.60
<b>Südalpen</b>	26.89	26.88	26.76 (ohne Bergell und Puschlav; 2009: 26.76)
<b>Südliches Tessin</b>	22.87	22.91	22.82

a) Wildnisqualität 1985



b) Wildnisqualität 2009



c) Wildnisqualität 2018

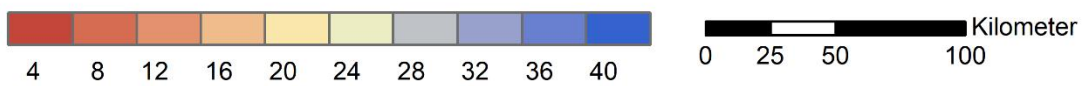
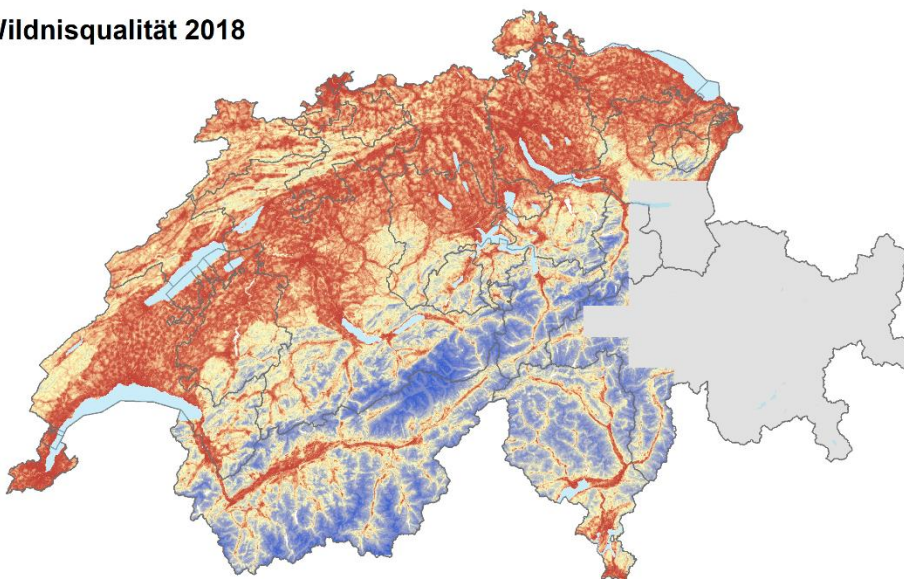


Abbildung 4-9: a) Wildnisqualität 1985, b) Wildnisqualität 2009, c) Wildnisqualität 2018.

### 4.3. Veränderung der Wildnisqualität

Die Veränderungen der Wildnisqualität werden in den folgenden Kapiteln untersucht. Zu Beginn werden die drei Faktoren Natürlichkeit, menschlicher Einfluss und die Abgeschiedenheit einzeln und anschliessend in Kombination untersucht. In einer kurzen Rekapitulation der Ergebnisse werden die wichtigsten Punkte noch einmal aufgegriffen. Der Schwerpunkt liegt einerseits auf der Veränderung zwischen 1985 und 2009 und andererseits auf der Veränderung zwischen 2009 und 2018. Die Simulationen wurden auch für die Periode 1997 durchgeführt. Diese befinden sich im Anhang. Bei den Veränderungen gilt es zu beachten, dass die Werte der einzelnen Faktoren sich zwischen 1 und 10 bewegen können, wobei nur ganze Zahlen möglich sind. Bei der Wildnisqualität wurden diese Faktoren verrechnet, wodurch sich eine Skale von 4 bis 40 ergeben hat.

#### 4.3.1. Natürlichkeit

Der Mittelwert des Natürlichkeitsindex hat sich zwischen 1985 und 2009 schweizweit beinahe nicht verändert (Tabelle 4-2). Dies bedeutet jedoch nicht, dass es keine Veränderungen gegeben hat. Insgesamt hat sich der Natürlichkeitswert auf 262'432 Hektar verändert, was 6.6% der Bezugsfläche<sup>5</sup> entspricht. Obwohl der Index schweizweit minim abgenommen hat, veränderten sich schweizweit mehr Flächen hin zu höherer Natürlichkeit. Dies, weil die Zunahmen sich mehrheitlich um eine Einheit erhöhen (65.4% der Zunahmen). Die Abnahmen hingegen meist um mehr als eine Einheit fallen (80.2% der Abnahmen).

Tabelle 4-2: Veränderung der Natürlichkeit nach biogeographischen Regionen. Die Indexwerte sind dimensionslos und der Maximalwert liegt bei 10.

Biogeographische Region	Indexwerte		Veränderung der Flächen			
	Mittelwert 2009	Veränderung Mittelwert 1985 - 2009	Anzahl veränderter Flächen [ha]	Anteil an Bezugsfläche [%]	Zunahme [%]	Abnahme [%]
<b>Schweiz</b>	6.340	-0.0006	262'432	6.60	60.56	39.44
<b>Jura</b>	5.255	-0.0228	26'691	6.23	53.12	46.88
<b>Mittelland</b>	4.002	-0.0368	103'188	10.16	51.25	48.75
<b>Voralpen</b>	5.537	-0.0097	14'877	5.69	57.11	42.89
<b>Nordalpen</b>	7.093	0.0132	44'847	5.23	66.28	33.72
<b>Östliche Zentralalpen</b>	8.059	0.0428	28740.00	4.98	81.58	18.42
<b>Westliche Zentralalpen</b>	8.261	0.0121	23'773	4.96	68.30	31.70
<b>Südalpen</b>	8.264	0.0379	9'486	4.69	80.19	19.81
<b>Südliches Tessin</b>	6.963	-0.0149	10'830	7.08	58.84	41.16

<sup>5</sup> Als Bezugsfläche dient die ganze Schweiz, wobei die Flächen der Seen abgezogen wurden, da für diese Flächen die Wildnisqualität nicht berechnet wird.

In allen biogeographischen Regionen hat die Natürlichkeit flächenmässig zugenommen (Tabelle 4-2). Die Ausprägung der Unterschiede ist jedoch verschieden, besonders zwischen Mittelland und Alpen sind sie gross: Die flächenbezogenen Veränderungen gleichen sich im Mittelland, wo mit 10.16% die meisten Flächen einer Veränderung unterworfen sind, in etwa aus, mit leichter Tendenz Richtung mehr Natürlichkeit. Zu beachten gibt es hierbei, dass die Werte bereits auf einem tiefen Niveau liegen. Im Jura und im südlichen Tessin gibt es klarere Tendenzen hin zu mehr natürlichen Flächen. Auch der Alpenbogen verändert sich klar in Richtung mehr Natürlichkeit. Besonders die östlichen Zentralalpen und die Südalpen weisen mit über 80% eine starke Veränderung in Richtung mehr Natürlichkeit auf.

Weiter steht die Veränderung der Natürlichkeit im Zusammenhang mit der Hangneigung und der Höhe über Meer. Verändert sich die Natürlichkeit in flachen Gebieten ( $0-5^\circ$  Hangneigung) hin zu weniger Natürlichkeit, wechselt dies, ab einer Hangneigung von  $5^\circ$  und nimmt mit steigender Hangneigung zu (Abbildung 4-10). Zu vermerken ist hier einerseits, dass die Gebiete unter  $5^\circ$  flächenmässig mit über 20% am häufigsten sind und mit steigender Hangneigung abnehmen. Und andererseits, dass es sich hier um die prozentualen Anteile der Veränderungen handelt (6.6% der Bezugsfläche) und diese Flächen mit zunehmender Hangneigung abnehmen. Dies bedeutet, dass die Flächen, welche sich nicht verändern, nicht dargestellt werden. Beim Zusammenhang der Höhe über Meer mit der Veränderung der Natürlichkeit verhält es sich ähnlich (Abbildung 4-11). Unter 600 Metern nimmt die Natürlichkeit ab. Über

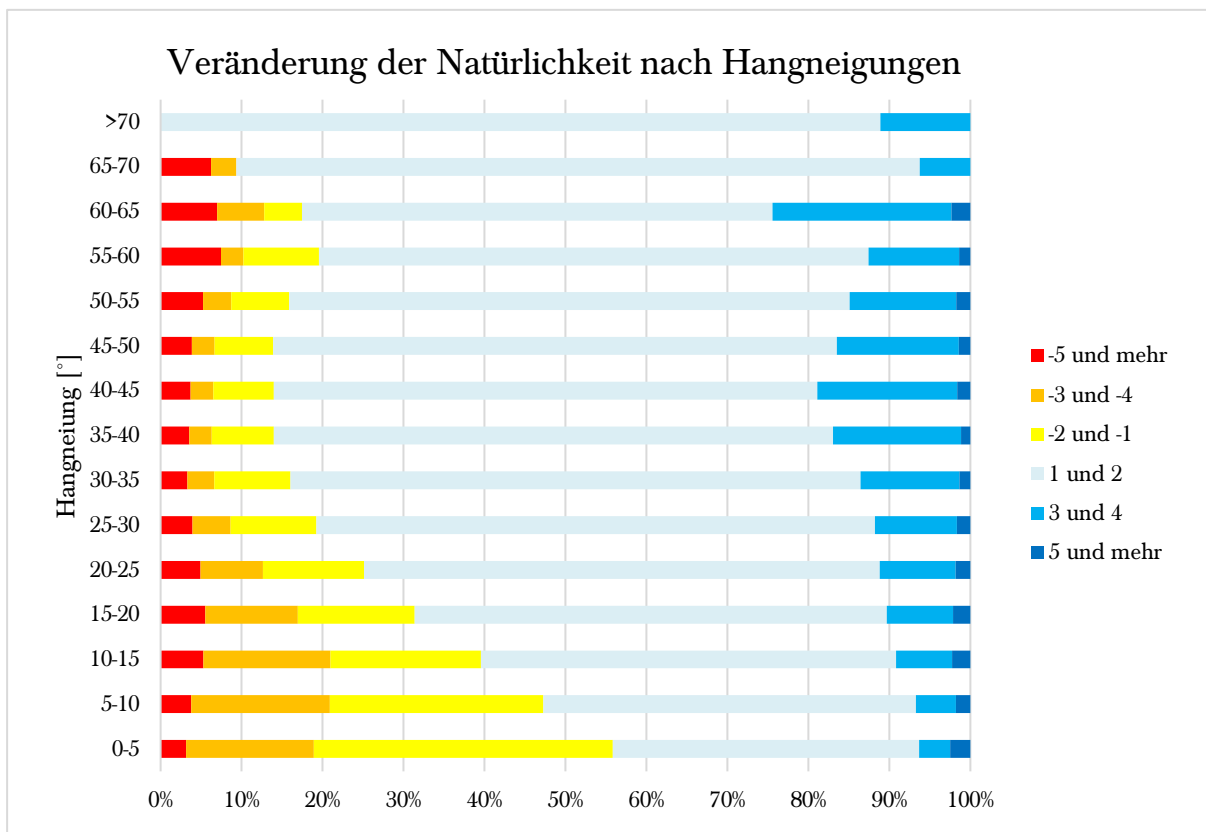


Abbildung 4-10: Veränderung der Natürlichkeit nach Hangneigungen. Flächen die sich nicht verändern, werden nicht dargestellt (93.4% der Flächen). (Dimensionslose Einheiten)

600 Metern nimmt hingegen die Natürlichkeit zu. Mit steigender Höhe verstärkt sich dieser Prozess bis er zwischen 2000 und 2200 Metern sein Maximum erreicht. Anschliessend nehmen die Abnahmen wieder zu. Diese Veränderungen sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, da die Dynamik der Natürlichkeit über 2400 Metern Höhe kaum mehr vorhanden ist (über 99% der Flächen ohne Veränderung) und der Wert bereits auf hohem Niveau liegt.

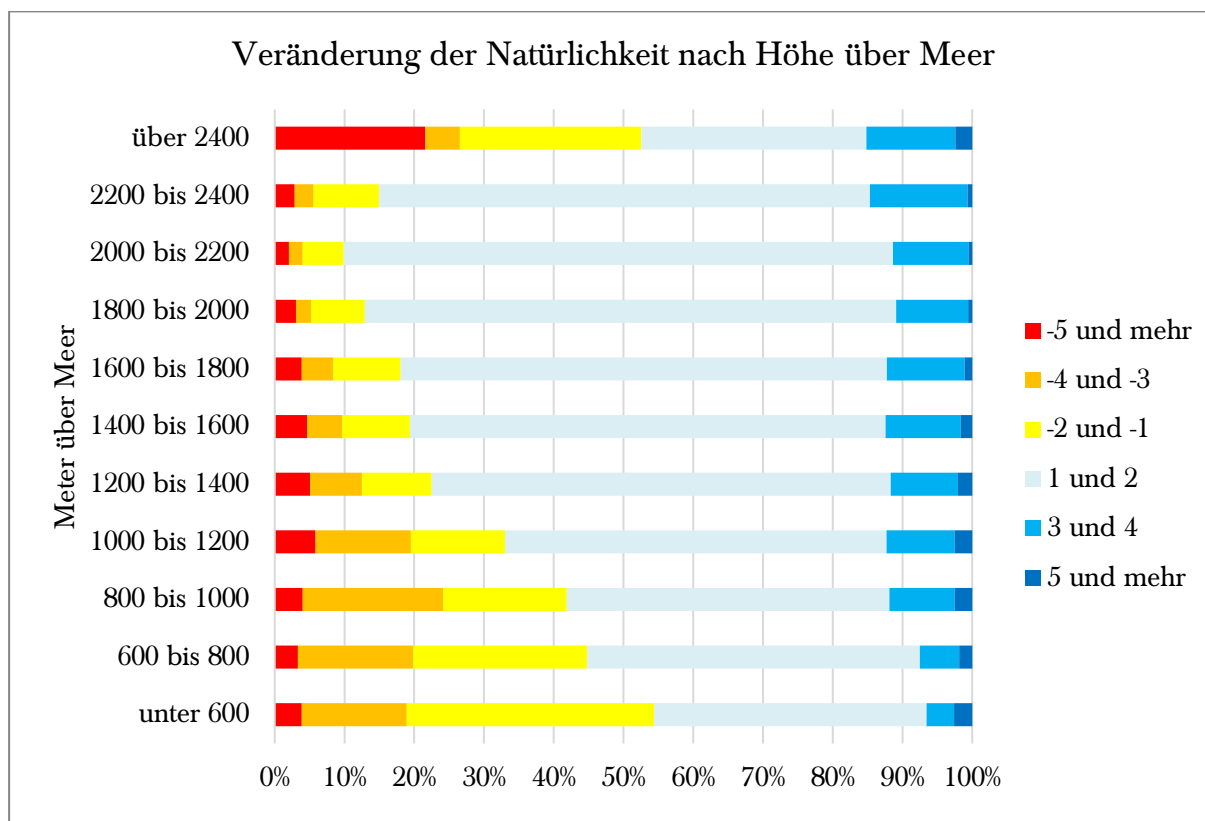


Abbildung 4-11: Veränderungen der Natürlichkeit nach Höhe über Meer. (Dimensionslose Einheiten)

Der Natürlichkeitsindex verändert sich meist kleinflächig auf Hektarebene. So können räumlich nahe beieinander liegende Landnutzungen in verschiedene Richtungen gehen. Diese Veränderungen beeinflussen einander nur bedingt. Werden Abbildung 4-12 und Abbildung 4-13 betrachtet, können verschiedene räumliche Zusammenhänge beobachtet werden. Es fällt auf, dass im Mittelland und im Jura die Veränderungen räumlich stärker gestreut sind und sich Zu- und Abnahmen weniger stark räumlich trennen lassen als im Alpenbogen. Eine Ausnahme dazu bildet der Jura-Südteil. Die grossen Veränderungen hin zu weniger Natürlichkeit zeichnen sich besonders am Siedlungsrand und um die grösseren Mittellandseen ab, wo neue Siedlungsflächen entstanden sind. Dies tritt nicht nur in grösseren Städten auf, sondern schweizweit.

Wird der Alpenbogen betrachtet, fällt auf, dass die Natürlichkeit in den Talböden der Haupttäler abgenommen hat, wie beispielsweise im Rhonetal, im Reusstal, im Rheintal oder entlang des Ticino. Im Gegensatz dazu stehen die Seitentäler und die steilen Hänge der Haupttäler, welche an Natürlichkeit gewonnen haben. In höheren Lagen entlang der Gipfelketten und um die Waldgrenze herum ist die Natürlichkeit bereits hoch und die Veränderung kleiner, gehen aber fast ausschliesslich in Richtung mehr Natürlichkeit. Besonders viele Flächen in Richtung höherer Natürlichkeit haben sich zwischen 1985 und 2009 im Einzugsgebiet des Rheins im Kanton Graubünden, im Gotthardgebiet, im Val Bedretto, im Goms, im Simplongebiet und in den Seitentälern des Kantons Uri verändert. Grundsätzlich setzt sich der Trend zwischen 2009 und 2018 fort. Besonders im Gotthardgebiet ist die Veränderung hin zu mehr Natürlichkeit stark (Abbildung 4-13).

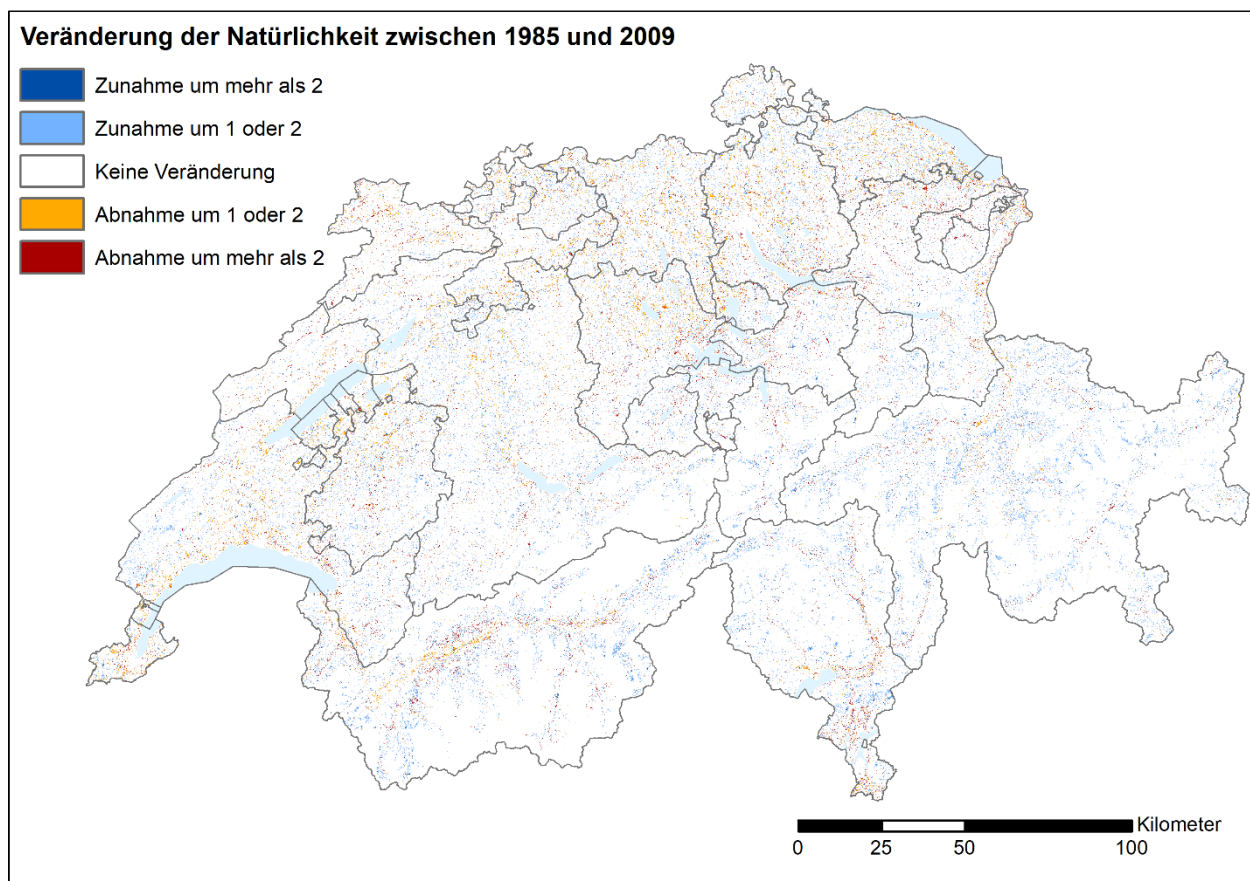


Abbildung 4-12: Veränderung des Natürlichkeits-Indexes zwischen 1985 und 2009 (Dimensionslose Einheiten)

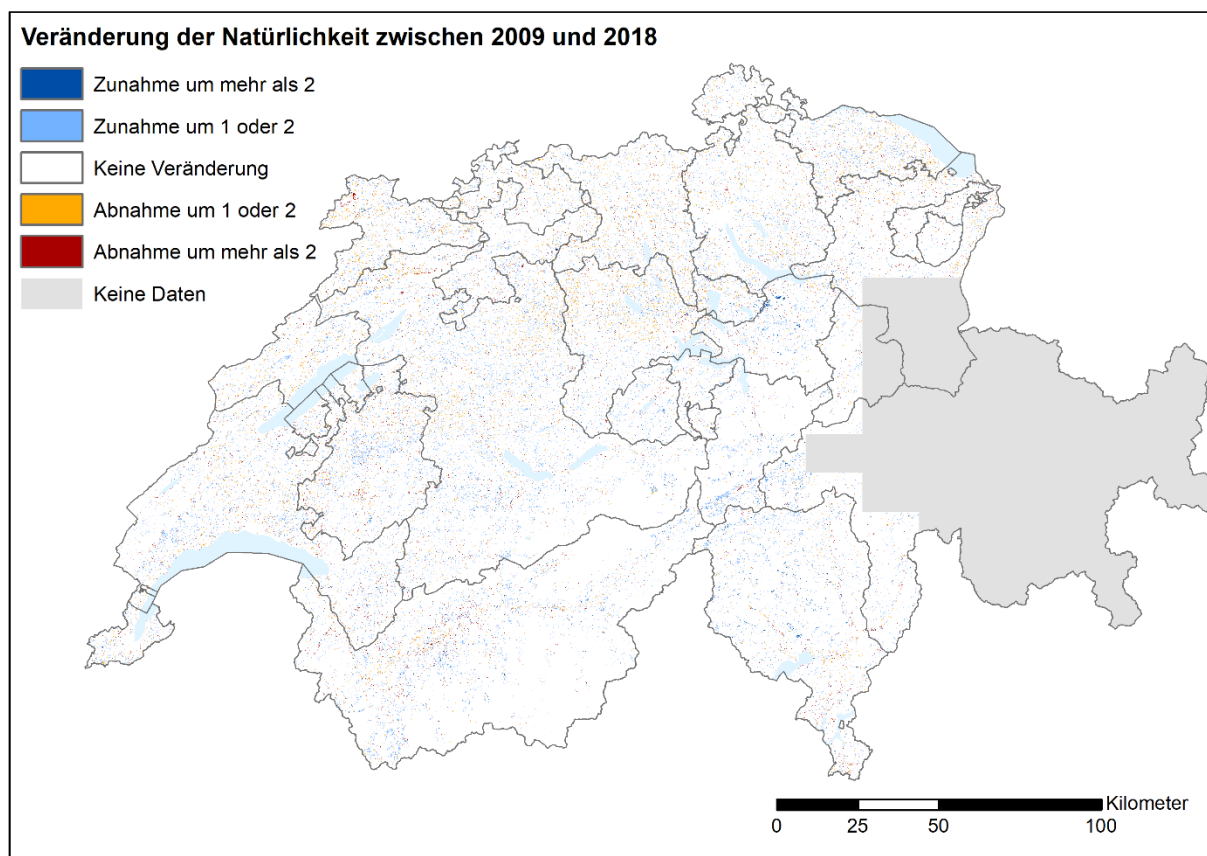


Abbildung 4-13: Veränderung der Natürlichkeit zwischen 2009 und 2018 (Dimensionslose Einheiten)

### 4.3.2. Menschlicher Einfluss

Der Index menschlicher Einfluss beinhaltet mehrere verschiedene Faktoren, welche sich unterschiedlich entwickelt haben zwischen 1985 und 2009 beziehungsweise 2009 und 2018. Simuliert wurden die anlagefreien Gebiete, die Fragmentierung der Landschaft, die Siedlungen mit ihren Lichtemissionen, der Verkehr, die Bergbahnen und die Waldbewirtschaftung. Der Faktor der Waldbewirtschaftung unterscheidet sich von den anderen dadurch, dass eine Abnahme des menschlichen Einflusses simuliert wurde. Die Veränderungen sind nicht, wie bei der Natürlichkeit kleinflächig, sondern eher grossflächig. Besonders die Zerschneidung und die Siedlungsentwicklungen haben Veränderungen im Umland zur Folge. Zu beachten ist, dass eine Zunahme des menschlichen Einflusses eine Reduktion des Indexes zur Folge hat.

Tabelle 4-3: Veränderung des Indexes menschlicher Einfluss nach Biogeographischen Regionen. Die Indexwerte sind dimensionslos und der Maximalwert liegt bei 10.

Biogeographische Region	Indexwerte		Veränderung der Flächen			
	Mittelwert 2009	Veränderung Mittelwert 1985 - 2009	Anzahl veränderter Flächen [ha]	Anteil an Bezugsfläche [%]	Zunahme [%]	Abnahme [%]
Schweiz	6.230	-0.104	736204	18.52	32.41	67.59
Jura	5.083	-0.251	113915	26.61	16.86	83.14
Mittelland	2.639	-0.188	188519	18.57	11.49	88.51
Voralpen	6.145	-0.122	46322	17.72	27.58	72.42
Nordalpen	7.699	-0.065	145936	17.03	40.68	59.32
Östliche Zentralalpen	8.530	-0.032	83220	14.39	46.41	53.59
Westliche Zentralalpen	8.251	-0.069	73086	15.24	42.37	57.63
Südalpen	8.555	0.031	39311	19.42	59.32	40.68
Südliches Tessin	7.099	0.114	45895	29.98	71.18	28.82

Der Indexwert des menschlichen Einflusses ist regional stark unterschiedlich. Das Mittelland weist einen tiefen Indexwert auf. In Richtung Alpen nimmt der menschliche Einfluss stark ab, wodurch der Index zu nimmt. Auch der Jura weist einen höheren Wert als das Mittelland auf.

Der Index des menschlichen Einflusses hat sich schweizweit in 18.52% der Bezugsfläche verändert. In etwas mehr als zwei Dritteln davon (67.59%) hin zu mehr menschlichem Einfluss, wodurch der Index abgenommen hat. Auch der Mittelwert des Indexes hat um 0.104 Einheiten von 6.334 im Jahr 1985 auf 6.230 im Jahr 2009 abgenommen. Bei der Betrachtung der Flächenveränderung und der



Indexveränderung gibt es regional grosse Unterschiede. Auch sind verschiedene Faktoren des menschlichen Einflusses in den unterschiedlichen Regionen für die Veränderungen ausschlaggebend. Die regionalen Unterschiede zeichnen sich besonders zwischen Jura, Mittelland, Alpen und Alpensüdseite (Süd-alpen und südliches Tessin) ab.

Die Zunahme des menschlichen Einflusses ist im Jura besonders gross. Dazu beigetragen haben besonders die vermehrte Fragmentierung der Landschaft, die Ausdehnung der Siedlungsflächen und des Verkehrs. Auch die anlagefreien Gebiete haben abgenommen.

Im Mittelland hat der menschliche Einfluss ebenfalls zugenommen, respektive der Index um 0.188 Einheiten abgenommen. Dies, obwohl der Index mit 2.827 bereits 1985 sehr tief war. Im Vergleich zum Jura ist diese Veränderung kleiner, schweizweit aber die zweitgrösste Abnahme. In den Voralpen fällt die Veränderung mit einer Reduktion von 0.122 Einheiten kleiner aus als im Mittelland. Weiter in Richtung Alpen nimmt die Veränderung hin zu mehr menschlichem Einfluss ab. Die Südalpen und das südliche Tessin weisen eine Veränderung hin zu weniger menschlichem Einfluss auf.

Der Unterschied zwischen Jura/ Mittelland und den Alpen besteht darin, dass die Fragmentierung nicht so stark ausgeprägt ist und sich die Veränderungen meist in der Talsohle und entlang bestehender

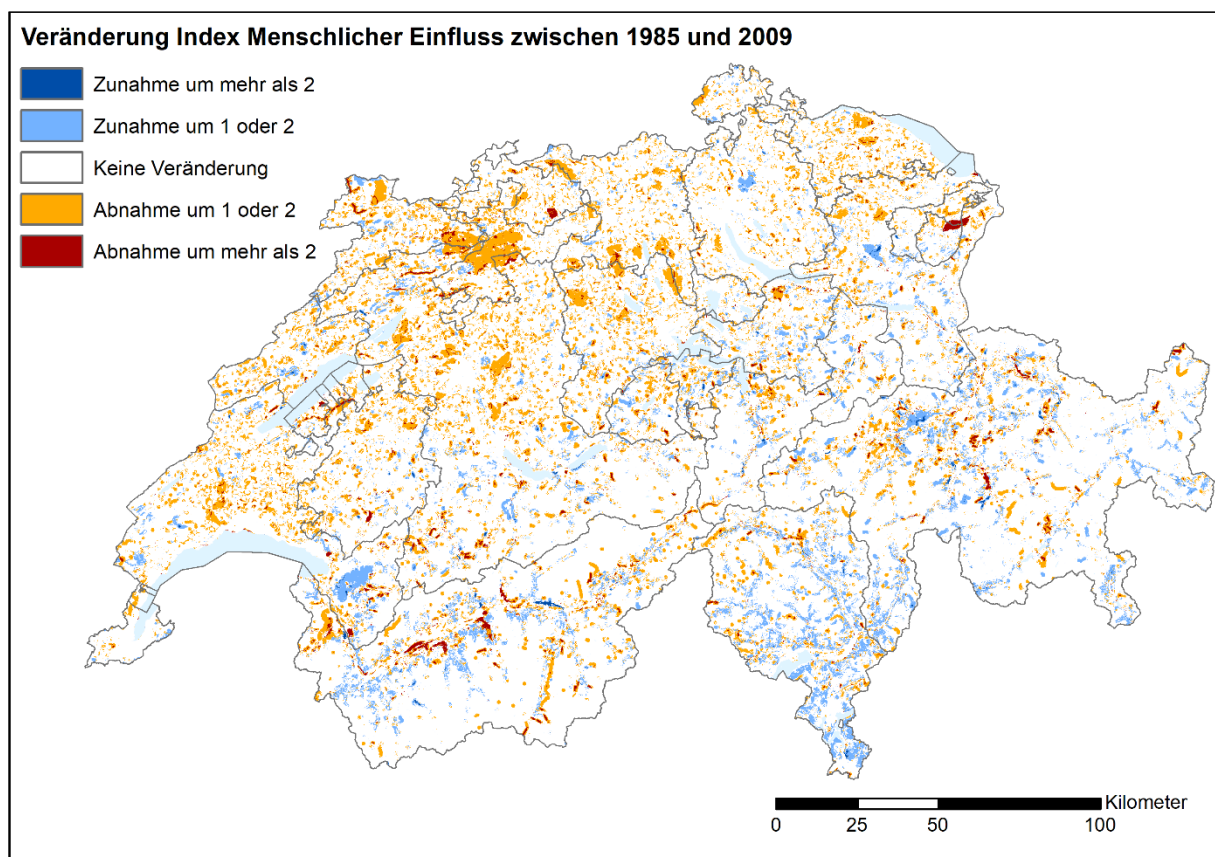


Abbildung 4-14: Veränderung des menschlichen Einflusses zwischen 1985 und 2009 (Dimensionslose Einheiten)

Infrastrukturen verändern. In den Südalpen und im südlichen Tessin kommt hinzu, dass die Bewirtschaftung der Wälder in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen hat, was wiederum dazu führt, dass der menschliche Einfluss abnimmt. Hingegen hat der Ausbau der Wintersportgebiete und der Bergbahnen in den Alpen einen negativen Einfluss auf die Indexwert.

Wird die Veränderung zwischen 2009 und 2018 betrachtet (Abbildung 4-15), fällt auf, dass der menschliche Einfluss, besonders im Jura und im Mittelland, aber auch in den westlichen Zentralalpen und im südlichen Tessin stark zugenommen hat und demnach der Index abgenommen hat. Dies, durch das starke Siedlungs- und Infrastrukturwachstum.

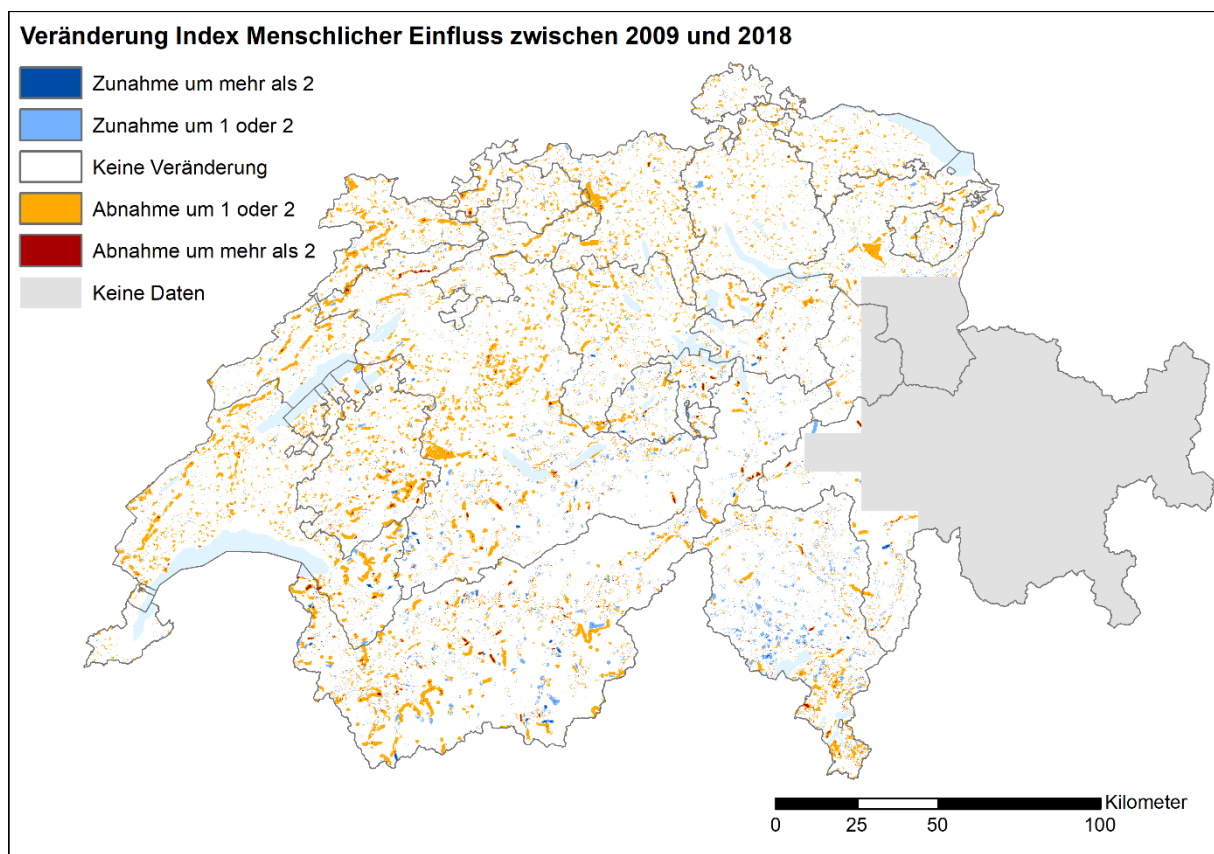


Abbildung 4-15: Veränderung des menschlichen Einflusses zwischen 2009 und 2018 (Dimensionslose Einheiten)

### 4.3.3. Abgeschlossenheit

Der Abgeschlossenheitswert liegt 2009 schweizweit bei 2.183 Punkten und ist somit im Vergleich zur Natürlichkeit und zum menschlichen Einfluss tief. Dabei gibt es eine beträchtliche Differenz zwischen dem Mittelland und den Alpen. Im Mittelland liegen die Werte beinahe auf dem Minimum, was bedeutet, dass beinahe das ganze Gebiet von einer Siedlung aus in weniger als 30 Minuten erreicht werden kann. Einzig grössere Wälder, tiefe Schluchten und beim Übergang zu den Voralpen befinden sich Gebiete mit Werten über eins. Auch der Jura ist sehr gut erschlossen und weist einen Abgeschlossenheitswert von nur 1.171 Punkten auf. Im Alpenbogen nimmt die Abgeschlossenheit zu bis sie in den westlichen Zentralalpen ein Mittelwert von 3.724 erreicht. Richtung südliches Tessin nimmt der Mittelwert anschliessend wieder ab. Hohe Abgeschlossenheitswerte (über 7) kommen nur in den Alpen in Lagen über 2000 Metern über Meer vor. Das dichte Siedlungs- und Strassennetz führt dazu, dass viele Gebiete, auch in den Alpentälern gut erschlossen und dadurch einen tiefen Abgeschlossenheitswert haben.

Tabelle 4-4: Veränderung der Abgeschlossenheit nach biogeographischen Regionen. Die Indexwerte sind dimensionslos und der Maximalwert liegt bei 10.

Biogeographische Region	Indexwerte		Veränderung der Flächen			
	Mittelwert 2009	Veränderung Mittelwert 1985 - 2009	Anzahl veränderter Flächen [ha]	Anteil an Bezugsfläche [%]	Zunahme [%]	Abnahme [%]
<b>Schweiz</b>	2.183	-0.047	313946	7.89	22.43	77.57
<b>Jura</b>	1.171	-0.016	11248	2.63	22.66	77.34
<b>Mittelland</b>	1.010	-0.003	3301	0.32	10.54	89.46
<b>Voralpen</b>	1.427	-0.036	13081	5.00	14.50	85.50
<b>Nordalpen</b>	2.591	-0.076	98123	11.44	18.29	81.71
<b>Östliche Zentralalpen</b>	3.021	-0.067	82557	14.27	29.67	70.33
<b>Westliche Zentralalpen</b>	3.724	-0.077	54059	11.27	17.87	82.13
<b>Südalpen</b>	3.165	-0.083	35007	17.28	29.78	70.22
<b>Südliches Tessin</b>	2.522	-0.077	16570	10.80	18.64	81.36

Zwischen 1985 und 2009 hat die Abgeschlossenheit schweizweit um 0.047 Punkte abgenommen (Tabelle 4-4). Auch Hier gibt es regionale Unterschiede in der Ausprägung der Abnahme. Aufgrund der bereits tiefen Werte im Mittelland kann sich der Wert nicht mehr stark verringern. Trotz dieser Tatsache hat sich die Abgeschlossenheit etwas verringert. Dabei ist zu beachten, dass sich nur gerade 0.32% der

Flächen im Mittelland verändert haben. Diese Veränderungen gehen auf das Siedlungswachstum und den Ausbau des Strassennetzes zurück. Im Jura sieht es ähnlich aus wie im Mittelland mit etwas weniger starker Ausprägung. In den Voralpen nimmt die Veränderung im Vergleich zum Mittelland und Jura zu, wobei mit 5% der Bezugsfläche und einer mittleren Veränderung von 0.36 Einheiten die Werte noch unter dem schweizweiten Mittel liegen. Besonders in den Alpen, wo noch abgeschiedene Gebiete vorhanden sind, kommt es flächenmässig zu grösseren Veränderungen. So sind beispielsweise 14.27% in den östlichen Zentralalpen und 17.28% in den Südalpen von einer Veränderung betroffen. Dabei handelt es sich fast ausschliesslich um kleine Änderungen von plus oder minus einer Einheit (Abbildung 4-16). Schweizweit und auch in allen Regionen ist die Abnahme der Flächen grösser als die Zunahme. Weiter fällt auf, dass sich die Veränderungen nicht in Siedlungsnähe abzeichnen, also dort, wo gebaut wird, sondern meist an den Hängen der Täler. Oft stehen die Veränderungen in Verbindung mit neu gebauten Strassen. Auch sind die Veränderung meist begrenzt durch die Gewässereinzugsgebiete. Vereinzelt kommt es auch zu einer Erhöhung der Abgeschiedenheit. Dies meist durch Aufgabe oder durch Herabstufung von Strassen. Auffallend ist, dass sich Streifen mit Veränderung und ohne Veränderung abwechseln. Dabei handelt es sich um kleine Veränderungen im Raum.

Abbildung 4-17 zeigt die Veränderung zwischen 2009 und 2018. Es fällt auf, dass im Alpenbogen und in den Tälern auf der Alpensüdseite grössere Veränderungen vorhanden sind. Dabei können zwei verschiedene Muster erkannt werden: Einerseits sind es flächige Veränderungen, welche so auch zwischen 1985 und 2009 vorgekommen sind. Andererseits kommen neue Veränderungen hinzu, welche ein spezifisches Muster aufweisen. Dabei wechseln sich Streifen mit und ohne Veränderung ab. Weiter fällt auf, dass der Werte auf der einen Talseite zunimmt und auf der anderen Talseite abnimmt. Falls beide Muster auftreten, sind die Resultate in diesen Regionen mit Vorsicht zu betrachten. Weiter sind Randeffekte dort auszumachen, wo die Erhebung 2018 noch nicht vollständig ist.

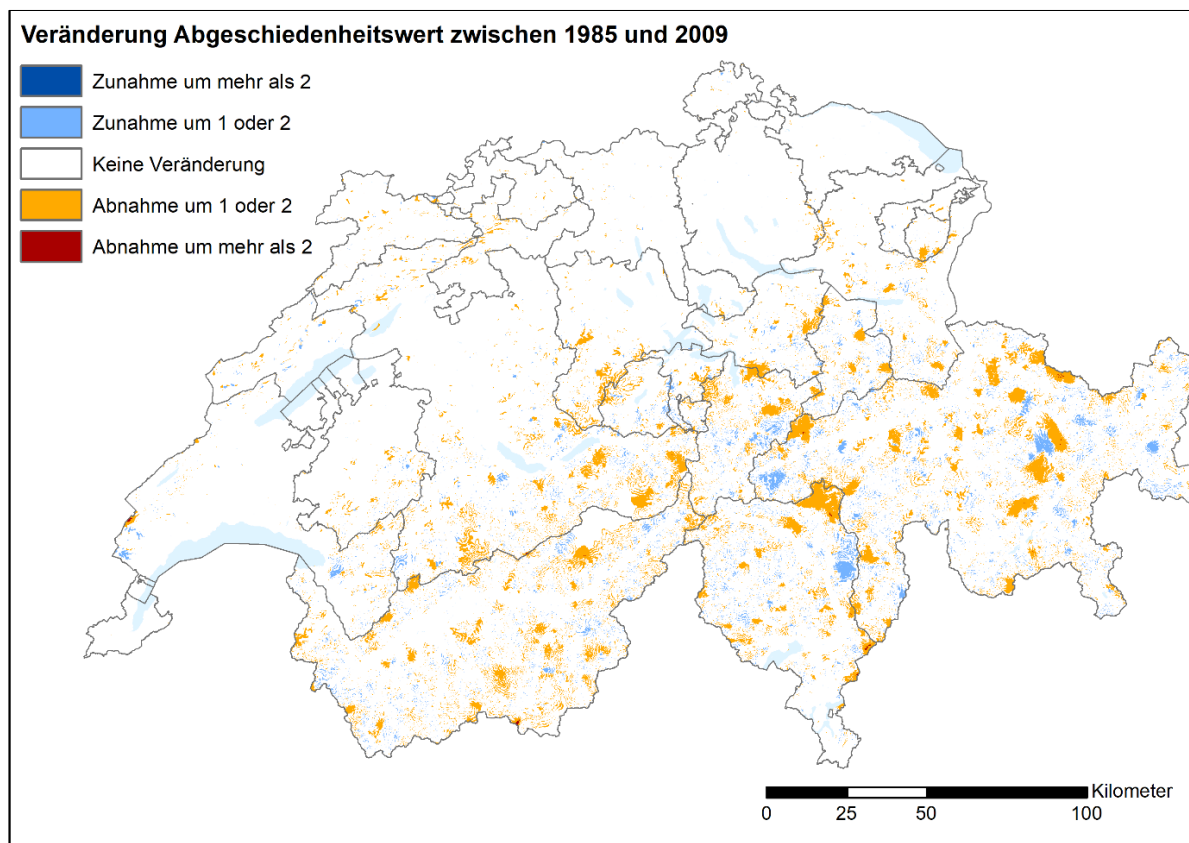


Abbildung 4-16: Veränderung des Abgeschiedenheitswertes zwischen 1985 und 2009. (Dimensionslose Einheiten)

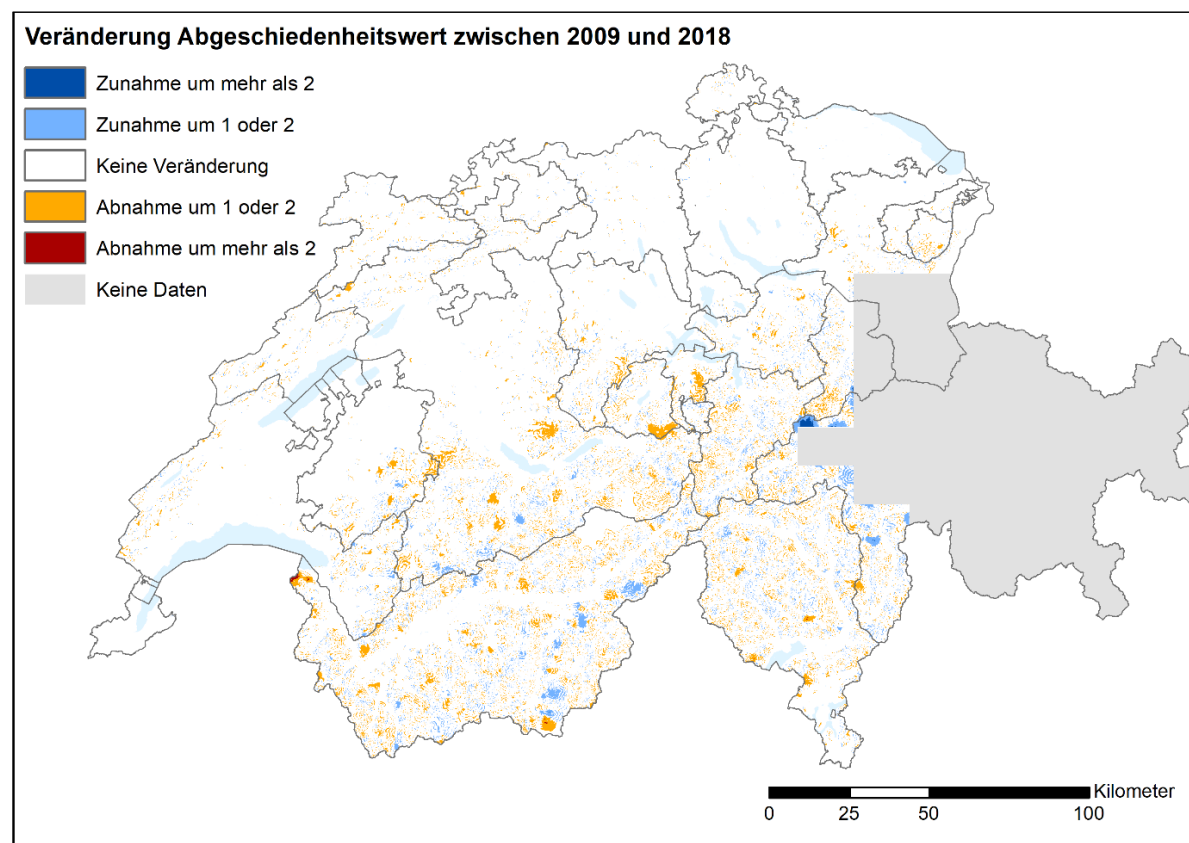


Abbildung 4-17: Veränderung des Abgeschiedenheitswertes zwischen 2009 und 2018. (Dimensionslose Einheiten)

#### 4.3.4. Kombination der Faktoren: die Veränderung der Wildnisqualität

Die Tabelle 4-5 sowie die Abbildung 4-19 und Abbildung 4-20 zeigen die Veränderung der Wildnisqualität. Dabei werden die Veränderungen der Natürlichkeit, der Abgeschiedenheit und des menschlichen Einflusses kombiniert. Zu beachten ist, dass beim Verrechnen der Wildnisqualität die einzelnen Faktoren unterschiedlich gewichtet wurden und dies auch einen Einfluss auf die Veränderung der Wildnisqualität hat. Der Mittelwert der Wildnisqualität hat sich schweizweit zwischen 1985 und 2009 um 0.176 Einheiten verringert. Bei einer Skala von 4 bis 40 entspricht diese Veränderung einer Reduktion von weniger als einem halben Prozent. Da es sich hierbei um einen Mittelwert handelt, ist dies als eine schweizweite Tendenz zu verstehen. Die Dynamik der Veränderung ist wesentlich grösser. So liegt die Veränderung der Flächen auf Ebene Schweiz bei 29.1%, wobei etwas mehr als zwei Drittel davon sich hin zu einer tieferen Wildnisqualität entwickelt haben. Dadurch heben sich die Veränderungen bei der Berechnung des Mittelwertes gegenseitig etwas auf. Bei der Betrachtung der Abbildung 4-19 fällt auf, dass bei den Einflüssen zwischen grossflächigen und kleinflächigen Veränderungen unterschieden werden kann. Teilweise wirkt es jedoch etwas schwierig, klare Tendenzen zu erkennen, da sich Zu- und Abnahmen abwechseln können. Auch können sich einzelne Veränderungen gegenseitig aufheben.

Tabelle 4-5: Veränderung der Wildnisqualität nach biogeographischen Regionen. Die Indexwerte sind dimensionslos und der Maximalwert liegt bei 40.

Biogeographische Region	Indexwerte		Veränderung der Flächen			
	Mittelwert 2009	Veränderung Mittelwert 1985 - 2009	Anzahl veränderter Flächen [ha]	Anteil an Bezugsfläche [%]	Zunahme [%]	Abnahme [%]
<b>Schweiz</b>	19.557	-0.1756	1158850	29.1	35.1	64.9
<b>Jura</b>	14.969	-0.3404	137910	32.13	22.53	77.47
<b>Mittelland</b>	9.777	-0.2654	272613	26.8	24	76
<b>Voralpen</b>	17.624	-0.1959	66099	25.29	30.83	69.17
<b>Nordalpen</b>	23.376	-0.1448	250002	29.15	36.89	63.11
<b>Östliche Zentralalpen</b>	25.955	-0.0657	167144	28.84	44.51	55.49
<b>Westliche Zentralalpen</b>	26.709	-0.1518	132242	27.52	37.97	62.03
<b>Südalpen</b>	26.884	-0.0109	70514	34.71	50	50
<b>Südliches Tessin</b>	22.910	0.0357	62326	40.56	60.71	39.29

Die regionalen Unterschiede zwischen Jura, Mittelland, Alpen und Alpensüdseite, welche sich bei den einzelnen Faktoren ergeben haben, bleiben bestehen. Vom dichtbesiedelten Mittelland her in Richtung Süden nimmt die Reduktion der Wildnisqualität fortlaufend ab, bis sich die Veränderungen in den Südalpen in etwa ausgleichen. Im südlichen Tessin nimmt die Wildnisqualität zu. Die grösste Reduktion der Wildnisqualität findet in Jura statt. Bei der Betrachtung der Veränderung der Flächen zeigt sich ein ähnliches Bild.

Die Einflüsse der einzelnen Faktoren auf die Veränderungen in den einzelnen Regionen sind jedoch verschieden (Abbildung 4-18). Sind im Mittelland und im Jura der grössere menschliche Einfluss für die Abnahme der Wildnisqualität verantwortlich, ist es in den Alpen differenzierter. Dort wirkt sich die höhere Natürlichkeit positiv auf die Wildnisqualität aus. Die Veränderung des Indexwertes menschlicher Einfluss in negative Richtung ist nicht mehr so ausgeprägt, wie im Mittelland und im Jura. Die Abgeschiedenheit nimmt hingegen stärker ab. Auf der Alpensüdseite können die Zunahme der Natürlichkeit und die Abnahme des menschlichen Einflusses die Abnahme der Abgeschiedenheit beinahe (in den Südalpen) oder ganz (im südlichen Tessin) ausgleichen.

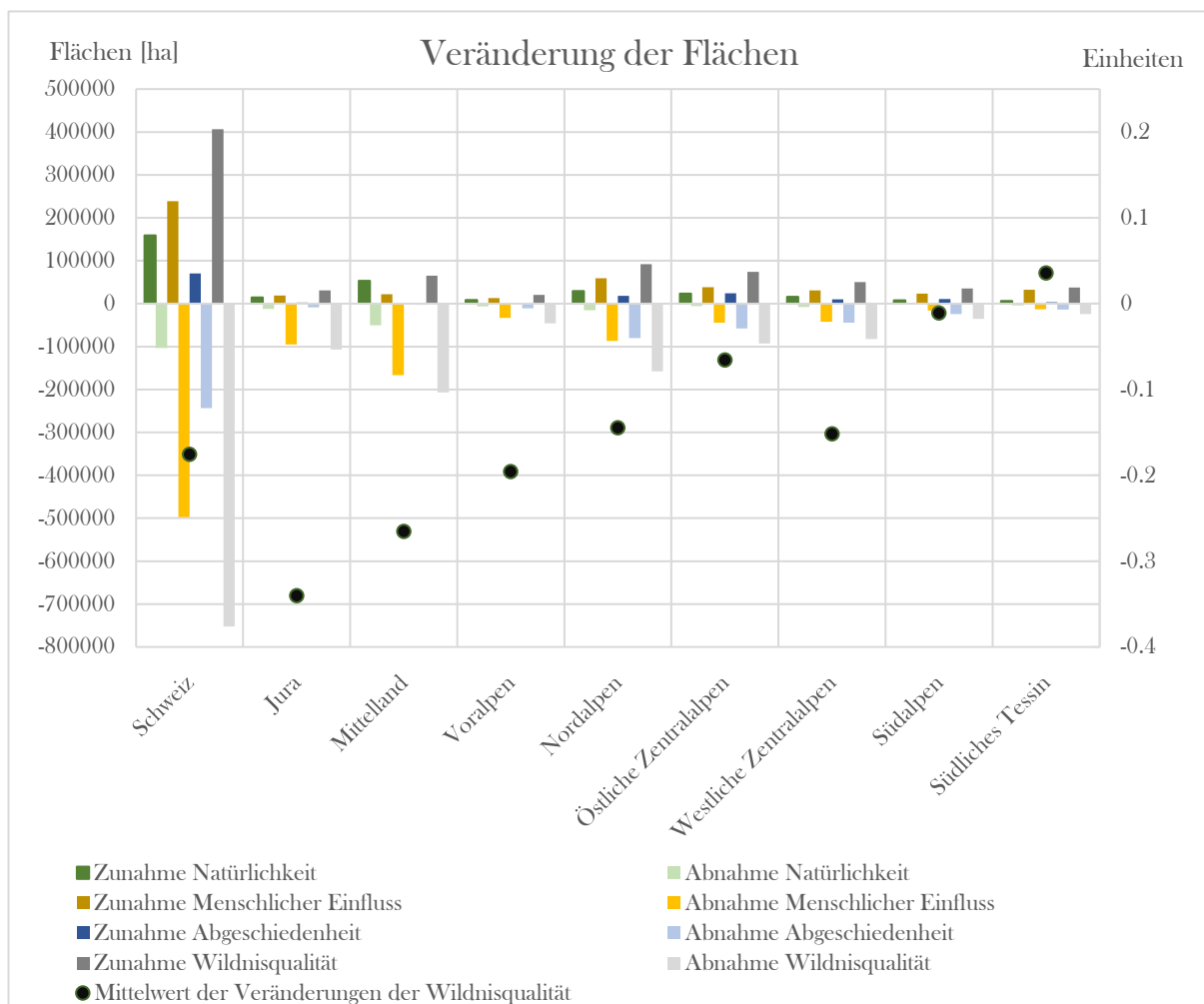


Abbildung 4-18: Übersicht der Flächen-Veränderungen nach biogeographischen Regionen

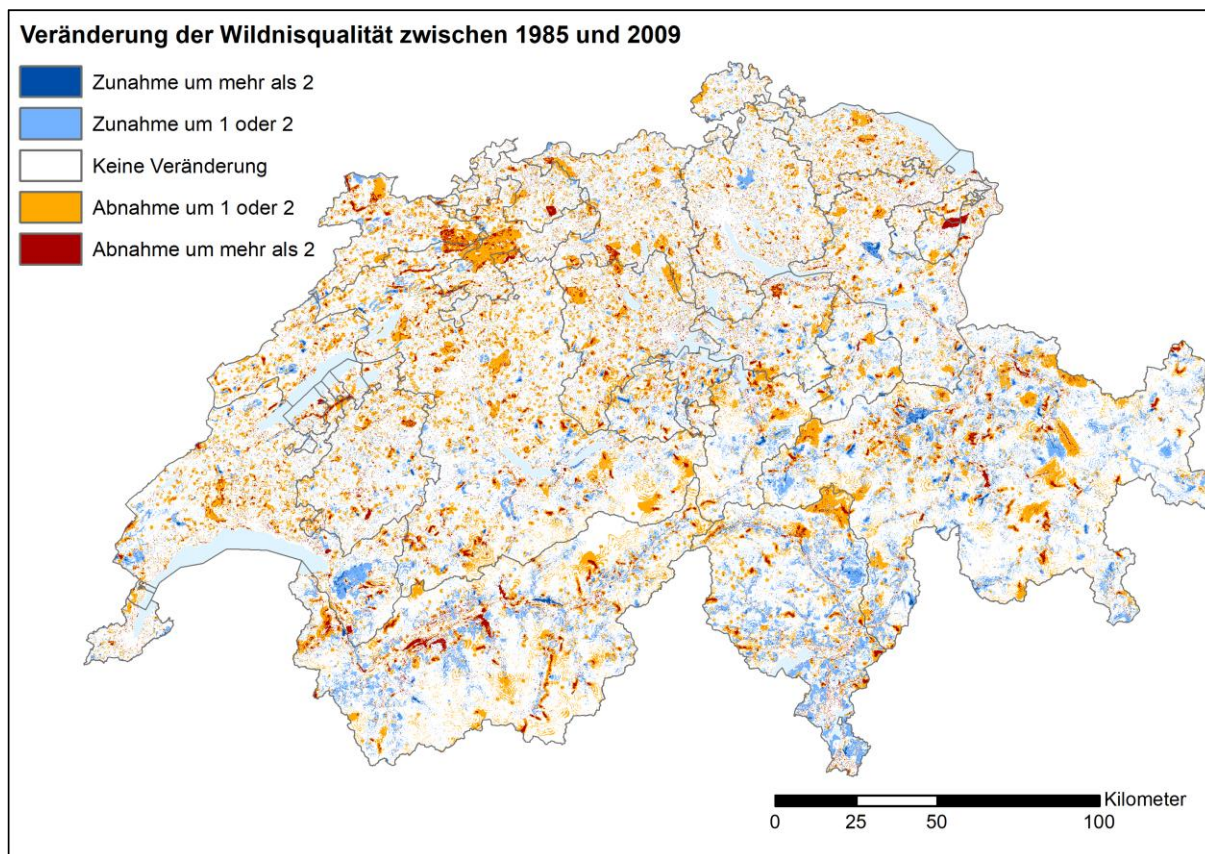


Abbildung 4-19: Veränderung der Wildnisqualität zwischen 1985 und 2009. (Dimensionslose Einheiten)

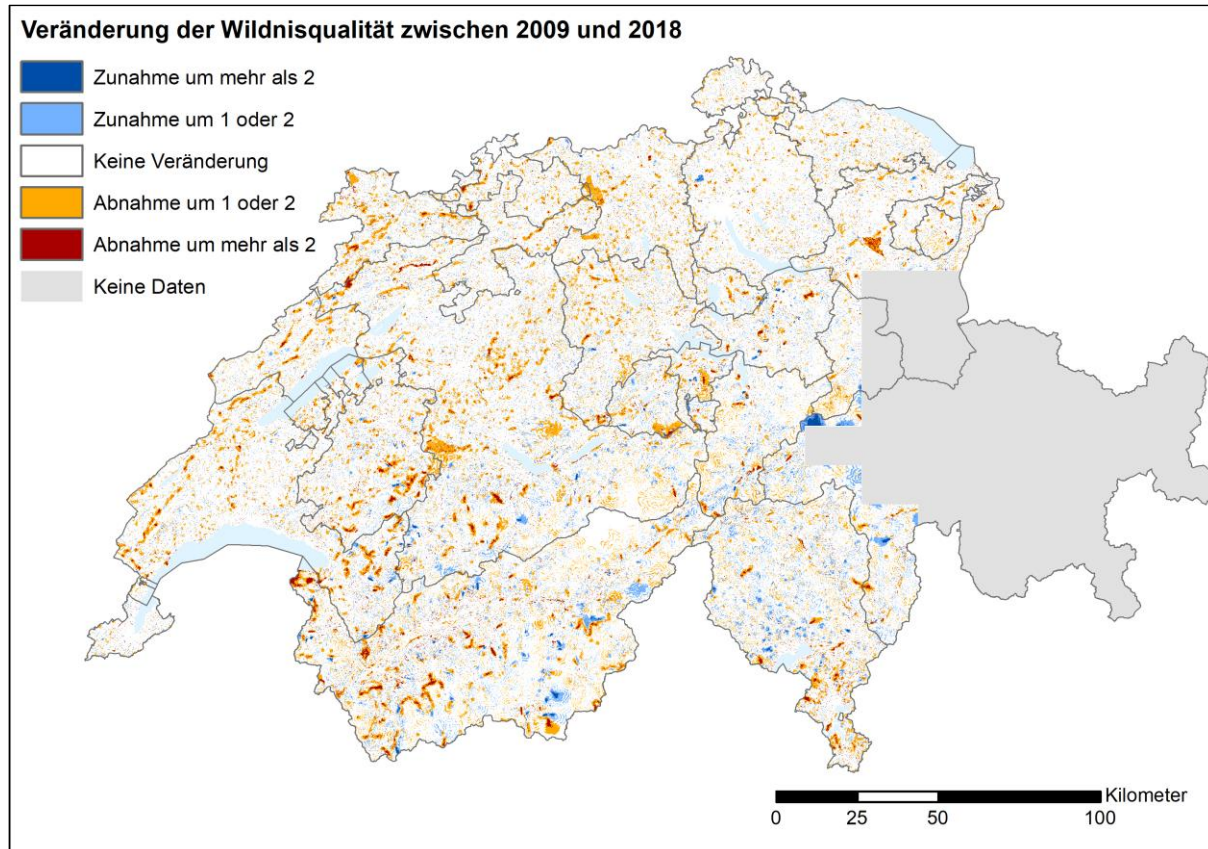


Abbildung 4-20: Veränderung der Wildnisqualität zwischen 2009 und 2018. (Dimensionslose Einheiten)



## 4.4. Rekapitulation der wichtigsten Resultate

In Abbildung 4-21 werden die Veränderungen der Natürlichkeit, des menschlichen Einflusses, der Abgeschiedenheit und der Wildnisqualität räumlich zusammengefasst. Dazu werden einerseits die Gewässereinzugsgebiete und andererseits die Siedlungsräume aus dem Jahr 2019 mit einem Buffer von 200 Metern verwendet. Dies dient dazu, die Veränderungen im ländlichen Raum von den Veränderungen im Siedlungsraum abzutrennen. Des Weiteren wird so der starke negative Einfluss des Siedlungsraums auf die Indizes räumlich abgeschwächt. Werden die einzelnen Faktoren nebeneinander verglichen, so können verschiedene Muster erkannt werden.

### Siedlungsgebiet

Im erweiterten Siedlungsgebiet hat die Wildnisqualität stark abgenommen, dies unabhängig davon, in welcher Region sich dieses befindet. Dies ist einerseits dem starken Verlust an Natürlichkeit und dem wachsenden menschlichen Einfluss geschuldet. Die Abgeschiedenheit hat hingegen nicht stark abgenommen, da in diesen Gebieten bereits ein tiefer Wert vorhanden war. Haupttreiber für diese Veränderungen liegen im Siedlungswachstum und dem Wachstum der Infrastruktur.

### Ländlicher Raum

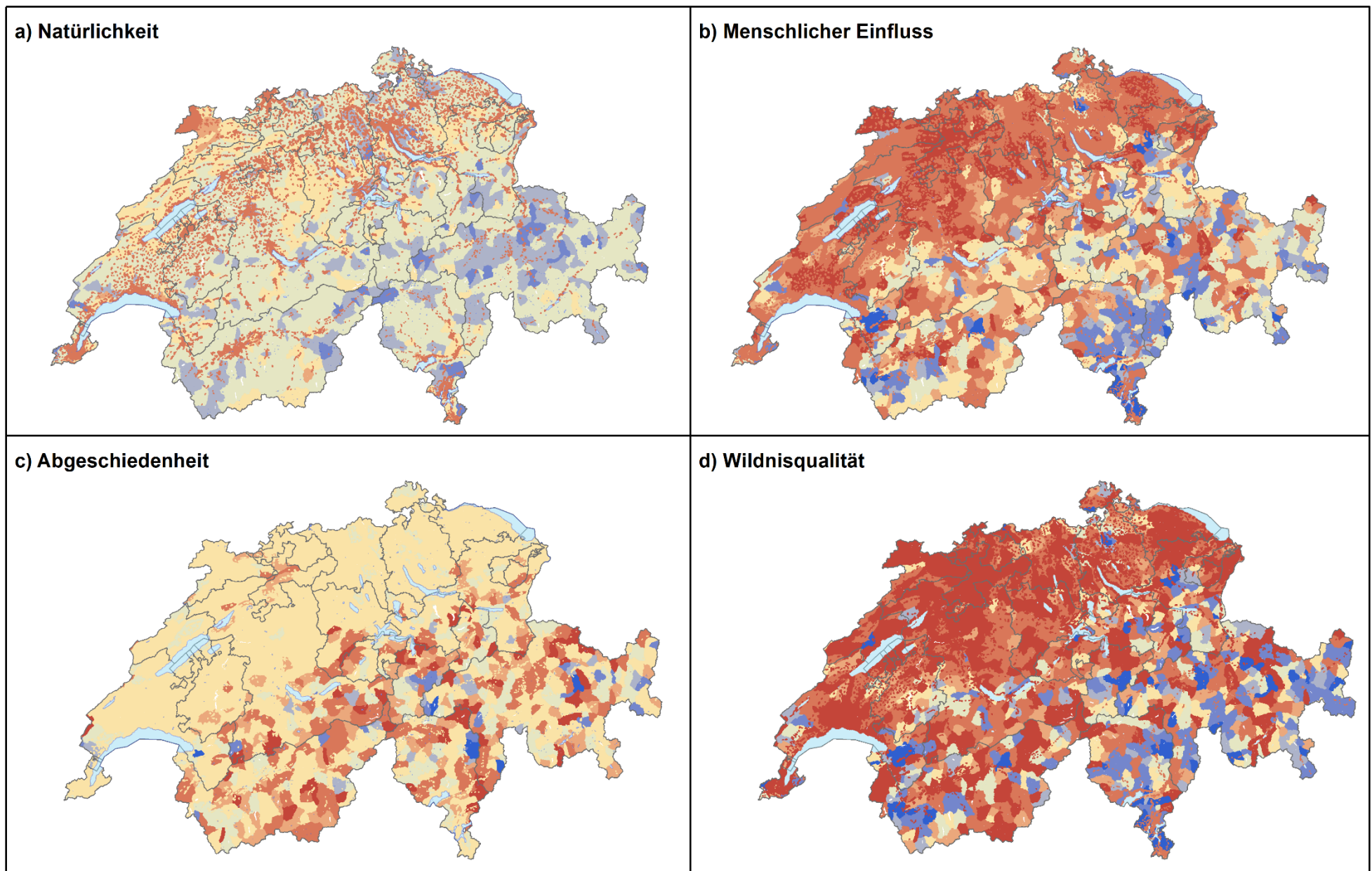
Im ländlichen Raum sind mehrere Muster zu erkennen, welche sich von Index zu Index unterscheiden. Die Veränderungen der Indizes liegen meist bei plus oder minus einer Einheit. Der Natürlichkeitsindex hat schweizweit mehrheitlich zugenommen, wobei räumliche Unterschiede vorhanden sind. Die stärksten Zunahmen befinden sich im ländlichen Raum der Alpen. Dabei spielen die Landnutzungs-Trajektorien, welche nachgewiesen werden konnten, eine wichtige Rolle. Insbesondere die Verbuschung und Verwaldung der Alp- und Juraweiden führen zu einer höheren Natürlichkeit. Abgenommen hat die Natürlichkeit hingegen durch Nutzungsänderungen oder Intensivierungen der Landwirtschaft. Bei den Nutzungsänderungen, besonders im Jura, ist der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur ein wichtiger Faktor. Die Intensivierung der Landwirtschaft findet mehrheitlich im Mittelland und den gut zugänglichen Haupttälern statt.

Die Auswirkungen des menschlichen Einflusses auf den ländlichen Raum sind in mehreren Faktoren begründet. Die vermehrte Fragmentierung der Landschaft zeigt sich mehrheitlich im Jura und im Mittelland durch den Ausbau der Verkehrsflächen und dessen stärkeren Nutzung. Damit einher geht auch die erhöhte Verkehrsbelastung, welche sich des Weiteren auch in den Alpen und auf der Alpensüdseite stark erhöht hat. Durch den Tunnelbau nimmt in vereinzelt Gebieten der menschliche Einfluss ab, da die Fragmentierung unterbrochen wird und gewisse Strassen so herabgestuft werden können. Ein weiterer Faktor, welcher meist zu einem erhöhten menschlichen Einfluss führt, sind neue Bergbahnen.

Diese Veränderungen ereignen sich fast ausschliesslich im Alpenraum. Die anlagefreien Gebiete haben ebenfalls abgenommen. Dies geht einher mit dem bereits angesprochenen Siedlungswachstum und des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur. Weiter sind auch neue Gebäude und Wanderwege in abgelegenen Gebieten erstellt und gebaut worden, welche ihrerseits den menschlichen Einfluss erhöhen. Die Abnahme des menschlichen Einflusses ist mehrheitlich in der Abnahme der Waldbewirtschaftung begründet. Besonders im Tessin werden die Wälder nach LFI teilweise seit mehr als 50 Jahren, teilweise sogar seit mehr als 100 Jahren nicht mehr bewirtschaftet. Dieses Muster passt mit der Extensivierung, welche bei der Natürlichkeit angesprochen wurde, zusammen. Auch im Alpenbogen sind solche Flächen vorhanden. Im Mittelland und teilweise im Jura werden die Wälder hingegen stark bewirtschaftet und die Flächen intensiv genutzt.

Wird die Veränderung der Abgeschiedenheit betrachtet, fällt auf, dass diese auf tiefem Niveau beinahe schweizweit abnehmen. Die grösseren Reduktionen befinden sich im Alpenbogen und auf der Alpensüdseite, wo die Natürlichkeit zugenommen oder stark zugenommen hat. Es liegt nahe, dass die Zunahme der Erreichbarkeit auch mit der Zunahme des menschlichen Einflusses einhergeht. Zumindest dort, wo die Bewirtschaftung der Wälder nicht abgenommen hat. Zu beachten ist, dass die Veränderung der Abgeschiedenheit von Tal zu Tal verschieden sein kann. Oft sind diese Veränderungen mit den Ausbauten von bestehenden Strassen verbunden.

Werden die drei sich verändernden Faktoren betrachtet und kombiniert, fällt auf, dass grosse Unterschiede auf lokaler Ebene bestehen. Grundsätzlich können aber zwei Muster erkannt werden: 1. Die Infrastruktur wird ausgebaut und führt zu mehr menschlichem Einfluss und weniger Abgeschiedenheit. Dies führt zu einer geringeren Wildnisqualität. 2. Die Landnutzungsveränderung zeigt zwei Muster. So hat sich die Bewirtschaftung im Mittelland und im Jura intensiviert und im Alpenraum und der Alpensüdseite extensiviert. Dies führt zu einer Reduktion der Wildnisqualität im Mittelland und zu einer Erhöhung im Alpenraum.



**Mittelwert der Veränderung 1985 bis 2009  
(Gliederung nach Gewässereinzugsgebiete und Siedlungsflächen)**

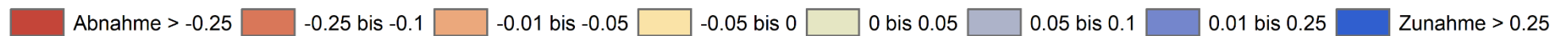


Abbildung 4-21: Überblick der Veränderungen 1985-2009. a) Natürlichkeit, b) Menschlicher Einfluss, c) Abgeschlossenheit, d) Wildnisqualität.

## 5. Diskussion

Als erstes werden die angewendeten Methoden für die Landnutzungsveränderungen und die Simulation der Wildnisqualität diskutiert. In einem zweiten Schritt folgt die Diskussion der Resultate und der Vergleich mit der bestehenden Wildnisqualitäts-Studie.

### 5.1. Methodik

Die Methodendiskussion geht auf die jeweils verwendeten Geodaten und deren Vor- beziehungsweise Nachteile ein. Weiter werden die durchgeführten Schritte diskutiert und die Entscheidungen dazu erläutert.

#### 5.1.1. Landnutzung

Bei der Untersuchung der Landnutzungsveränderung wurden für die Auswertung der Daten nur Veränderungen betrachtet, welche grösser waren als 800 beziehungsweise 1000 Hektar. Das Ziel dieser Reduktion ist es, einerseits die wichtigsten Ereignisse heraus zu filtern und andererseits die Menge der Daten zu reduzieren. Dies kann jedoch dazu führen, dass kleine Veränderungen nicht berücksichtigt werden.

Die Einteilung der Bodennutzungskategorien in die Landnutzungs-Trajektorien folgt einem linearen Muster. Bei diesem Modell wird eine grundsätzliche natürliche Abfolge definiert. Sie lässt jedoch auch Prozesse zu, welche nicht dieser linearen Abfolge entsprechen. Diese wurden bei den Resultaten bewusst dargestellt und nicht herausgefiltert. Dadurch können auch solche Dynamiken dargestellt werden, welche nicht diesen linearen Trajektorien folgen würden. Es kann aber auch gezeigt werden, welche hauptsächlichen Prozesse stattfinden.

Bei der Verwendung der Extensivierungen für die Simulation der Wildnisqualität gilt die Grenze von 800 Hektar nicht. Es wurden alle Prozesse miteinbezogen, welche sich innerhalb einer Landnutzungskategorien<sup>6</sup> abspielen, sowie solche, die in eine höhere Kategorie gehen.

#### 5.1.2. Simulation Wildnisqualität

Grundsätzlich orientiert sich die Methode an der bisher einzigen Wildnis-Studie von Radford, et al. (2018), welche für die Schweiz das Potenzial simuliert hat. Die dort angewendete Methode basiert ihrerseits auf Studien aus Schottland, den USA und Österreich (Carver, et al., 2012; Carver, et al., 2013;

---

<sup>6</sup> Diese abgestuften Landnutzungskategorien orientieren sich an den Landnutzungs-Trajektorien.

Plutzer, 2013). Aufgrund der gesetzten Zielsetzung, eine historische Betrachtung durchzuführen, musste die Methode auf die verfügbaren Daten angepasst werden. Durch das Erstellen von Zeitreihen konnten zusätzlich dynamische Faktoren, wie etwa die Extensivierung, eingebaut werden. Da die Methode angepasst werden musste, erfolgte auch eine Überprüfung der bisherigen Methode, was zu einzelnen Veränderungen und Adaptionen geführt hat. Ein Vergleich der Methode und der Resultate folgt im Kapitel 5.3.6.

Viele der Geodaten, welche für die Studie von Radford, et al. (2018) verwendet wurden, basieren nicht auf Zeitreihen und sind daher nicht vorhanden. Auch das nachträgliche Erfassen wäre schwierig. Daher basieren diese Simulationen auf der Arealstatistik, den Vector200-Datensätzen und der LFI-Erhebung. Die Arealstatistik als Basis für die Simulation beschränkt auch den zeitlichen Horizont, auf die Erhebung 1985. Auch die Vector200-Datensätze, mit Ersterhebung 1988, stimmen nur bedingt mit dem Zeitraum der Erhebung der Arealstatistik überein. Sie eignen sich aber für eine historische Betrachtung, da sowohl die Arealstatik als auch die Vector200-Datensätze seit der Ersterhebung ergänzt und angepasst wurden, sich die Methodik aber nur wenig geändert hat. Dabei spielen die genauen Erhebungszeiträume weniger eine Rolle als die Kontinuität der Erhebung. Dies, weil allgemeine Trends ausgearbeitet und nicht Einzelereignisse betrachtet werden. Da die Geodaten nicht exakt die gleiche Datierung aufweisen, liegt der Fokus der Veränderung nicht auf Prozessen, welche zwischen den einzelnen Zeitschritten stattgefunden haben.

Der vierte und aktuelle Zeitschritt verwendet anstelle des Vector200-Datensatzes den Datensatz swissT-LM<sup>Regio</sup>. Dieser ist das Nachfolgeprodukt und wurde komplett überarbeitet. Dadurch gibt es kleine Unterschiede in der Strassenführung, was zu kleinen Verschiebungen der Resultate, besonders bei der Abgeschlossenheit geführt hat. Weiter ist bei der Simulation des aktuellen Zeitschrittes die Arealstatistik 2018 verwendet worden, welche noch nicht vollständig publiziert wurde. Dadurch sind Randeffekte bei der Simulation der Abgeschlossenheit entstanden.

Die Charakterisierung der Wildnisqualität in vier einzelne Indizes, welche anschliessend miteinander verrechnet werden, wurde übernommen. Auch die Gewichtung, welche Radford, et al. (2018) verwendet haben, und aus Experteninterviews stammt, wurde nicht verändert. Hingegen wurde die Skala von 1 bis 5 auf 1 bis 10 für jeden der vier Faktoren erweitert, wodurch eine Differenzierung der Resultate erwirkt wird. Dadurch erhöht sich auch die maximale Wildnisqualität von 20 auf 40 Punkte. Die Simulationen der vier Faktoren und die Annahmen, welche getroffen wurden, werden folgend erläutert.

## Rauheit

Für die historische Betrachtung wurde die Rauheit als einer der Indizes simuliert. Da dieser Datensatz auf dem digitalen Höhenmodell der Schweiz mit einer Auflösung von 25x25 Metern beruht, wurden

keine Zeitreihen erstellt. Dies, weil davon auszugehen ist, dass sich die Oberfläche der Schweiz in dieser Auflösung nicht stark verändert hat. Neben der Standardabweichung der Krümmung in einem Radius von 250 Metern wurde die Hangneigung als ein weiterer Faktor der Rauheit definiert. Radford, et al. (2018) und andere Studien haben bisher nur die Krümmung in diesen Faktor miteingerechnet. Dabei werden Unterschiede in der räumlichen Struktur detektiert. Dieser Indikator für Rauheit eignet sich im Mittelland und im Jura gut, um raue Strukturen zu erkennen. Im Alpenraum hingegen sollten auch konstant steile Hänge eine höhere Rauheit aufweisen, was bei der Standardabweichung der Krümmung zu wenig berücksichtigt wird. Deshalb wurde der Faktor mit der Hangneigung ergänzt. Was weiterhin nicht berücksichtigt wird, sind Rauheiten, welche bei einer Auflösung von 25x25 Metern nicht vorkommen, da sie kleinräumiger sind.

## Natürlichkeit

Der Natürlichkeitsindex basiert auf den Daten der Arealstatistik. Der Einfluss der Waldbewirtschaftung wird, nicht wie bei Radford, et al. (2018), beim menschlichen Einfluss einbezogen (siehe weiter unten). Die Abstufung nach Höhenklassen wurde beibehalten. Diese Abstufung ist sinnvoll, da die Strukturen und Bewirtschaftungen im Allgemeinen auch von den Höhenstufen abhängig sind. Die Neuklassifizierung der Arealstatistik erfolgte in Anlehnung an Radford, et al. (2018), wurde aber auf die Skala 1 bis 10 erweitert. Unter Berücksichtigung von Sukzessionsprozessen wurden verschiedenen Klassen eine höhere Natürlichkeit zugeordnet. Dies betrifft insbesondere Waldflächen. Dabei bleibt es schwierig, die verschiedenen Landnutzungskategorien in eine Natürlichkeitsskala zu überführen.

Durch die historische Betrachtung wird es möglich, Veränderungen, welche den Landnutzungs-Trajektorien folgen, in die Simulation einzubeziehen. Zu beachten ist, dass die Auflösung der Arealstatistik 100x100 Meter beträgt. Dies führt dazu, dass kleinräumige Veränderungen und kleine Hotspots der Natürlichkeit nicht dargestellt werden. Weiter ist eine Generalisierung vorhanden, wodurch keine Aussagen über die Qualität der Habitats sowie über die Intensität der Nutzung der einzelnen Rasterfelder innerhalb einer Kategorie gemacht werden kann. Dies lässt nur bedingt Rückschlüsse auf die Biodiversität zu. Dazu wären weitere Informationen zu Flora und Fauna auf lokaler Ebene nötig.

## Menschlicher Einfluss

Der Index des menschlichen Einflusses ist aus mehreren Werten aufgebaut, welche vom Maximalwert abgezogen werden. Dazu gehören die anlagefreien Gebiete, die Fragmentierung der Landschaft, die Siedlungen, der Verkehr, die Bergbahnen und die Waldbewirtschaftung. Um ein Maximum an menschlichem Einfluss zu erreichen, müssen mehrere dieser Faktoren Einfluss auf den Index nehmen. Der menschliche Einfluss, so wie ihn Radford, et al. (2018) simuliert haben, war für eine historische Betrachtung nicht möglich. Faktoren, wie die Bevölkerungsdichte, die Gasthöfe und Hütten, die Skirouten und

Wanderwege, sowie die Lichtverschmutzung und die Lärmbelastung konnten nicht übernommen werden. Dies, weil die Geodaten nicht bis 1985 zurückreichen. Daher wurden die zu Beginn erwähnten Faktoren verwendet, wobei versucht wurde, die Faktoren möglichst zu substituieren.

Bei den anlagefreien Gebieten wurden die Vector200-Daten verwendet. Im Siedlungsraum sind darin nicht alle Objekte enthalten, da bei einer Auflösung von 1:200'000 dicht besiedeltes Gebiet generalisiert wird. Einzelobjekte im ländlichen Raum werden jedoch gut dargestellt. Auch ist das aufgeführte Weg- und Strassennetz, auflösungsbedingt, nicht komplett. Wichtige Routen, besonders im ländlichen Raum werden aber abgebildet. Da die Erhebungen kontinuierlich ergänzt und überprüft wurden, lässt es einen Vergleich untereinander zu. Auch weil die Auflösung der Simulation auf Hektarbasis liegt, sind genaue Verläufe, sowie parallel verlaufende Strassen, nicht entscheidend. Die Ausführungen zu den Vector200-Daten gelten nicht nur für die anlagefreien Gebiete, sondern auch für alle anderen Faktoren, welche auf dieser Basis erstellt wurden. Auch der Index der Fragmentierung der Landschaft basiert auf den Vector200-Datensätzen. Dieser wurde so erarbeitet, dass er die Flächengrösse, welche zwischen den Strassen- und Siedlungsflächen liegen, berechnet. Dabei handelt es sich um eine simple Berechnung, als wenn die Zerschneidung mittels Maschenweite oder Maschendichte berechnet wird (Bertiller, 2007). Da anschliessend die Flächen in drei Kategorien eingeteilt werden, genügt die Genauigkeit der Fragmentierung als Faktor des menschlichen Einflusses. Diese Methode bedeutet weiter, dass nur von Menschen geschaffene Trennelemente berücksichtigt werden. Natürliche Trennelemente, wie Flüsse und Gebirge werden nicht berücksichtigt. Dies, weil der Einfluss des Menschen im Zentrum steht, und keine artspezifischen Berechnungen verwendet werden.

Sowohl für die Lichtverschmutzung als auch für die Lärmbelastung, wie sie Radford, et al. (2018) angewendet haben, wurden alternative Berechnungsmethoden entwickelt. Dabei wurden die Emittenten, also die Siedlungs- und Verkehrsflächen verwendet, um die Distanz zu diesen als Indikatoren zu verwenden. Bei den Lichtverschmutzungen wurden grössere Siedlungsgebiete als stärkere Quellen verwendet. Starke Verschmutzungspunkte, wie etwa Fussballstadien, wurden nicht explizit berücksichtigt, befinden sich aber meist in Siedlungsgebieten. Die Verwendung der Siedlungsgebiete hat den Vorteil, dass andere menschlichen Einflüsse, welche im nahen Siedlungsraum vorhanden sind, ebenfalls berücksichtigt werden. Die Lärmbelastungen wurden mittels dem Vector200-Verkehrsdatensatz simuliert. Dabei werden stark befahrene Strassen, wie etwa Autobahnen stärker gewichtet als jene mit tieferem Verkehrsaufkommen. Diese Generalisierung basiert nicht auf Angaben zum Verkehrsaufkommen, sondern auf der Klassifizierung der Strassen nach Swisstopo. Dies, weil diese Daten nicht so weit zurück flächendeckend für die Schweiz vorhanden sind.

Die Bergbahnen wurden verwendet, um die Auswirkungen der Tourismusnutzung, insbesondere im Alpenraum, darzustellen. Der Grund, weshalb nur die Bahnanlagen verwendet wurden und nicht

beispielsweise die Skipisten, liegt daran, dass diese Daten nicht vorhanden sind. Die Verwendung der Bergbahnen führt aber dazu, dass die Wildnisqualität in den Ski- und Tourismusgebieten mit Bergbahnen reduziert und fragmentiert wird, was einer Annäherung an die Realität entspricht.

Wie oben erwähnt, wurde die Waldbewirtschaftung beim menschlichen Einfluss eingebaut. Dies, weil das Unterlassen der Bewirtschaftung in den letzten 50 beziehungsweise 100 Jahren weniger mit einer Steigerung der Natürlichkeit zu tun hat als mit dem Einfluss des Menschen. Weiter sind die Veränderungen in der Natürlichkeit kleinflächig. Dabei wird jedem Raster ein eigener Wert zugeordnet. Beim menschlichen Einfluss hingegen sind es flächige Ereignisse. Durch die Extrapolation der LFI-Punkte auf die umliegenden Waldflächen führt dies auch zu flächigen Veränderungen. Zu beachten bei diesen Extrapolationen ist, dass die Maschenweite der LFI-Erhebung 1.4 Kilometer beträgt. Dabei wird mittels Luftbilder der umliegende Wald im 500 Meter Netz eingebunden (Landesforstinventar, 2020). Es kann hierbei nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Gebiete in den umliegenden Wäldern trotzdem bewirtschaftet worden sind, während die Referenzfläche nicht bewirtschaftet wird. Insgesamt ist dies die beste Möglichkeit die Bewirtschaftung miteinzubeziehen. Dies ist sinnvoll, da es auch als Indikator dienen kann, wie sich die Bewirtschaftung in Zukunft entwickeln wird.

## Abgeschiedenheit

Aufgrund der beschränkten Datengrundlage wurde auf die Unterscheidung zwischen Individualverkehr und öffentlichem Verkehr, wie dies bei Radford, et al. (2018) der Fall war, verzichtet. Für die Berechnungen der Abgeschiedenheit wurde ein Kostenraster verwendet. Dieser besteht aus dem Wegnetz (Vector200-Daten) der Bodennutzung (Arealstatistik) und dem Höhenmodell (DHM25). Für die verschiedenen Wegnetze und Bodennutzungen wurden Geschwindigkeiten definiert. Besonders die Geschwindigkeiten auf den Strassen wurden konservativ gewählt. Bei der Simulation wurde für jede Rasterzelle die Entfernung zur nächsten Siedlung berechnet. Dabei handelt es sich um die theoretische Distanz zu den Siedlungen. Ob alle diese Punkte auch begangen werden, wurde nicht berücksichtigt. So wurde auch die theoretische Abgeschiedenheit für Gebiete berechnet, welche gar nicht oder nur sehr selten begangen werden. Es besteht eine hohe Diskrepanz zwischen möglicher Nutzung und theoretischer Erreichbarkeit und dem effektiven Verhalten des Menschen. Die Darstellung von Bewegungsdaten geben Hinweise darauf, dass sich die Menschen mehrheitlich auf den dafür vorgesehenen Wegen und Pfade bewegen (Riva, et al., 2020). Da entlang der Wege die Wegkosten tiefer sind, wird dies in beschränkter Weise miteinbezogen. Weiter wäre der Einbezug der Bewegungsfrequenzen für eine historische Betrachtung nicht möglich gewesen, da diese Daten nicht vorhanden sind.



## 5.2. Hohe Dynamik entlang der Landnutzungs-Trajektorien

Die Landnutzung in der Schweiz ist einer hohen Dynamik unterworfen. Dabei können zwischen den verschiedenen Kategorien grosse Unterschiede erkannt werden. Dabei fällt auf, dass die Dynamik besonders in Kategorien hoch ist, welche relativ kleine Flächen in der Schweiz bedecken oder nur wenig bewirtschaftet werden. Die flächenmässig wichtigen Kategorien wie die Landwirtschaftskategorien, die Siedlungsflächen oder der Normalwald weisen eine tiefere Dynamik auf. Dies kann einerseits damit erklärt werden, dass diese Flächen am Anfang oder am Ende dieser Trajektorien liegen und andererseits mit dem menschlichen Verhalten und den Bedürfnissen der Menschen an die Landschaft. Dabei zeigen sich unterschiedliche Dynamiken und Prozesse, abhängig vom Siedlungsdruck und geographischen Gegebenheiten.

Im Mittelland, in Teilen des Juras und in den Talsohlen der Alpentäler und des Tessins lassen geographischen Gegebenheiten eine hohe Nutzung zu, wodurch kaum Extensivierungsprozesse zugelassen werden (Schweizerischer Bundesrat, 2012). Über die Jahre verändern sich zwar die Nutzungen einerseits hin zu Wiesen und Weiden und andererseits hin zu Siedlungsflächen. Eine Dynamik in Richtung Nutzungsaufgabe oder Extensivierung findet jedoch nicht statt. Dies, weil die Landwirtschaft in maschinell einfach zu bewirtschaftenden Flächen effizienter produzieren kann. Im Gegensatz zu den Agrarflächen stehen die Waldflächen weniger stark unter Druck und werden nur vereinzelt in Siedlungsflächen überführt, da der Wald grundsätzlich nicht gerodet werden darf (BAFU, 2014). Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Waldflächen nicht genutzt werden. Die Dynamik in den Wäldern des Mittellandes ist höher als in den Alpen. Diese Wälder werden stärker bewirtschaftet, da die Bewirtschaftung kostengünstiger ist. Weiter führen auch die Stürme, allen voran Vivian und Lothar, und die Folgeschäden durch den Borkenkäfer zu grossen Waldschäden und Zwangsnutzungen im Mittelland und den Voralpen (Usbeck, 2015).

Auf der Alpensüdseite und insbesondere im Alpenraum können andere Prozesse nachgewiesen werden. Die ablaufenden Prozesse haben deutlich gezeigt, dass in diesen Gebieten die Veränderungen den Landnutzungs-Trajektorien folgen. Dabei kann zwischen primären und sekundären Prozessen<sup>7</sup> unterschieden werden. Zum Primärprozess gehören das Abschmelzen der Gletscher- und Firnflächen und der anschliessenden Bodenbildung, welche ihrerseits in eine Verbuschung und Verwaldung übergehen. Dies nur, wenn die geographischen Gegebenheiten eine Bodenbildung oder eine Verwaldung zulassen. Bei den Sekundärprozessen wird die Bewirtschaftung, meist von Agrarflächen, aufgegeben. Dies zeigt sich in der Schweiz bei den Alp- und Juraweiden besonders stark, welche im Anschluss verbuschen. Die

---

<sup>7</sup> Diese Prozesse wurden von den Primär- sowie den Sekundärsukzessionen adaptiert.

verbuschten Flächen verändern sich weiter hin zu Waldflächen. Beim Betrachten von Nettoflüssen gilt es auch zu beachten, dass gewisse Flächen in eine andere Richtung fließen. In diesem Fall überwiegen aber die Flüsse entlang der Trajektorien deutlich.

Beim Betrachten der zeitlichen Komponente, also den Unterschieden zwischen den Erhebungen, fällt auf, dass sich zwischen 2009 und 2018 auch Landwirtschaftsflächen zu Feuchtgebieten verändert haben. Diese Veränderungen sind auf die Rückführungen von Agrarflächen in Moore im Kanton Schwyz zurück zu führen.

Die Prozesse im Alpenraum werden durch die Untersuchung der Fallgebiete bestätigt. Das Beispiel Val Bedretto zeigt, dass sich die Gebüsch- und Waldflächen entlang der Hänge und in höheren Lagen ausbreiten. Dabei zeigt sich eine Ausdehnung der Waldflächen talaufwärts. Diese Veränderungen stehen oft im Zusammenhang mit der weniger starken Bewirtschaftung der Alp- und Juraweiden. Im Nationalpark hingegen sind nur kleine Veränderungen auszumachen. Dies zeigt auf, dass diese Veränderungsprozesse in einem Gebiet, welches seit über 100 Jahren unter Schutz steht, weniger stark stattfinden, weil sie bereits weit fortgeschritten sind. Dies zeigt auch auf, welchen Grenzen die einzelnen Klassen unterworfen sind. Diese Fallbeispiele sind in ihrer Geschwindigkeit der Veränderung nicht repräsentativ für die ganze Schweiz. Sie zeigen zwei Richtungen auf, welche im ländlichen Raum der Schweiz vorkommen können. Wobei sich das Val Bedretto im Verlauf der Jahre sowohl im Tempo als auch in der Landnutzung dem Nationalpark angleichen wird, sofern diese Prozesse weiterhin stattfinden können. Zu beachten ist, dass viele abgelegene Täler im Alpenraum ähnlichen Prozessen ausgesetzt sind, wobei die Veränderungen der Natürlichkeit nach Einzugsgebieten in Abbildung 4-21 a) als Indikator dafür gesehen werden können.

## 5.3. Eine retrospektive Betrachtung der Wildnisqualität

Anhand der Simulationen für verschiedene Zeitschritte kann eine historische Betrachtung durchgeführt werden. Folgend werden als erstes die Resultate der einzelnen Faktoren diskutiert. Diese werden im Anschluss kombiniert und in Bezug auf die Wildnisqualität betrachtet. Des Weiteren werden die Resultate dieser Arbeit mit jenen der Wildnisqualitäts-Studie von Radford, et al. (2018) verglichen.

### 5.3.1. Natürlichkeit: Zwei unterschiedliche Entwicklungen

Die Natürlichkeit steht im direkten Zusammenhang mit der Landnutzung und dementsprechend auch mit deren Veränderungen. Jedoch haben nicht alle Landnutzungsveränderungen einen Einfluss auf die Natürlichkeitswerte, da verschiedene Kategorien die gleichen Werte haben können. Die Landnutzungsveränderungen und das Siedlungswachstum, welche in Kapitel 5.2 diskutiert wurden, zeigen sich auch bei der Veränderung der Natürlichkeit. So sind die Natürlichkeitswerte im und um die Siedlungsgebiete stark gesunken. Es zeigt sich jedoch, dass zwischen den Siedlungen im Mittelland Natürlichkeitsinseln bestehen, welche durch ausgedehnte Waldflächen entstehen. Dabei ist zu beachten, dass dies oft Erholungswälder sind, welche stark begangen werden (Ulmer, et al., 2010). Trotz dieser Tatsache führen diese weniger stark bewirtschafteten Flächen zu einer Zunahme der Wildnisqualität. Dabei fehlt es im Mittelland an grössere zusammenhängende Flächen, welche hohe Wildnisqualitäten aufweisen.

Die Tatsache, dass auf der einen Seite die Mittelwerte der Natürlichkeitswerte abnehmen und auf der anderen Seite die Flächen, welche sich hin zu mehr Natürlichkeit entwickeln, zunehmen, scheint auf den ersten Blick etwas paradox. Werden jedoch die ablaufenden Prozesse, welche bei der Landnutzung bereits thematisiert wurden, in Zusammenhang mit der Veränderung der Natürlichkeit betrachtet, kann dies erklärt werden. Die Zunahmen hin zu mehr Natürlichkeit im Jura, den Alpen und der Alpensüdseite folgen klar den natürlichen Prozessen einer Extensivierung. Dabei benötigen Prozesse, wie beispielsweise eine Wiederbewaldung, viel Zeit und laufen über mehrere Prozessschritte ab. Dadurch erhöht sich der Wert meist nur um eine Einheit. Dazu kommt, dass diese Prozesse nur bei Flächen auftreten, welche bereits extensiv bewirtschaftet werden. Die Abnahmen stehen hingegen meist im Zusammenhang mit menschlichen Aktivitäten, insbesondere bei der Bautätigkeit von Siedlungen und Strassen. Dabei fällt der Natürlichkeitsindex meist um mehrere Punkte. Diese Flächen beeinflussen den Mittelwert stark in negative Richtung. Ähnliches zeigt sich bei der Betrachtung der Natürlichkeit im Zusammenhang mit der Hangneigung und der Höhenlage. Eine Erhöhung des Natürlichkeitsindex findet in höheren Lagen und in steileren Hängen statt. Dies, weil intensive Bewirtschaftungen im Gelände schwieriger sind und die Produktion mit steigender Höhe abnimmt. Auch die Siedlungen dehnen sich in höheren Lagen weniger stark aus als es im Mittelland der Fall ist. Dies hat damit zu tun, dass die

Bevölkerung weniger in den kleinen Dörfern in den Tälern und lieber in den Städten und Agglomerationen wohnen möchte.

Der räumliche Kontrast zwischen Mittelland, den Alpenhaupttälern und den Alpen setzt sich auch bei der Untersuchung zwischen 2009 und 2018 fort. Die Extensivierungsprozesse, welche im Tessin bereits früh eingesetzt haben, gehen weiter. Auch die Alpflächen der Alpennordseite nehmen vermehrt ab und verbuschen, weil die Bewirtschaftung in abgelegenen und schwierig zugänglichen Gebieten weiter abnimmt.

### 5.3.2. Menschlicher Einfluss: Die Infrastrukturen nehmen zu

Auch beim menschlichen Einfluss können verschiedene Entwicklungen unterschieden werden. Die Mehrzahl davon führt zu einer Zunahme des menschlichen Einflusses und somit zu einer Abnahme des Indexes. Diese Entwicklungen können räumlich aufgeschlüsselt und begründet werden. Die Unterschiede zwischen Mittelland und der restlichen Schweiz sind dabei gross. Die beschriebenen Siedlungsentwicklungen bei der Natürlichkeit führen zu einer erhöhten Fragmentierung, zu mehr Verkehr und Lärm, sowie zu mehr Lichtverschmutzung. Obwohl diese bereits 1985 hoch waren, hat sich diese Entwicklung bis heute verstärkt. Auch die Nutzung der Wälder bleibt im Mittelland vorhanden. Im Alpenraum und insbesondere auf der Alpensüdseite nimmt, durch den hohen Aufwand für die Bewirtschaftung, die Nutzung ab. Zusammen mit den tiefen Holzpreisen führt dies dazu, dass diese Wälder nicht mehr gewinnbringend bewirtschaftet werden können (Brändli, 2010).

Neben neuen Infrastrukturen, wie Strassen und Häuser, wurden im Alpenraum neue Bergbahnen erstellt. Dabei ist zu beachten, dass das Erschliessen neuer Gebiete lokal grosse Auswirkungen auf den Index haben kann, falls vorher noch keine Infrastruktur bestand. Die Auswirkungen des Bauens von neuen Strassen zeigt sich durch erhöhte Fragmentierung und durch die erhöhte Verkehrsbelastung. Im Mittelland und insbesondere im Jura, wo seit 1985 neue Autobahnen und Strassen erstellt wurden, ist die Bautätigkeit gross. Vereinzelt zeigt sich eine Abnahme des menschlichen Einflusses durch den Bau von Tunnels.

### 5.3.3. Abgeschlossenheit: Schweizweite Abnahme

Auf den ersten Blick wirkt es etwas irreführend, dass im Mittelland die Abgeschlossenheit am wenigsten stark abgenommen hat. Werden jedoch die Werte im Mittelland betrachtet, wird schnell klar, weshalb dies so ist. Es gibt beinahe keine Gebiete mehr, welche nicht in weniger als 30 Minuten von einer Siedlung aus erreicht werden können. Auch im Alpenraum zeigt sich eine Abnahme der Abgeschlossenheit, obwohl die Alpentäler weniger stark bevölkert sind. Dabei ist entscheidend, dass der Ausbau

der Strasseninfrastruktur durch das erhöhte Mobilitätsverhalten der Schweizer Bevölkerung begründet werden kann (ARE, 2015). Bereits erstellte Strassen werden nur selten herabgestuft oder zurückgebaut, wodurch die Erreichbarkeit stetig zunimmt. Zu bedenken gibt es hier, dass die Veränderungen nicht sehr gross sind.

Die Möglichkeit, einen Punkt auf der Landkarte zu erreichen, unterscheidet sich stark vom effektiven Verhalten der Menschen. Obwohl das Verlassen von Wegen meist erlaubt ist und jeder Wald zugänglich für jeden ist, bewegen sich die Menschen meist auf den dafür vorgesehenen Wegen. Dies führt dazu, dass die Naturgebiete keineswegs so stark begangen werden, wie dies vielleicht durch diese Simulation den Anschein macht. Gleichwohl zeigt diese Analyse auf, dass die Schweiz nur wenige abgelegene Gebiete kennt, was bereits 1985 der Fall war.

### 5.3.4. Wildnisqualität: Schweizweit grosse Unterschiede

Die Kombination der einzelnen Faktoren in der Wildnisqualität zeigt, dass die Unterschiede der Indexwerte zwischen den einzelnen Regionen der Schweiz gross sind: Das Mittelland weist tiefe Werte auf, der Alpenbogen hingegen hohe. Diese räumlichen Unterschiede lassen keine Schlüsse zu, welche für die ganze Schweiz gelten. Wird die Wildnisqualität jedoch nach biogeographischen Regionen betrachtet, können klare Muster erkannt werden. Es liegt nahe, dass im Mittelland keine hohen Werte vorherrschen, da dieses Gebiet stark besiedelt und zerschnitten ist. Und doch gibt es vereinzelt interessante Gebiete, welche hohe Werte fürs Mittelland aufweisen. Dabei handelt es sich um grossflächige Waldgebiete (Siehe Kapitel 5.3.1). Hierbei ist weniger der absolute Wert, sondern der Gradient zur Umgebung wichtig. Denn um ein Potenzial aufzuweisen, müssen Gebiete nicht zwingend abgelegen sein, sondern können auch in der Nähe von Siedlungen und Strassen eine regional höhere Wildnisqualität aufweisen. Daher ist es bei der Betrachtung des Wildnispotenzials für dichtbesiedelte und landschaftlich heterogene Untersuchungsgebiete sinnvoll, regional unterschiedliche Grenzwerte zu verwenden (Riva, et al., 2020).

Im Jura und den Voralpen befinden sich grössere Gebiete, welche eine mittlere Wildnisqualität aufweisen. Dies, weil die Erreichbarkeit zwar hoch ist, die Natürlichkeit dieser Gebiete aber ebenfalls höher ist. Die hohen Werte werden erst in den Alpen erreicht. Dort sind neben der Natürlichkeit auch die Rauheit hoch und der menschliche Einfluss klein. Beim Betrachten der Resultate fällt auf, dass die Bergketten eine klar höhere Wildnisqualität aufweisen und die grossen Gebiete mit hoher Wildnisqualität sich in den Hochalpen wiederfinden. Dies, weil der Wert der Abgeschlossenheit zu einer klaren Abstufung zwischen Tälern, wo die Siedlungen sind, und Bergketten, welche schwer zu erreichen sind, führt. Dasselbe gilt für die vereisten Flächen, welche ebenfalls schwer zu erreichen sind.

Neben den Qualitäten der einzelnen Gebiete ist es wichtig, Veränderungen aufzuzeigen, damit der Einfluss von Nutzungsveränderungen der Landschaft verstanden werden können. Die Resultate haben gezeigt, dass die Veränderungen von Region zu Region verschieden sind und verschiedene Entwicklungen sich teilweise ergänzen, teilweise aber auch gegenseitig aufheben. Obwohl, oder gerade weil die Werte im Mittelland, dem Jura und den Voralpen tiefer sind als in den Alpen und auf der Alpensüdseite, sind die Indizes stärker von einer Abnahme betroffen. In diesen Gebieten hat der Druck der Siedlungen auf das Umland stark zugenommen. In den Regionen, wo bereits viel gebaut wurde, wird weiter viel gebaut. Dies vermindert etwas den Druck auf die Naturräume im Alpenbogen. Es dürfen jedoch die Inseln der Natürlichkeit zwischen den Siedlungen nicht zu stark unter Druck geraten, sonst gehen nicht nur Natursondern auch Naherholungsräume verloren.

In den Alpen können zwei gegenläufige Tendenzen erkannt werden. Einerseits findet eine Extensivierung der Landnutzung und der Wälder statt, was zu mehr Natürlichkeit führt. Andererseits nimmt die Abgeschiedenheit ab und der menschliche Einfluss zu. Die Zunahme der Natürlichkeit kann jedoch die Abnahmen nur teilweise kompensieren. Dies auch, weil die Zunahme der Natürlichkeit träge ist und daher diese Veränderungen langsamer voranschreiten. In der Südschweiz können die Extensivierungen die weiteren Einflüsse kompensieren. Dabei ist zu beachten, dass die Extensivierung in der Südschweiz weiter fortgeschritten ist. Daher liegt der Schluss nahe, dass es auch im Alpenbogen zu dieser Entwicklung kommen kann.

Werden die grossen Gebiete mit hoher Wildnisqualität betrachtet, fällt auf, dass diese sich im Kerngebiet nicht wesentlich verändert haben. An den Rändern hingegen zeigt sich, dass die Erreichbarkeit dieser Gebiete zugenommen hat und teilweise neue alpine Infrastrukturen erstellt wurden. Dies zeigt sich nicht nur in Gebieten mit hoher Wildnisqualität, sondern vor allem dort, wo bereits Anlagen stehen. Auch neue Wanderwege und der Ausbau von Strassen bewirkten schweizweit eine höhere Erreichbarkeit und verringern die Fläche der anlagefreien Gebiete. Diese erhöhte Mobilität und Freizeitnutzung kompensiert die Erhöhung der Wildnisqualität durch Extensivierungsprozesse.

Die Betrachtung der Wildnisqualität bis 1985 zurück zeigt, dass, obwohl eine hohe Dynamik in der Landnutzung besteht, bereits vor 35 Jahren die Werte der Wildnisqualität ähnlich waren, wie sie heute sind. Dies deutet darauf hin, dass viele Veränderungen, welche die Wildnisqualität beeinflussen, bereits vorher stattgefunden haben.

### 5.3.5. Die Landschaften verändern sich

Viele der Veränderungen, welche zwischen 1985 und heute aufgetreten sind, haben Auswirkungen auf das Landschaftsbild und die Wahrnehmung der Landschaft. Die Extensivierungen, welche besonders in den abgelegenen Tälern der Alpen auftreten, führen dazu, dass sich für die Schweiz charakteristische Landschaften verändern. Besonders Kulturlandschaften sind von diesen Veränderungen betroffen. Dazu gehören Alplandschaften, offene Waldlandschaften wie Waldweidenlandschaften oder Selvenlandschaften, aber auch die Mosaiklandschaften mit Wald-Offenland Muster (nach Rodewald, et al., 2014). Durch die Verbuschungen und Neubewaldungen entstehen Wildnis- sowie Naturlandschaften. Durch diese Veränderungen gehen Identifikationen und Heimatbindungen verloren. Es werden aber auch neue geschaffen. Für die lokale Bevölkerung ist es jedoch meist schwer, diese Veränderungen positiv zu sehen. Die Extensivierungsprozesse werden meist als Verlust der Kulturlandschaften wahrgenommen und nicht als Gewinn neuer Naturlandschaften. Touristen hingegen bewerten solche Veränderungen eher positiv (Moos, et al., 2019).

Auch durch neue Infrastrukturen in den Alpen ergeben sich Veränderungen der Landschaften. Dabei wird dieser Ausbau als ein wichtiger Wirtschaftsfaktor gesehen (ARE, 2006). Diese neuen Infrastrukturlandschaften gehen teilweise auf Kosten von Natur oder Kulturlandschaften, was Verlustgefühle wecken kann. Durch die hohe Mobilität und die erhöhte Erreichbarkeit stehen die abgelegenen Landschaften, insbesondere die Natur- und Wildnislandschaften unter Druck. Daher ist ein der Landschaft angepasstes und angemessenes Verhalten wichtig. Die Veränderungen zu höherer Wildnis stehen meist nicht im Zusammenhang mit dem bewussten Fördern der Wildnis, sondern sind viel mehr eine Folge der Nutzungsveränderungen. Dadurch werden diese Veränderungen negativ und nicht positiv wahrgenommen. Die erhöhte Mobilität und die tiefen Abgeschiedenheitswerte deuten darauf hin, dass sich die Menschen vermehrt in den Landschaften aufhalten, wodurch die Wahrnehmung an Bedeutung gewinnen könnte. Die Nutzung der Landschaft als Naherholung und als Tourismusfaktor, kann für das Verständnis der Wildnis positive Auswirkungen haben, jedoch auch den Konflikt mit der lokalen Bevölkerung erhöhen. Dabei sind gegenseitiges Verständnis sowie verständliche Informationen, welche die Vor- und Nachteile neutral wiedergeben, für Bevölkerung und Touristen wichtig.

### 5.3.6. Vergleich mit Wildnis-Studie von Radford, et al. (2018)

Die methodischen Unterschiede zur bisher einzigen Wildnis-Studie der Schweiz wurden in Kapitel 5.1.2 diskutiert. Folgend werden die Resultate der beiden Studien verglichen. Da die Studie von Radford, et al. (2018) nur für die Erhebungsperiode 2009 erarbeitet wurde, wird diese mit der Simulation des gleichen Zeitschrittes verglichen.

Abbildung 5-1 zeigt einerseits die beiden Simulationen und andererseits die Unterschiede. Die Werte wurden für diesen Vergleich normiert, da die Skalen unterschiedlich sind. Weiter zeigt die Abbildung, in welchen Gebieten in den jeweiligen Studien die Wildnisqualität höher berechnet wurde. Dabei können mehrere Unterschiede festgestellt werden.

Als erstes fällt auf, dass die in dieser Masterarbeit erstellte Simulation die Wildnisqualität höher einschätzt, insbesondere im Jura, den Voralpen, im Mittelland und den Flanken der Alpentäler. Also dort, wo die Qualität bei Radford, et al. (2018) tief ist. Diese Unterschiede befinden sich nicht im Siedlungsraum, sondern in den ländlichen Räumen dazwischen. Zu beachten ist, dass die grössten Veränderungen sich von einer tiefen Wildnisqualität (rot) hin zu einer mittleren (gelb) bewegt haben und nicht von einer mittleren in eine hohe (blau). Es gibt auch Gebiete, in welchen die Studie von Radford, et al. (2018) eine höhere Wildnisqualität aufweist. Diese befinden sich meist in Gebieten mit einer sehr tiefen Qualität.

Diese Unterschiede weisen darauf hin, dass die Siedlungen und Infrastrukturen in dieser Masterarbeit sich weniger auf den Raum auswirken. Bei Radford, et al. (2018) sind die Auswirkungen auf das Umland ausgehend von den Infrastrukturen grösser. Dies zeigt sich besonders stark entlang der Alpentäler und im Jura, wo in Gebieten mit Infrastruktur, also in den Talsohlen, diese Masterarbeit die Qualität tiefer einschätzt. Werden aber die steilen bewaldeten Flanken betrachtet, zeigt sich eine höher Bewertung in dieser Masterarbeit. Auch Infrastrukturen in den Alpen fallen in dieser Masterarbeit stärker ins Gewicht als dies in der Studie von Radford, et al. (2018) der Fall war.

Diese Unterschiede können mit verschiedenen Annahmen und anhand der gewählten Methodik erklärt werden. Einerseits führt die Erhöhung der Skala von einem Maximalwert 20 auf 40 dazu, dass besonders in mittlerer Wildnisqualität, eine höhere Differenzierung stattfinden kann. Andererseits wurden bei den Klassifizierungen vereinzelt andere Annahmen getroffen, welche sich nun auf die Resultate auswirken. So wurden Waldflächen in dieser Arbeit mit einer höheren Natürlichkeit versehen. Da die Voralpen und die Flanken der Alpentäler meist stark bewaldet sind, wirkt sich dies auf die Wildnisqualität in diesen Gebieten aus. Weiter wurde die Skala der Abgeschiedenheit stärker abgestuft. So konnte bei mittlerer Abgeschiedenheit eine höhere Differenzierung erreicht werden. Die höhere Wildnisqualität im Alpenraum in der Studie von Radford, et al. (2018) kann einerseits mit dem stärkeren Einbezug der



Bergbahnen begründet werden. Andererseits werden die Fusswege des Vector200-Datensatzes stärker gewichtet, wodurch die Abgeschiedenheit in diesen Gebieten abnimmt und andererseits die anlagefreien Gebiete kleiner werden.

Durch das Verwenden von historisch verfügbaren Geodaten, konnten nicht alle Faktoren, wie bei Radford, et al. (2018), simuliert werden. Auch die Auflösung der Vector200-Daten ist tiefer, als jene die heute verfügbar ist. Dadurch kann es sein, dass einzelne Objekte nicht oder mit einer tieferen Auflösung vorhanden sind. Da die Analyse jedoch in einer Rasterauflösung von 100x100 Metern durchgeführt wird und die Lagegenauigkeit der Vector200-Daten bei etwa 20 bis 60 Metern liegt, sind nur kleine Fehler zu erwarten (Swisstopo, 2020). Trotz kleinerer Geodatengrundlage konnte durch Erhöhen der Skala und anpassen einzelner Faktoren eine hohe Differenzierung erreicht werden. Abschliessend zu beachten ist, dass die Gebiete mit hoher Wildnisqualität in beiden Studien in etwa an denselben Orten liegen.

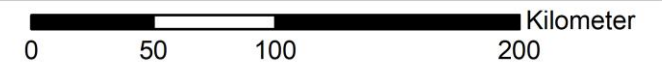
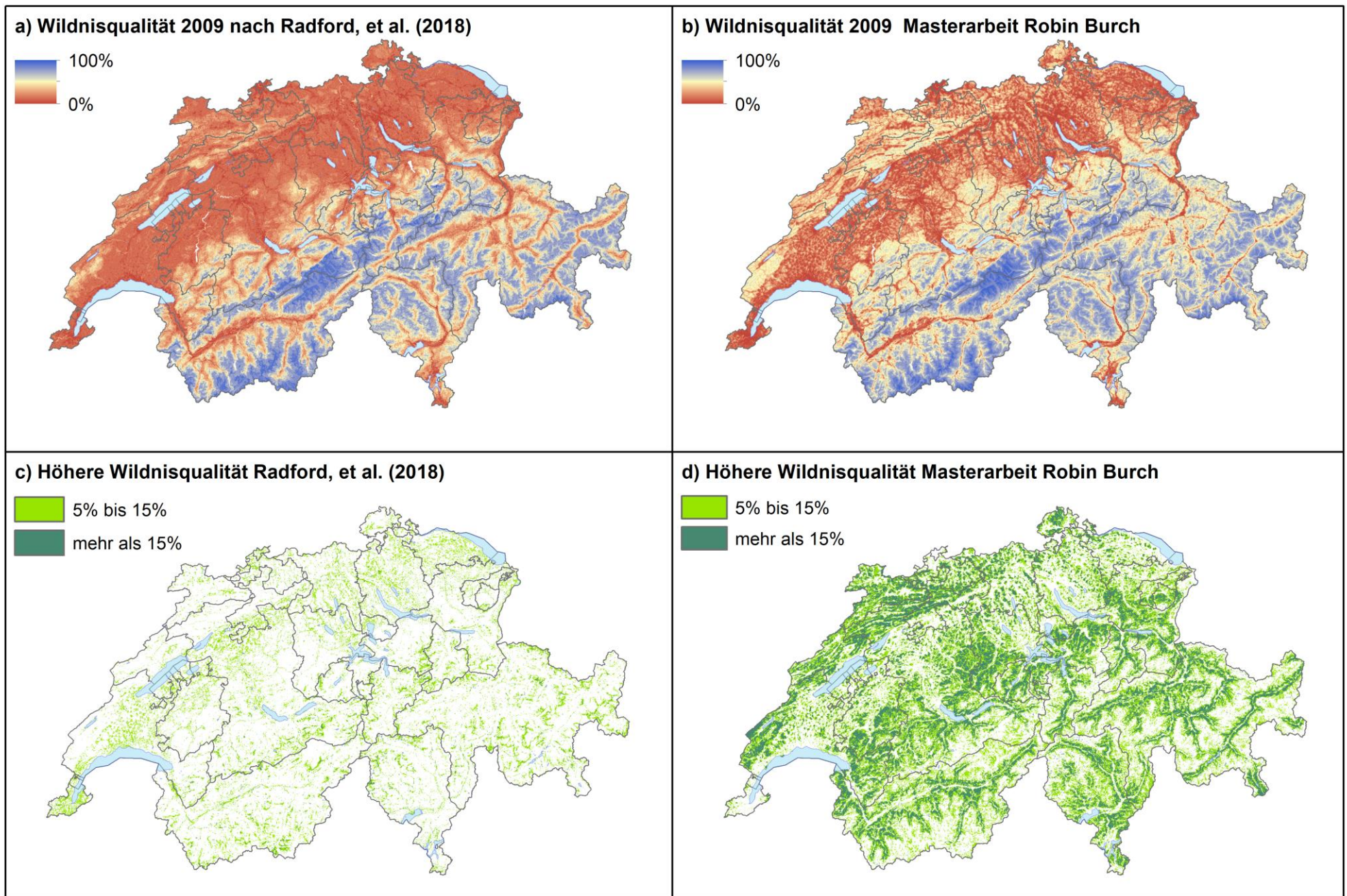


Abbildung 5-1: Vergleich mit der Studie von Radford et al. 2018

## 6. Fazit

### 6.1. Die Landschaft unter Druck

Zwischen 1985 und heute konnte eine starke Veränderung der Landnutzung in der Schweiz nachgewiesen werden. In geographisch günstigen Lagen sind Siedlungswachstum und Intensivierungen dominierend. Im Gebirge und an steilen Hängen findet jedoch eine Extensivierung der Landnutzung statt. Weiter konnte nachgewiesen werden, dass diese Veränderungen den Landnutzungs-Trajektorien folgen. Dabei konnten zwei verschiedene Prozessabfolgen identifiziert werden. Die erste folgt dem Schema vereiste Flächen, eisfreie Flächen, unproduktive Vegetation und anschliessend, falls es die geographischen Gegebenheiten zulassen Gebüsch- und Waldflächen. Die zweite entwickelt sich von einer extensiven Nutzung über Verbuschungs- und Verwaldungsprozesse in Waldflächen.

Diese nachgewiesenen Nutzungsverschiebungen sind, zusammen mit den Verkehrsnetzen, entscheidend für die Entwicklung der Wildnisqualität in der Schweiz. Die Abnahme der Qualität seit 1985 beinhaltet verschiedene, teils gegenläufige Entwicklungen. Daher müssen die Entwicklungen in den verschiedenen Regionen differenziert betrachtet werden. Im Wesentlichen kann zwischen den Veränderungen im Mittelland und Jura, den Veränderungen im Alpenraum und den Veränderungen auf der Alpensüdseite unterschieden werden. Obwohl die Werte im Jura und insbesondere im Mittelland tief waren, haben sich diese weiter verringert. Dabei haben alle Indizes abgenommen. Im Alpenraum hingegen konnten zwei gegenläufige Entwicklungen herausgearbeitet werden. Die erwähnte Extensivierung der Landnutzung bewirkt eine erhöhte Natürlichkeit im Alpenraum. Dem stehen die erhöhten menschlichen Einflüsse und die höhere Erreichbarkeit gegenüber. Auf der Alpensüdseite nimmt, im Vergleich zu den Alpen, der menschliche Einfluss ab, weil die Extensivierung sich auch bei der Waldbewirtschaftung zeigt. Obwohl sich der Jura in den 24 Jahren zwischen 1985 und 2009 am stärksten verändert hat, liegt die Änderung bei -0.34 Einheiten relativ tief. Dies lässt den Schluss zu, dass die starken Veränderungen bereits früher stattgefunden haben.

Die Auswirkungen dieser Veränderungen sind vielschichtig und sind stark abhängig von Werteeinstellungen der Menschen. Dabei zeigen die Landschaftsauswirkungen in unterschiedliche Richtungen: Dem starken Wachstum der Siedlungen und der Verkehrsflächen folgt ein Verlust von Natur- und Kulturlandschaft. In Kombination mit den Intensivierungen im Mittelland und den Talsohlen erhöht sich der Druck auf die Naturräume. Die Landnutzungsveränderungen hingegen können einerseits zu mehr Struktur- und Habitatsvielfalt führen, wodurch neue Landschaftsmuster entstehen, andererseits gehen so auch artenreiche und kulturell geprägte Flächen verloren.

Diese Arbeit konnte zeigen, dass sowohl die Kultur- wie auch die Naturräume einer starken Veränderung unterworfen sind und unter Druck stehen. Dabei beeinflussen sie sich auch gegenseitig. Durch das unter Schutz stellen von Gebieten, können hohe Qualitäten erhalten bleiben. Dies ist besonders im Mittelland und im Jura wichtig, weil dort der Druck auf die Naturräume besonders gross ist. Aber auch die hohe Wildnisqualität in den Alpen steht unter Druck, obwohl im Alpenraum die demographischen Entwicklungen zu einer Extensivierung der Landnutzung führen.

## 6.2. Wissenschaftliche Grundlagen als Basis für Entscheidungen nutzen

Die Diskussionen um Landschaftsveränderungen, Natur und Wildnis wird in der Schweiz stark geführt. Der Boden ist eine knappe Ressource und verlangt daher eine nachhaltige Nutzung. Viele Nutzungen und Interessen müssen nebeneinander Platz haben. Um eine sachliche Diskussion über dieses Nebeneinander zu führen, werden wissenschaftliche Grundlagen benötigt. Die Ergebnisse dieser Arbeit können als Basis für Diskussionen und Entscheidungen dienen, welche sich mit Landnutzungen und Wildnis befassen. Gerade in der Schweiz, wo die Bevölkerung viel mitbestimmen kann, braucht es eine gesellschaftliche Akzeptanz. Mit dieser Arbeit können potenzielle Wildnisgebiete ausgeschieden und historische Entwicklungen nachverfolgt werden. Gerade diese Entwicklungen geben Anzeichen für künftige Veränderungen und zeigen auf, welche Flächen unter Druck stehen und welche Prozesse stattfinden. Auf Basis dessen können Massnahmen erarbeitet werden, um Zielsetzungen beim Natur- und Landschaftsschutz zu erreichen. Diese Arbeit möchte die Grundlage für eine differenzierte Betrachtung von Wildnis bieten um positive, wie negative Auswirkungen abwägen zu können. Dabei ist wichtig, dass neben überregionalen naturwissenschaftlichen Aspekten, worauf in dieser Arbeit der Schwerpunkt liegt, auch soziale und ökonomische Aspekte, im Sinne der Nachhaltigkeit sowie regionale und lokale Informationen zu Flora und Fauna berücksichtigt werden.

## 6.3. Die Wildnis – Potenzial für Forschung und Gesellschaft

Diese Arbeit befasst sich mehrheitlich mit einer schweizweiten Beurteilung der Qualitäten und Veränderungen von Wildnis. Dabei liegt die Auflösung bei 100x100 Metern. Dadurch ergibt sich ein Überblick über Regionen und beinhaltet auch Wechselwirkungen zwischen diesen. Die Untersuchung der Thematik Wildnis und Landnutzungsveränderungen mit all ihren Auswirkungen ist durch diese Arbeit nicht abgeschlossen. Besonders Untersuchungen mit höherer Auflösung werden benötigt, um die Qualitäten der gefundenen Gebiete zu untersuchen, wodurch eine höhere Differenzierung erreicht und lokal geltende Schlüsse gezogen werden können. Auch eine Analyse von weiteren Zeitschritten vor 1985

---

würde Aufschluss über die Veränderungen bringen, insbesondere deshalb, weil die grossen Veränderungen vor 1985 stattgefunden haben. Dabei braucht es jedoch eine Überarbeitung der Methode und insbesondere eine Digitalisierung historischer Karten um diese als Vektordaten zu nutzen.

Für das Erarbeiten von Zeitreihen eignen sich Geodaten, welche kontinuierlich erhoben werden. Für zukünftige Untersuchungen bietet es sich jedoch an, die Analyse mit weiteren Geodaten zu erweitern. Dabei können beispielsweise die Vegetationshöhen Aufschluss über Veränderungsprozesse oder über Kleinstrukturen liefern. Auch weitere Geodaten mit höherer Auflösung sind denkbar.

Um den Nutzen von Wildnis und natürlich ablaufenden Prozessen aufzuzeigen, braucht es vermehrt Untersuchungen zum Verhältnis zwischen den Landnutzungsveränderungen und den Auswirkungen in Bezug auf die Biodiversität und Gesellschaft. Bei der Biodiversität darf jedoch nicht vergessen gehen, dass neben der Artenvielfalt auch die Vielfalt der Ökosysteme und die Wechselwirkungen dazu gehören (Schweizerischer Nationalpark, 2020). Oft wird von Artenvielfalt auf die Biodiversität geschlossen. Wird jedoch die Biodiversität im Raum betrachtet, so sollen auch Veränderungsprozesse sowie Ökosystemvielfalt miteinbezogen werden. Dabei kann die Wildnis als ökologischer Faktor gesehen werden, welcher diese Vielfalt abzubilden versucht. Im Zusammenhang mit Extensivierungsprozessen kann es zur Problematik mit nicht standortgerechten Arten kommen. Insbesondere die Grün-Erle breitet sich schnell aus und verhindert teilweise das Aufkommen von Wäldern (Huber, et al., 2012). Dazu sind weitere Untersuchungen der Auswirkungen dieser Extensivierungsprozesse nötig.

Auf die Landschaft als Kohlenstoffsенke wurde in dieser Arbeit nicht eingegangen. Die Extensivierungsprozesse und das Aufkommen von Waldflächen spielen jedoch klimapolitisch eine wichtige Rolle (Taverna, et al., 2007). Zukünftige Untersuchungen könnten diesen positiven Nebeneffekt der Wildnis genauer untersuchen, um den Wert von Wildnisflächen aufzuzeigen.

## 7. Literatur

### Geodaten

- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (1994).** *DHM25*. Bern, 1994. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2000).** *Vector200-Datensatz – Ersterhebung 1988/1993*. Bern, 2000. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2003).** *Vector200-Datensatz – Nachführung bis 2000*. Bern, 2003. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2009).** *Vector200-Datensatz – Nachführung bis 2009*. Bern, 2009. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2019a).** *SwissBOUNDARIES3D*. Bern, 2019.
- Bundesamt für Landestopografie swisstopo (2019b).** *swissTLM Regio*. Bern, 2019. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Statistik (2019).** *Arealstatistik*. Neuchâtel, 2019. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (2010).** *Landesforstinventar 3*. Bern, Birmensdorf, 2010. (WSL-Zugriff)
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2015).** *Einzugsgebietsgliederung Schweiz (EZGG-CH)*. Bern, 2015.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2015).** *Biogeografische Regionen der Schweiz*. Bern, 2015.
- Zimmermann Niklaus, Kienast Felix (1995).** *Julitemperatur*. Birmensdorf, 1994. (WSL-Zugriff)

### Textquellen

- Bertiller René, Schwick Christian, Jaeger Jochen (2007).** *Landschaftszerschneidung Schweiz. Zerschneidungsanalyse 1885 – 2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung*. Bern, 2007. ASTRA-Bericht.
- Bollmann, Kurt (2011).** *Naturnaher Waldbau und Förderung der biologischen Vielfalt im Wald*. Birmensdorf : Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 2011. Forum für Wissen 2011: 27-36.
- Brändli, Urs-Beat (2010).** *Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006*. Birmensdorf und Bern : Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Bundesamt für Umwelt, BAFU, 2010.
- Bühlmann Tobias, Hiltbrunne Erika, Körner Christian (2013).** *Forum Biodiversität Schweiz. Die Verbuschung des Alpenraums durch die Grünerle. FactSheet*. Akademien der Wissenschaft 2013. FactSheet. Forum Biodiversität Schweiz, 2013.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2015).** *Räumliche Auswirkungen von Verkehrsinfrastrukturen in der Schweiz - Historischer Synthesebericht: Zusammenfassung*. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, 2015.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2006)..** *Tourismus im Alpenraum - Chancen und Risiken eines bedeutenden Schweizer Wirtschaftssektors im Umbruch*. Forum Raumentwicklung 2. Bundesamt für Raumentwicklung ARE, 2006.
- Bundesamt für Statistik (2015).** *Die Bodennutzung in der Schweiz – Auswertungen und Analysen*. Neuchâtel, 2015.

- Bundesamt für Statistik (2019a).** *Geschichte der Arealstatistik*. Abgerufen von: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/erhebungen/area/geschichte.html>. (12.12.2019).
- Bundesamt für Statistik (2019b).** *Methodenrevision*. Abgerufen von: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/erhebungen/area/geschichte/revision.html>. (12.12.2019)
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2017).** *Biodiversität in der Schweiz: Zustand und Entwicklung: Ergebnisse des Überwachungssystems im Bereich Biodiversität, Stand 2016*. Bern : Bundesamt für Umwelt, 2017. Umwelt-Zustand Nr. 1630: 60 S.
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2020).** *Biotope von Nationaler Bedeutung*. Abgerufen von: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/massnahmen-zur-erhaltung-und-foerderung-der-biodiversitaet/oekologische-infrastruktur/biotope-von-nationaler-bedeutung.html>. (13. 02 2020)
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2020).** *Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN)*. Abgerufen von: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/landschaft/fachinformationen/landschaftsqualitaet-erhalten-und-entwickeln/landschaften-von-nationaler-bedeutung/bundesinventar-der-landschaften-und-naturdenkmaeler-von-national.html>. (14. 02 2020)
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2014).** *Vollzugshilfe Rodungen und Rodungersatz. Voraussetzungen zur Zweckentfremdung von Waldareal und Regelung des Ersatzes*. Bern: Bundesamt für Umwelt, 2014. Umwelt-Vollzug Nr. 1407: 38 S..
- Carver, Steve, Comber Alexis J, McMorran Rob, Nutter Steve (2012).** *A GIS model for mapping spatial patterns and distribution of wild land in Scotland*. Landscape and Urban Planning, 2012. 104 (3-4): 395-309.
- Cambridge Dictionary (2020).** *trajectory*. Abgerufen von: <https://dictionary.cambridge.org/de/worterbuch/englisch/trajectory>.(18. 04 2020)
- Carver Steve, Tricker James, Landres Peter (2013).** *Keeping it wild: Mapping wilderness character in the United States*. Journal of Environmental Management, 2013. 131: 239-255.
- De Cáceres Miquel, Coll Luís, Legendre Pierre, Allen Robert B., Wiser Susan K., Fortin Marie-Josée, Condit Richard, Hubbell Stephen (2019).** *Trajectory analysis in community ecology. Ecological Monograph*. 89, 2019
- Eisenhut Andreas, Mattli Josias, Stöckli Barbara (2019).** *Waldreservate in der Schweiz – Bericht über den Stand Ende 2018*. Bern: Bundesamt für Umwelt, 2019.
- Gonseth Yves, Wohlgemutz Thomas, Sansonnens Bertrand, Buttler Alexander (2001).** *Die biogeographischen Regionen der Schweiz. Erläuterungen und Einteilungsstandards Bundesamt für Umwelt*. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 2001. .Umwelt Materialien Nr. 137.
- Huber Barbara, Frehner Monika (2012).** *Forschungsprojekt Grünerle. Bericht erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)*. Bern, Sargans: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abenis AG Chur und Forstingenieurbüro Monika Frehner, 2012.
- Kienast Felix, Frick Jacqueline, van Strien Maarten J., Hunziker Marcel (2015).** *The Swiss Landscape Monitoring Program - a comprehensive indicator set to measure landscape change*. Ecological Modelling, 2015. 295, 136-150.
- Landesforstinventar (2020).** *So werden die Daten erhoben*. Abgerufen von: <https://www.lfi.ch/lfi/methoden1.php>. (18.03. 2020)

- Lauber Sefan, Felix Herzog, Irmi Seidl, Rosa Böni, Matthias Bürgi, Pascale Gmür, Gabriela Hofer, Stefan Mann, Martin Raaflaub, Matthias Schick (2014).** *Zukunft der Schweizer Alpwirtschaft. Fakten, Analysen und Denkanstösse aus dem Forschungsprogramm AlpFUTUR.* Birmensdorf, Zürich-Reckenholz: Eidg. Forschungsanstalt WSL, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 2014.
- Moos Sebastian, Radford Sarah, von Atzigen Aline, Bauer Nicole, Senn Josef, Kienast Felix, Kern Maren, Conradin Katharina (2019).** *Das Potenzial von Wildnis in der Schweiz.* Bern : Haupt Verlag, 2019. ISBN: 978-3-258-08112-0.
- Plutzer Christoph (2013).** *WWF Wildnis Modellierung Österreich – eine GIS-gestützte Analyse. Technischer Bericht.* Wien: WWF Österreich, 2013.
- ProNatura (2019).** *Die Vielfalt der Natur erleben – in unseren Naturschutzgebieten.* Abgerufen von: <https://www.pronatura.ch/de/schutzgebiete-erleben>. (14.12.2019)
- Radford Sarah, Senn Josef, Kienast Felix (2018).** *Indicator-based assessment of wilderness quality in mountain landscapes.* Ecological Indicators, 2018. Volume 97.
- Remmert, Hermann (1991).** *Das Mosaik-Zyklus-Konzept und seine Bedeutung für den Naturschutz.* 1991.
- Riva Matteo, Kienast Felix, Moos Sebastian, Gürke Jan, Richter Séline, Burch Robin (2020).** *Wilderness in Switzerland - Revised wilderness mapping.* Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2020.
- Rodewald Raimund, Schwyzer Yves, Liechti Karina (2014).** *Katalog der charakteristischen Kulturlandschaften der Schweiz - Grundlage zur Ermittlung von Landschaftsentwicklungszielen.* Bern: Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, 2014.
- Rohner Jürg, Stuber Alain, Hauser-Strozzi Elena (2001).** *Natur-, Landschafts- und Heimatschutz. Begriffe.* Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft , 2001. Reihe Umwelt-Materialien Nr. 123.
- Schweizer Pärke (2019).** *Die Schweizer Pärke.* Abgerufen von: [https://www.parks.swiss/de/die\\_schweizer\\_paecke/was\\_ist\\_ein\\_park/kategorien\\_aufgaben.php](https://www.parks.swiss/de/die_schweizer_paecke/was_ist_ein_park/kategorien_aufgaben.php).(20.12.2019 )
- Schweizerischer Bundesrat, KdK, BPUK, SSV, SGV (2012).** *Raumkonzept Schweiz. Überarbeitete Fassung.* Bern, 2012.
- Schweizerischer Nationalpark (2020).** *Was ist Biodiversität?* Abgerufen von: <https://www.nationalpark.ch/de/flora-und-fauna/biodiversitaet/begriffserklaerung/>. (13.02.2020)
- Spektrum (2019).** *Lexikon der Biologie - Mosaik-Zyklus-Konzept der Ökosysteme.* Abgerufen von: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mosaik-zyklus-konzept-der-oekosysteme/44094>. (22.12.2019)
- Swisstopo, Bundesamt für Landestopographie (2020).** *swissTLMRegio.* Abgerufen von: <https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/landscape/vector200>. (24.03.2020)
- Taverna, R., Hofer P., Werner, F., Kaufmann, E., Thürig, E. (2007).** *CO<sub>2</sub>-Effekte der Schweizer Wald- und Holzwirtschaft. Szenarien zukünftiger Beiträge zum Klimaschutz.* Bern: Bundesamt für Umwelt BAFU, 2007. Umwelt-Wissen Nr. 0739.
- Ulmer Ulrich, Brändli Urs-Beat (2010).** *Erholung im Schweizer Wald - Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3.* Wald und Holz, 2010. 5: S. 31-34.
- Usbeck, Tilo (2015).** *Wintersturmschäden im Schweizer Wald von 1865 bis 2014.* Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 2015. 166: S.184-190.



## A Anhang

### A.1. Einteilung in die Landnutzungs-Trajektorien

Tabelle A-1: Einteilung der Kategorien in Landnutzungs-Trajektorien. Die Nummerierung bezieht sich auf die Kategorisierung mit 34 Kategorien

Stufe	Nr.	Kategorie
<b>Wald (Klimax) (9)</b>	12	Normalwald
	13	Schmaler Wald
	16	Waldschäden
<b>Offener Wald und Feuchtgebiete (8)</b>	18	Aufgelöster Wald auf unproduktiven Flächen
	22	Baumgruppen auf unproduktiven Flächen
	19	Gebüschwald
	17	Aufgelöster Wald auf Landwirtschaftlichen Flächen
	21	Baumgruppen auf Landwirtschaftlichen Flächen
	15	Holzschläge
	14	Aufforstungen
<b>Gebüsch und Strauch (7)</b>	26	Gebüsch, Strauchvegetation
	20	Feldgehölze, Hecken
<b>Unproduktive Vegetation (Primär-Prozesse) (6)</b>	27	Unproduktive Gras- und Krautvegetation
<b>Eisfreie Flächen (Primär-Prozesse) (5)</b>	31	Fels
	32	Geröll, Sand
<b>Vereiste Flächen (Primär-Prozesse) (4)</b>	34	Gletscher, Firn
<b>Verbuschte und Versteinte Flächen (3)</b>	9	Verbuschte Alp- und Juraweiden
	6	Verbuschte Wiesen und Heimweiden
	10	Versteinte Alp- und Juraweiden
<b>Extensive Nutzung (2)</b>	7	Alpwiesen
	8	Günstige Alp- und Juraweiden
	11	Schafalpen
<b>Intensive Nutzung (1)</b>	4	Naturwiesen
	5	Heimweiden
	3	Ackerland
	2	Obst-, Reb- und Gartenbauflächen
<b>Siedlung (0)</b>	1	Siedlung
<b>Andere (nicht berücksichtigt)</b>	23	Stehende Gewässer
	24	Wasserläufe
	25	Hochwasserverbauungen
	28	Lawinen- und Steinschlagverbauungen
	30	Alpine Sportinfrastruktur
	33	Landschaftseingriffe

## A.2. Hemorobie-Index

Tabelle A-2: Hemorobie-Index der Arealstatistik. Die Nummern entsprechen der Nomenklatur der Arealstatistik NOA04.

Nummer (NOA04)	Kategorie	Hemorobie-Index (colin- montan)	Hemorobie-Index (subalpin)	Hemorobie-Index (oberhalb der Waldgrenze)
1	Industrie- und Gewerbegebäude	10	10	10
2	Umschwung von Industrie- und Gewerbegebäuden	10	10	10
3	Ein- und Zweifamilienhäuser	10	10	10
4	Umschwung von Ein- und Zweifamilienhäusern	10	10	10
5	Reihen- und Terrassenhäuser	10	10	10
6	Umschwung von Reihen- und Terrassenhäusern	10	10	10
7	Mehrfamilienhäuser	10	10	10
8	Umschwung von Mehrfamilienhäusern	10	10	10
9	Öffentliche Gebäude	10	10	10
10	Umschwung von Öffentlichen Gebäuden	10	10	10
11	Landwirtschaftliche Gebäude	10	10	10
12	Umschwung von landwirtschaftlichen Gebäuden	10	10	10
13	Nicht spezifizierte Gebäude	10	10	10
14	Umschwung von nicht spezifizierten Gebäuden	10	10	10
15	Autobahnen	10	10	10
16	Autobahngrün	10	10	10
17	Strassen, Wege	10	10	10
18	Strassengrün	10	10	10
19	Parkplatzareal	10	10	10
20	Befestigtes Bahnareal	10	10	10
21	Bahngrün	10	10	10
22	Flugplätze	10	10	10
23	Graspisten, Flugplatzgrün	10	10	10
24	Energieversorgungsanlagen	10	10	10
25	Abwasserreinigungsanlagen	10	10	10
26	Übrige Ver- und Entsorgungsanlagen	10	10	10
27	Deponien	10	10	10
28	Abbau	10	10	10
29	Baustellen	10	10	10
30	Bau- und Siedlungsbrachen	10	10	10
31	Öffentliche Parkanlagen	10	10	10
32	Sportanlagen	10	10	10
33	Golfplätze	10	10	10
34	Campingplätze	10	10	10

35	Schrebergärten	10	10	10
36	Friedhöfe	10	10	10
37	Obstanlagen	8	8	8
38	Feldobst	8	8	8
39	Rebbaufflächen	8	8	8
40	Gartenbauflächen	8	8	8
41	Ackerland	8	8	8
42	Naturwiesen	7	6	5
43	Heimweiden	7	6	5
44	Verbuschte Wiesen und Heimweiden	3	3	3
45	Alpwiesen	5	5	5
46	Günstige Alp- und Juraweiden	5	5	5
47	Verbuschte Alp- und Juraweiden	3	3	3
48	Versteinte Alp- und Juraweiden	3	3	3
49	Schafalpen	4	4	4
50	Normalwald	4	3	2
51	Schmaler Wald	4	3	2
52	Aufforstungen	5	4	4
53	Holzschläge	4	3	2
54	Waldschäden	4	3	2
55	Aufgelöster Wald (auf Landwirtschaftsflächen)	5	4	4
56	Aufgelöster Wald (auf unproduktiven Flächen)	3	2	2
57	Gebüschwald	2	2	2
58	Feldgehölze, Hecken	4	4	4
59	Baumgruppen (auf Landwirtschaftsflächen)	5	4	4
60	Baumgruppen (auf unproduktiven Flächen)	3	2	2
61	Stehende Gewässer	2	2	2
62	Wasserläufe	2	2	2
63	Hochwasserverbauungen	6	6	6
64	Gebüsch, Strauchvegetation	2	2	2
65	Unproduktive Gras- und Krautvegetation	1	1	1
66	Lawinen- und Steinschlagverbauungen	6	6	6
67	Feuchtgebiete	1	1	1
68	Alpine Sportinfrastruktur	9	9	9
69	Fels	1	1	1
70	Geröll, Sand	1	1	1
71	Landschaftseingriffe	8	8	8
72	Gletscher, Firn	1	1	1

### A.3. Prozentuale Veränderung der Kategorien 2009-2018

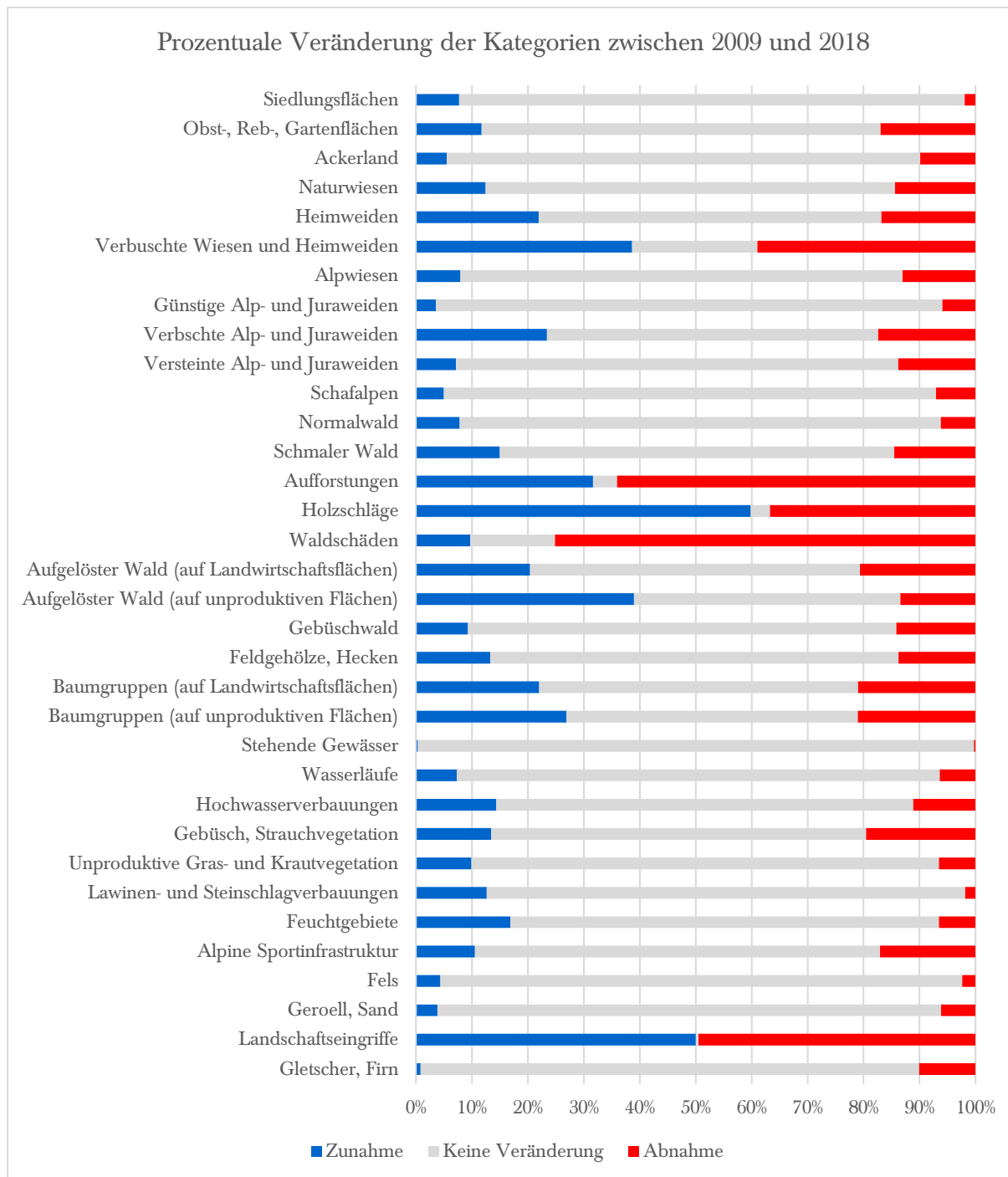


Abbildung A-1: Prozentuale Veränderung der Kategorien zwischen 2009 und 2018.

## A.4. Landnutzungs-Trajektorien 2009-2018

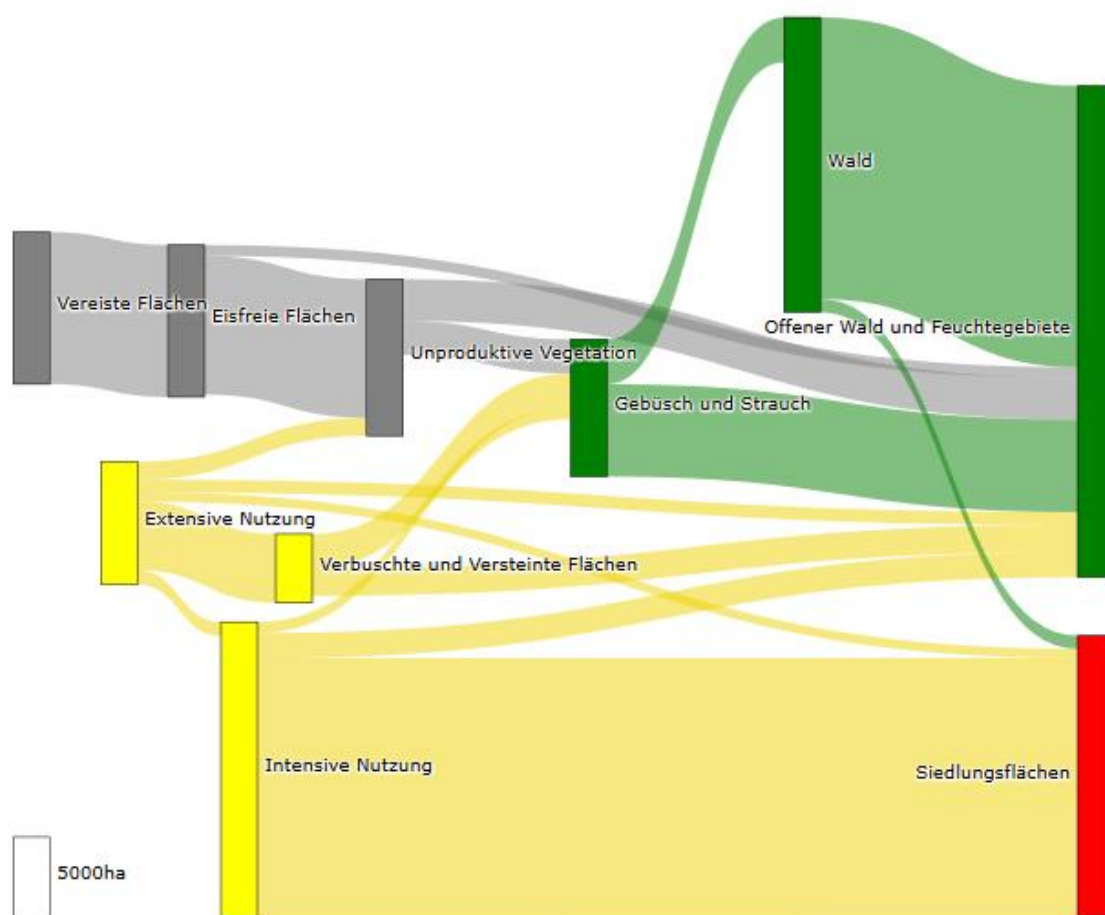


Abbildung A-2 Veränderungsprozesse zwischen 2009 und 2018. Der Schwellenwert liegt bei 800 Hektar.

## A.5. Fallbeispiele

### BLN-Gebiet Felli- & Maderanertal

#### Felli- & Maderanertal

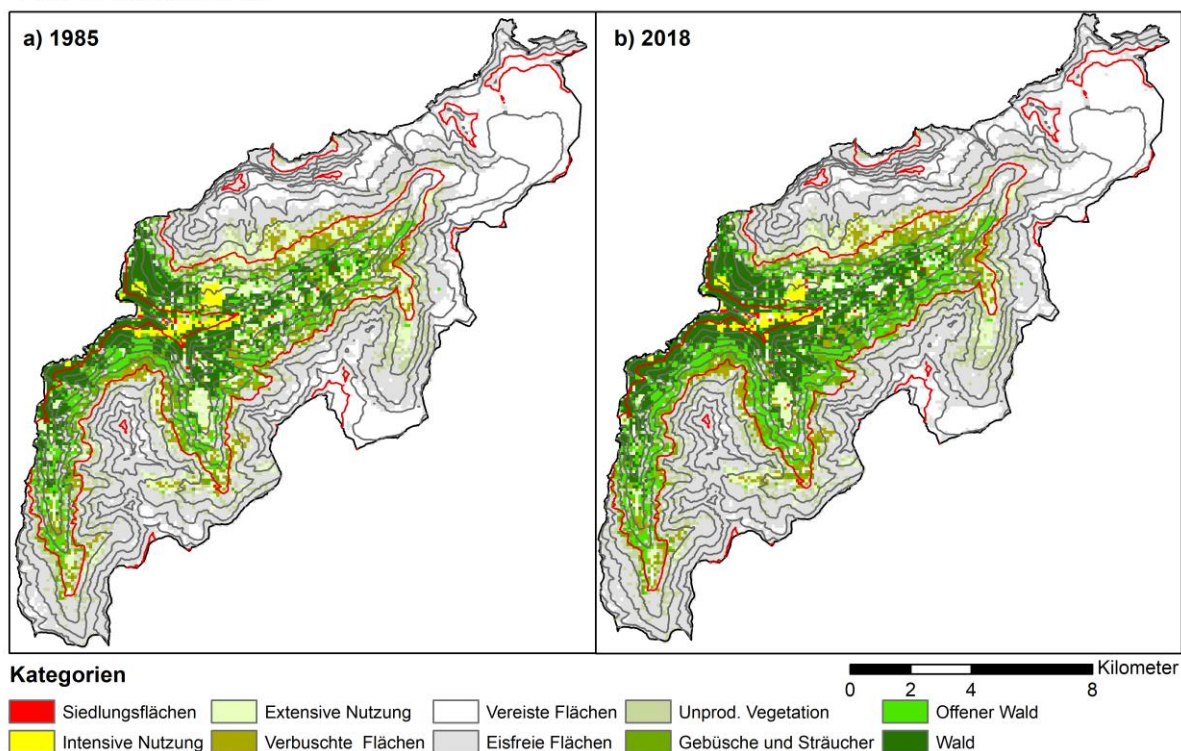


Abbildung A-3: BLN-Gebiet Felli- & Maderanertal: Landnutzung 1985 und 2009. Neben den Landnutzungen sind die Höhenlinien dargestellt. Die Abbildung zeigt den Prozess der Extensivierung in den Nordalpen. Insbesondere die Ausdehnung der Waldflächen wird hier deutlich. Weiter zeigt sich der Gletscherrückgang im oberen Teil des Maderanertal und die Verbuschung der extensiv genutzten Flächen.

## Naturpark Diemtigtal

## Naturpark Diemtigtal

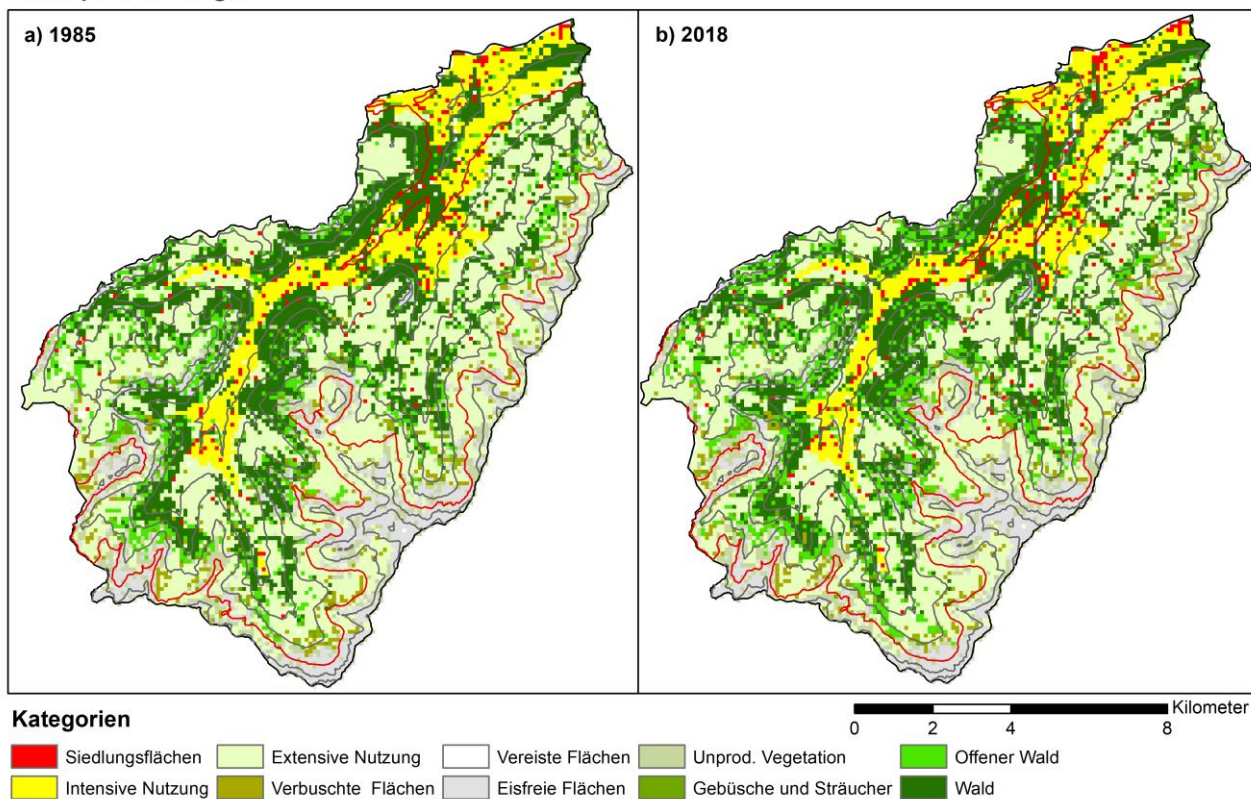


Abbildung A-4: Naturpark Diemtigtal: Landnutzung 1985 und 2009. Neben den Landnutzungen sind die Höhenlinien dargestellt. Im Naturpark befinden sich auch intensiv genutzte Flächen. Diese haben sich zwischen 1985 und 2018 kaum verändert. Neben der Veränderung von Wald zu offenem Wald, welche durch die Waldschäden ausgelöst wurde, zeigt sich die Ausdehnung der Waldflächen. Hier sind jedoch die Veränderungen weniger ausgeprägt.

## Lötschental

## Lötschental

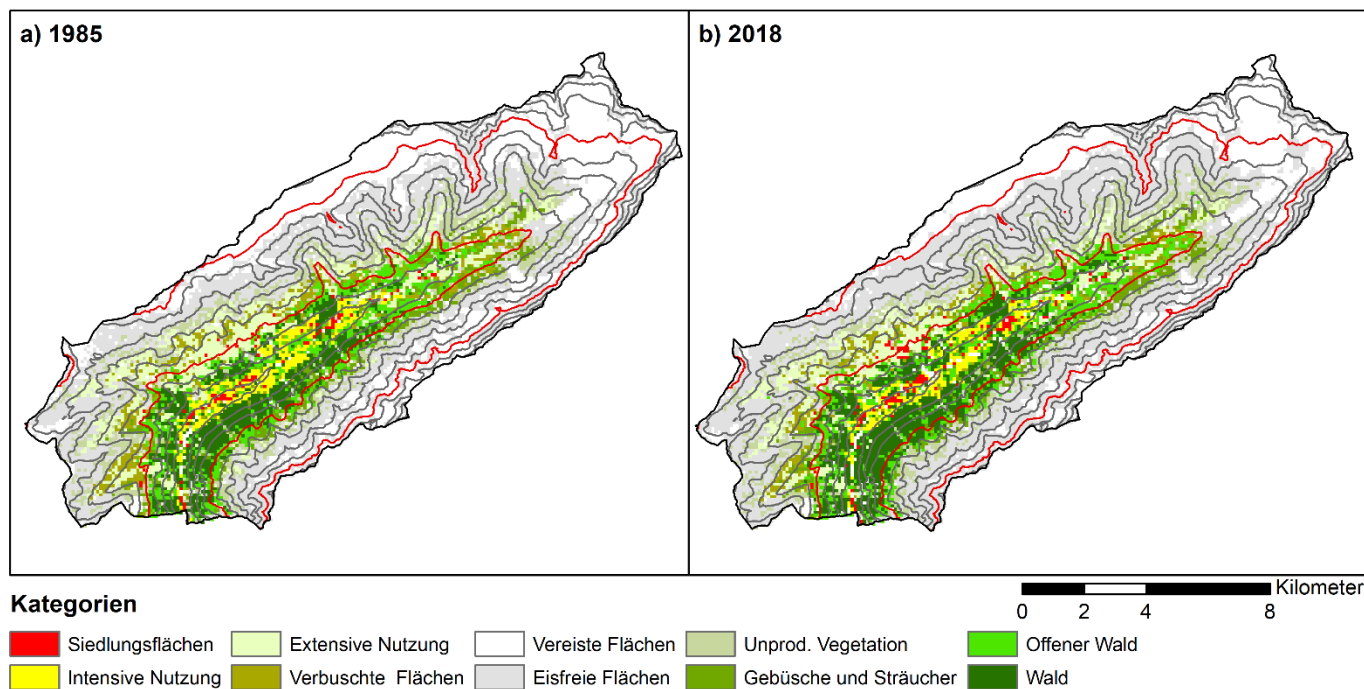


Abbildung A-5: Lötschental. Landnutzung 1985 und 2009. Neben den Landnutzungen sind die Höhenlinien dargestellt. Neben dem Einwachsen von Waldflächen, ist im Lötschental insbesondere der Rückgang von Gletschern und Eisflächen zu beobachten. Die grossen Veränderungen liegen hier im oberen Teilgebiet des Lötschentals, wo die Bodenbildung bereits stattgefunden hat und sich nun allmählich der Wald ausdehnt.



## A.6. Veränderungen der Natürlichkeit

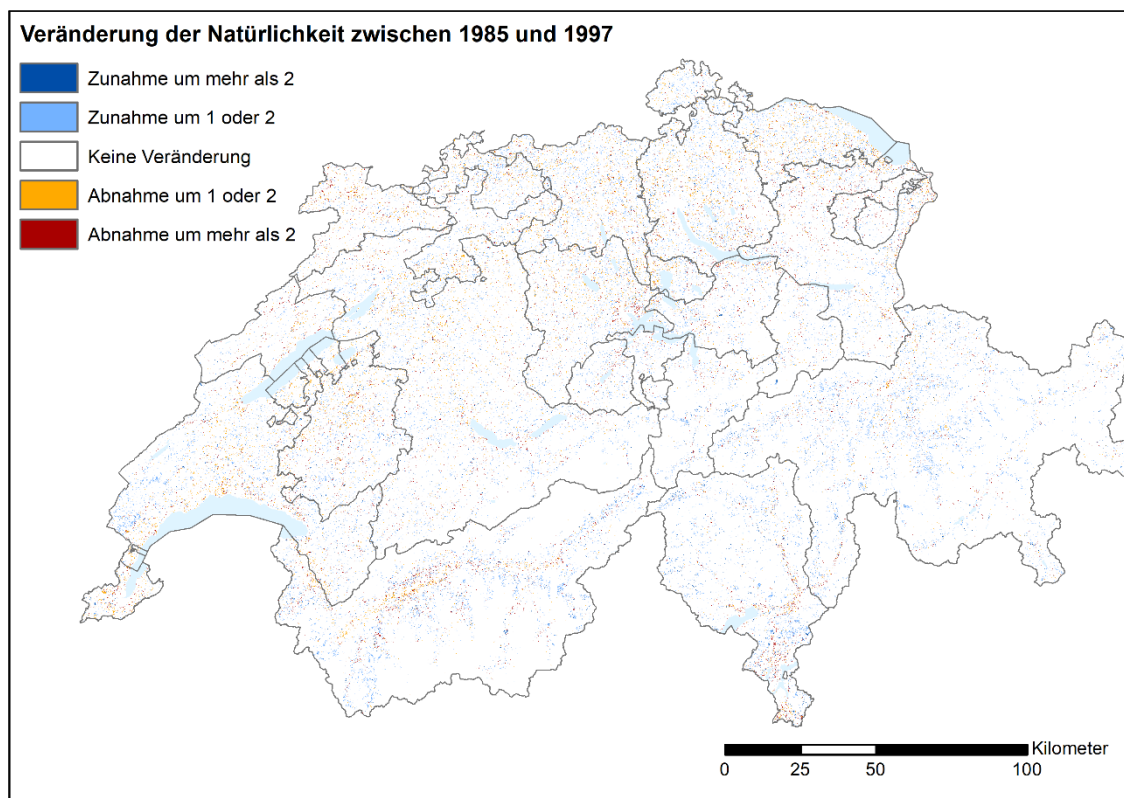


Abbildung A-6: Veränderung der Natürlichkeit zwischen 1985 und 1997 (Dimensionslose Einheiten)

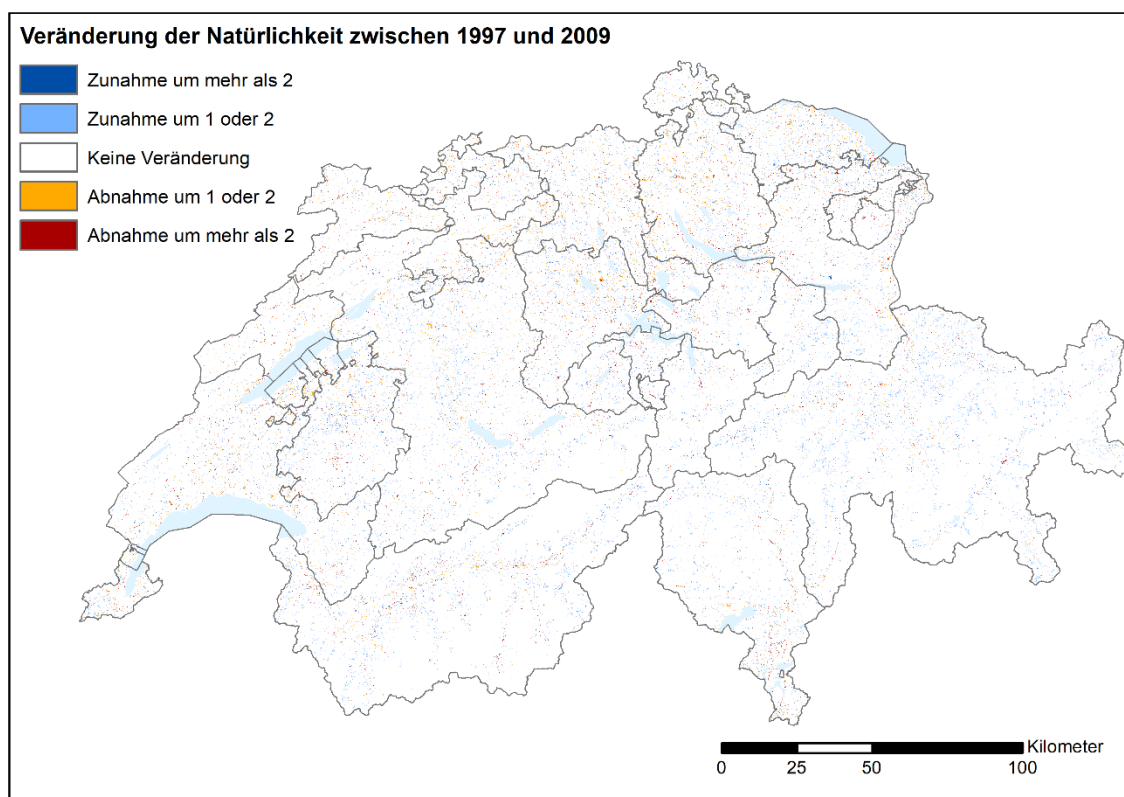


Abbildung A-7: Veränderung der Natürlichkeit zwischen 1997 und 2009 (Dimensionslose Einheiten)

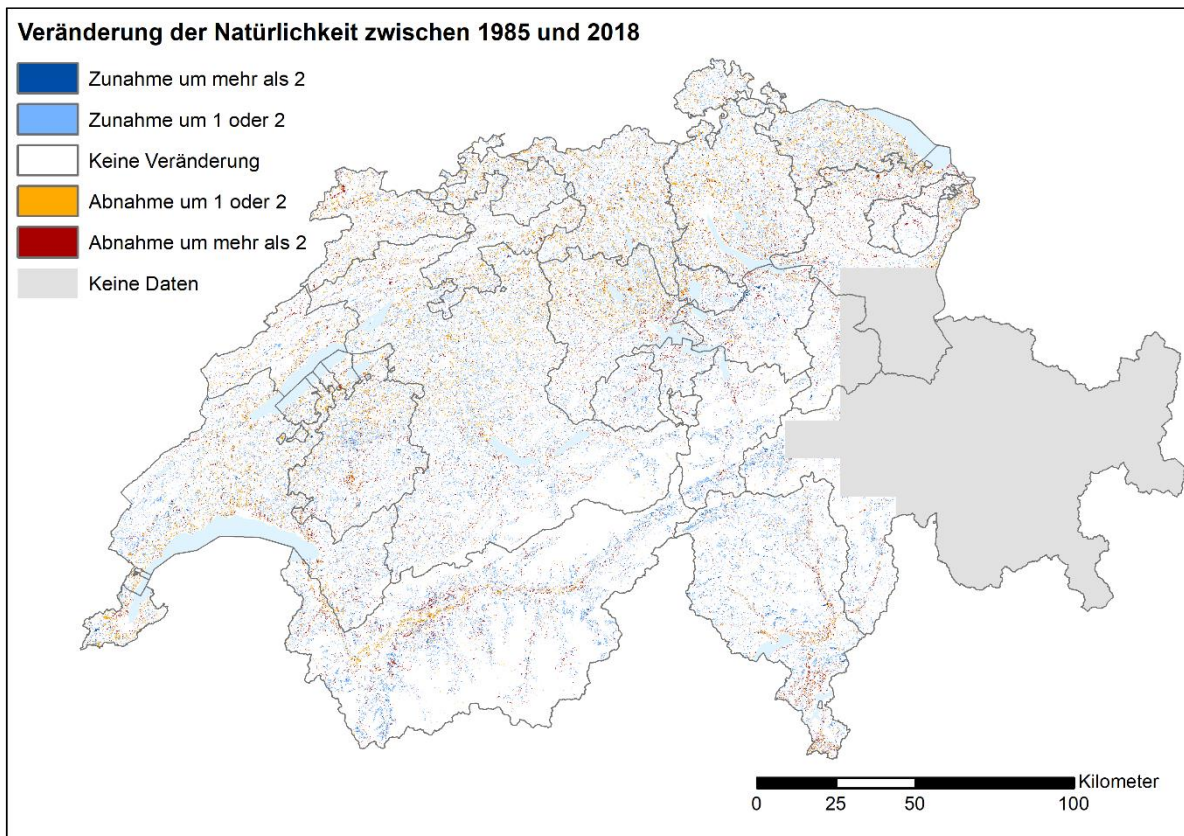


Abbildung A-8: Veränderung der Natürlichkeit zwischen 1985 und 2018 (Dimensionslose Einheiten)

## A.7. Veränderungen der Abgeschiedenheit

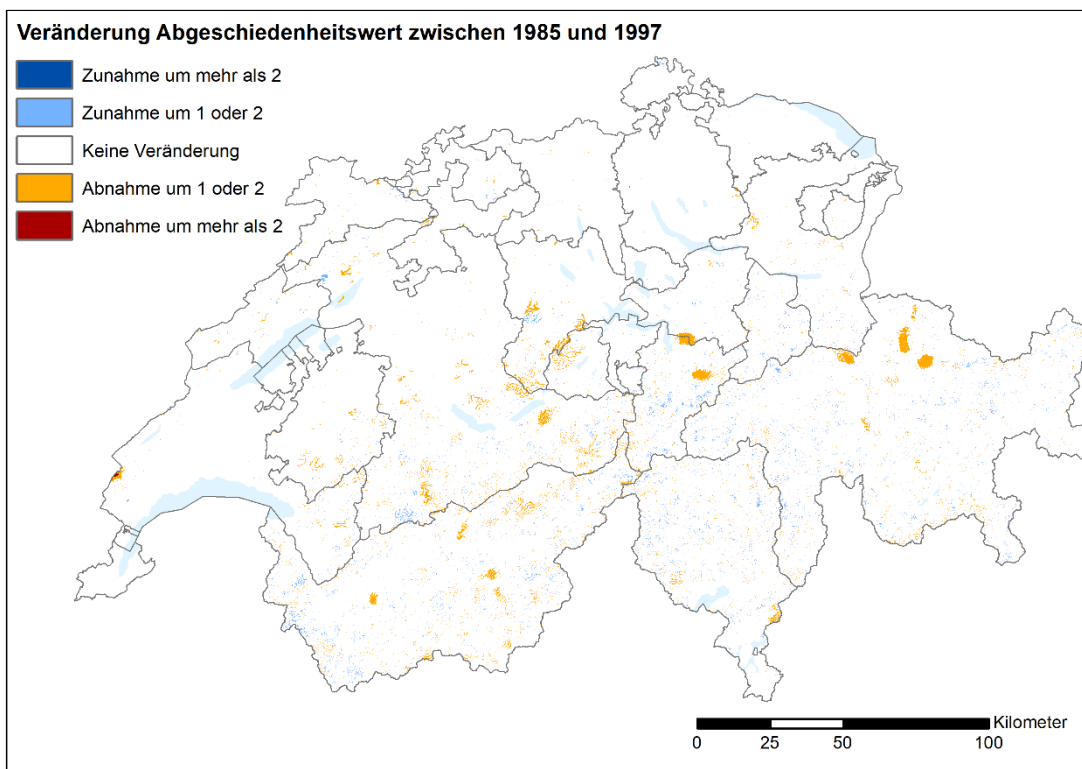


Abbildung A-9: Veränderung des Abgeschiedenheitswertes zwischen 1985 und 1997 (Dimensionslose Einheiten)

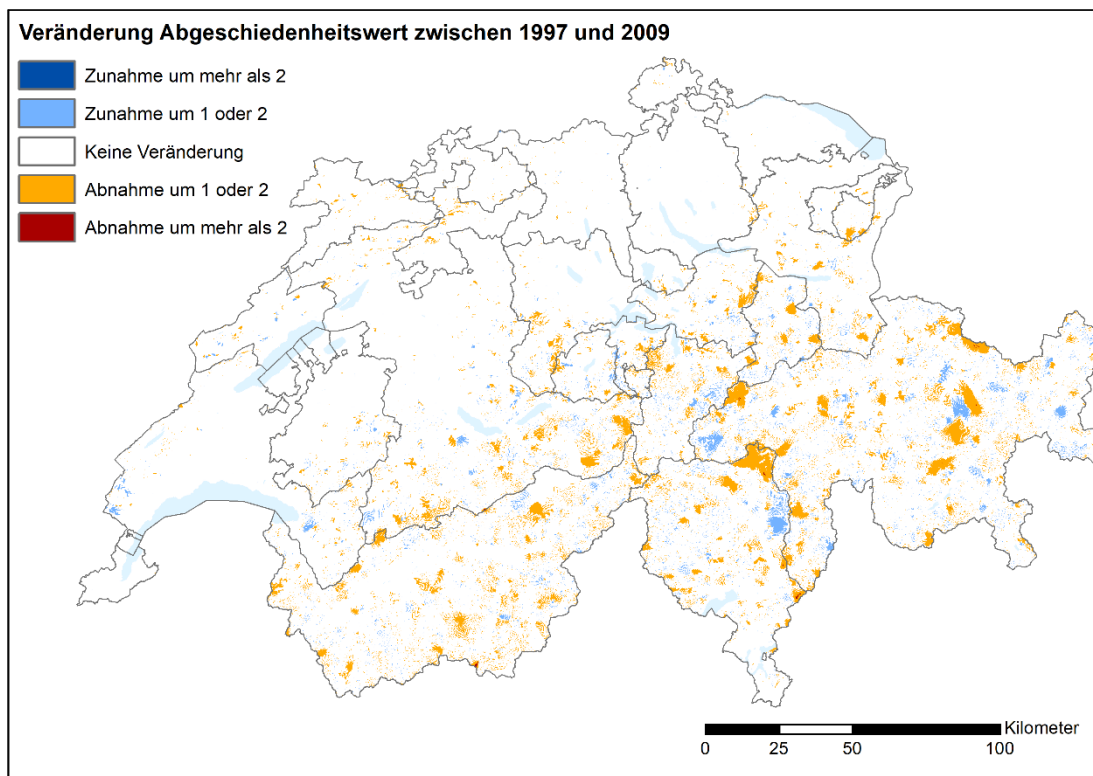


Abbildung A-10: Veränderung des Abgeschiedenheitswertes zwischen 1997 und 2009 (Dimensionslose Einheiten)

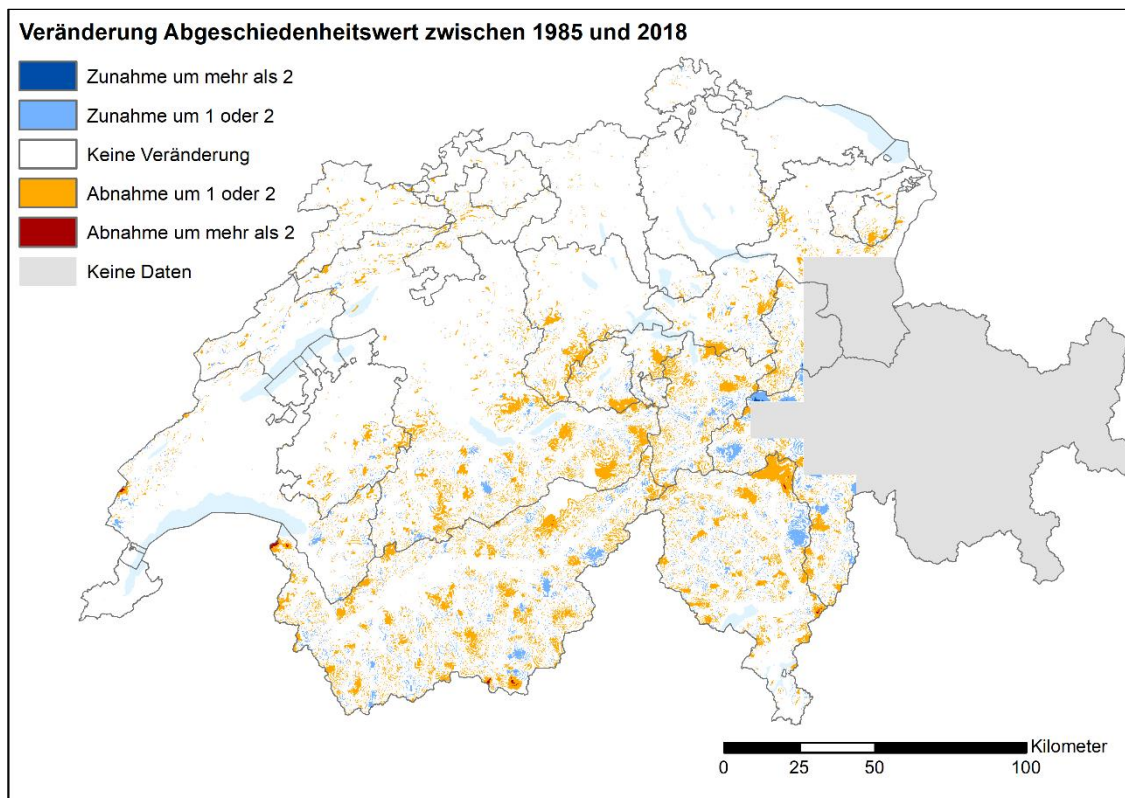


Abbildung A-11: Veränderung des Abgeschiedenheitswertes zwischen 1985 und 2018 (Dimensionslose Einheiten)

## A.8. Veränderungen des menschlichen Einflusses

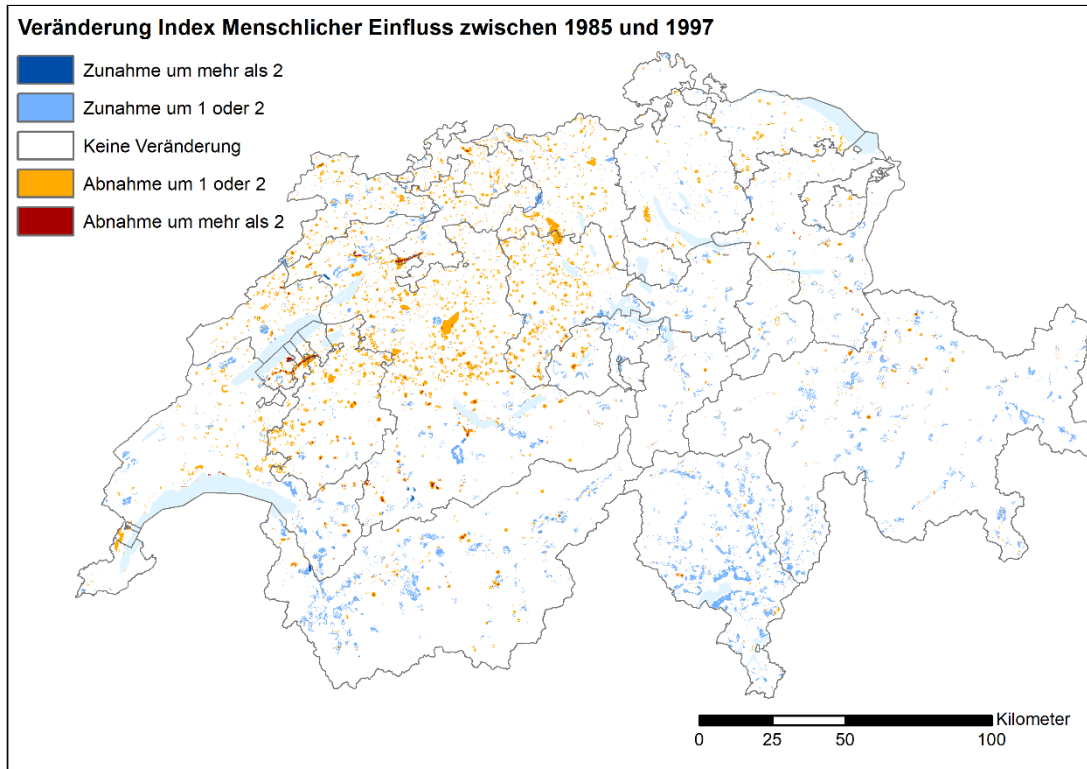


Abbildung A-12: Veränderung Index menschlicher Einfluss zwischen 1985 und 1997

(Dimensionslose Einheiten)

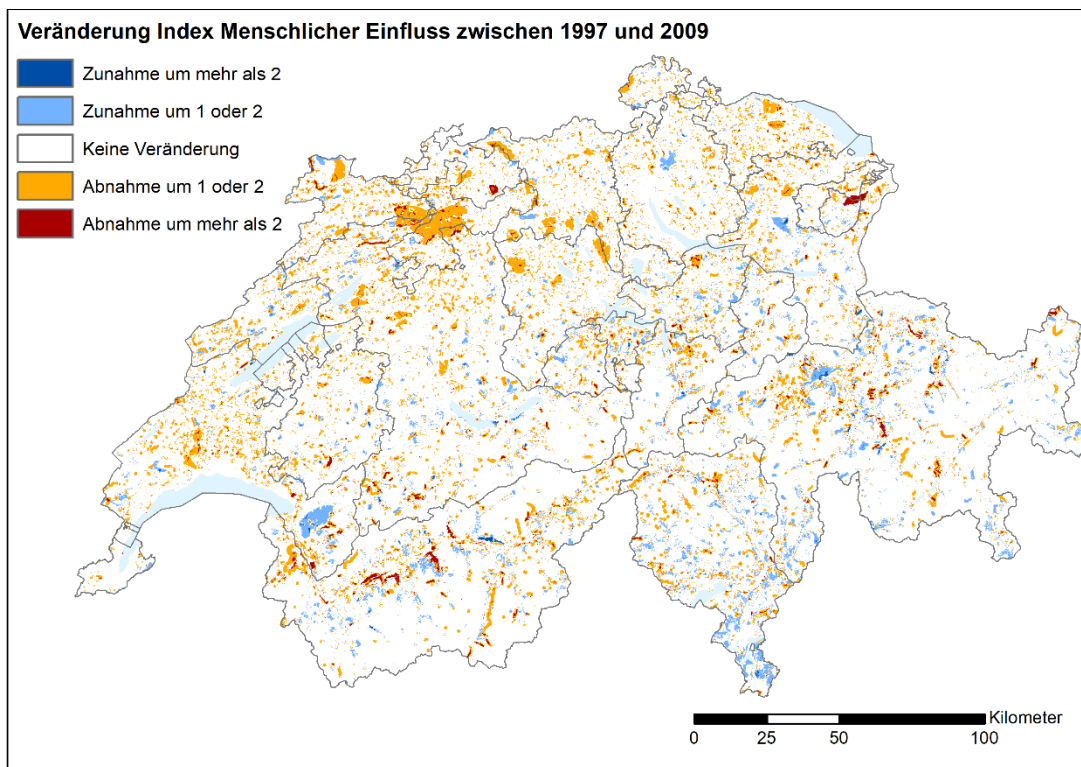


Abbildung A-13: Veränderung Index menschlicher Einfluss zwischen 1997 und 2009

(Dimensionslose Einheiten)

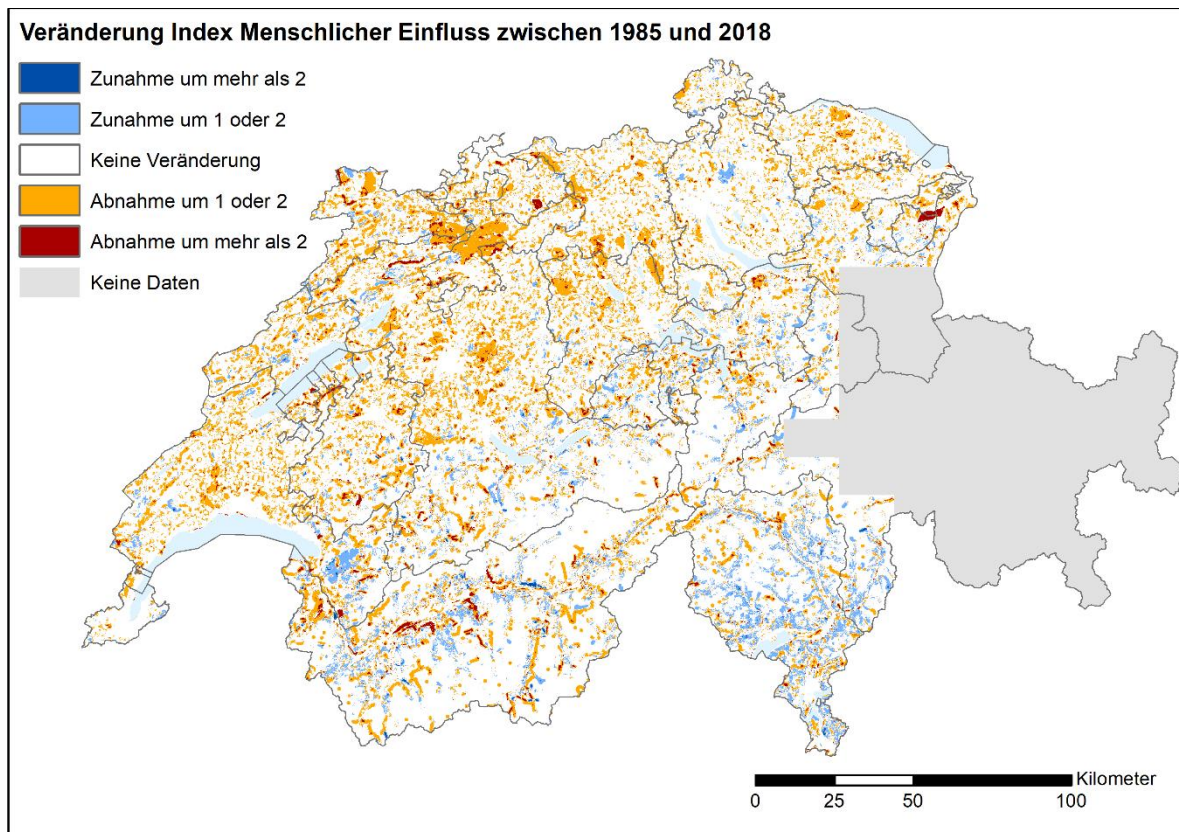


Abbildung A-14: Veränderung Index menschlicher Einfluss zwischen 1985 und 2018 (Dimensionslose Einheiten)

## A.9. Wildnisqualität 1997

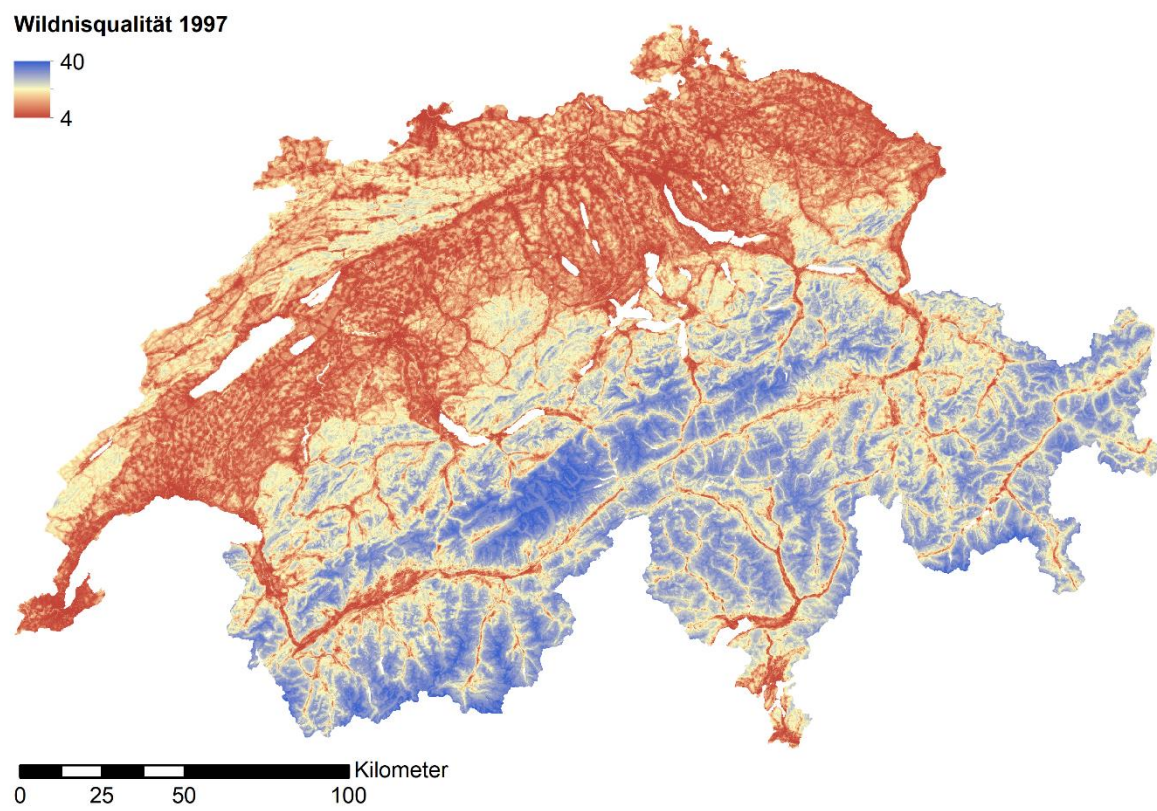


Abbildung A-15: Wildnisqualität 1997

## A.10. Veränderungen der Wildnisqualität

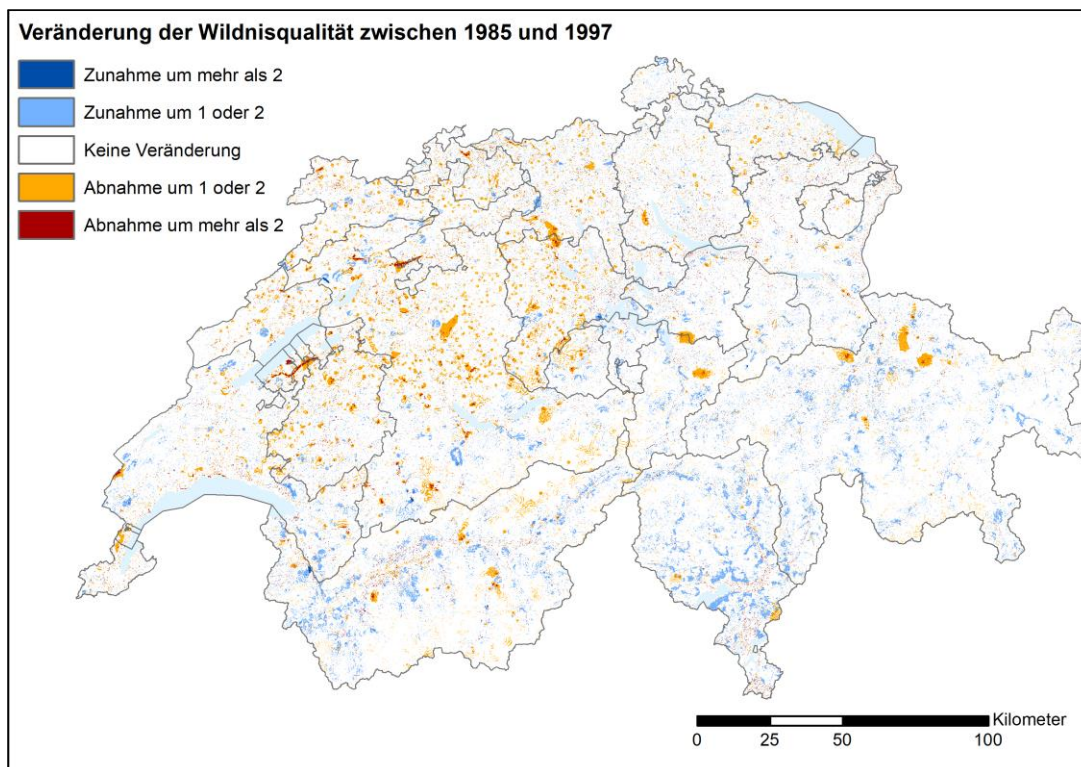


Abbildung A-16: Veränderung der Wildnisqualität zwischen 1985 und 1997 (Dimensionslose Einheiten)

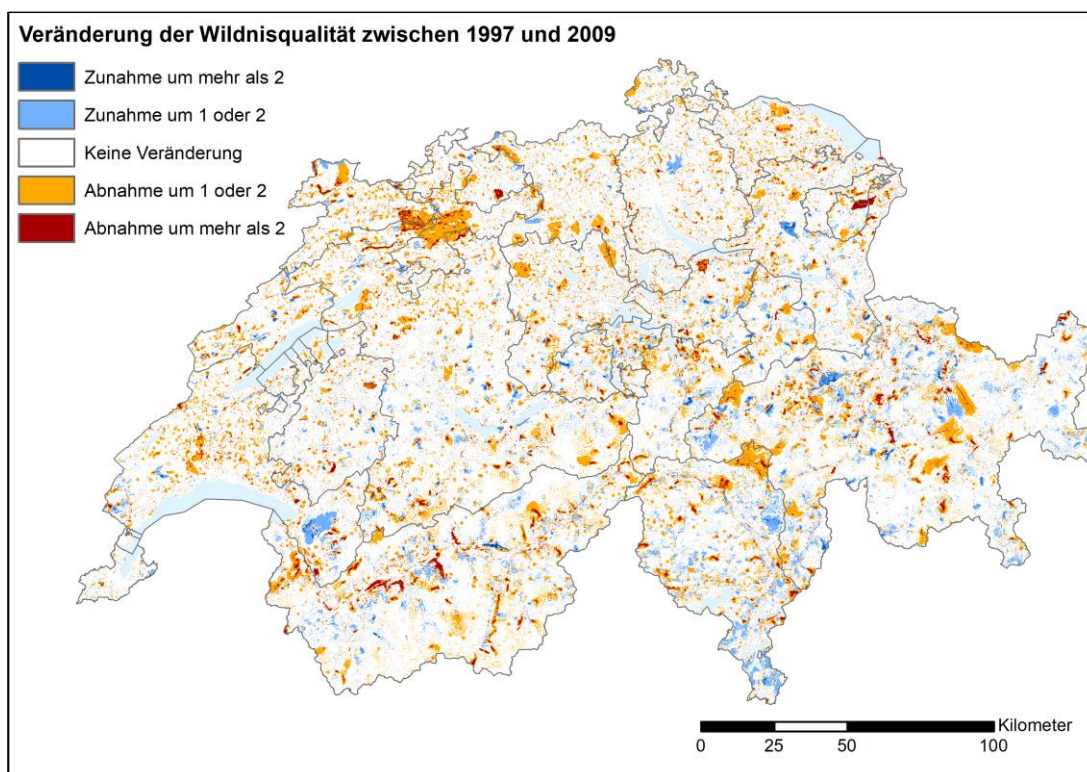


Abbildung A-17: Veränderung der Wildnisqualität zwischen 1997 und 2009 (Dimensionslose Einheiten)



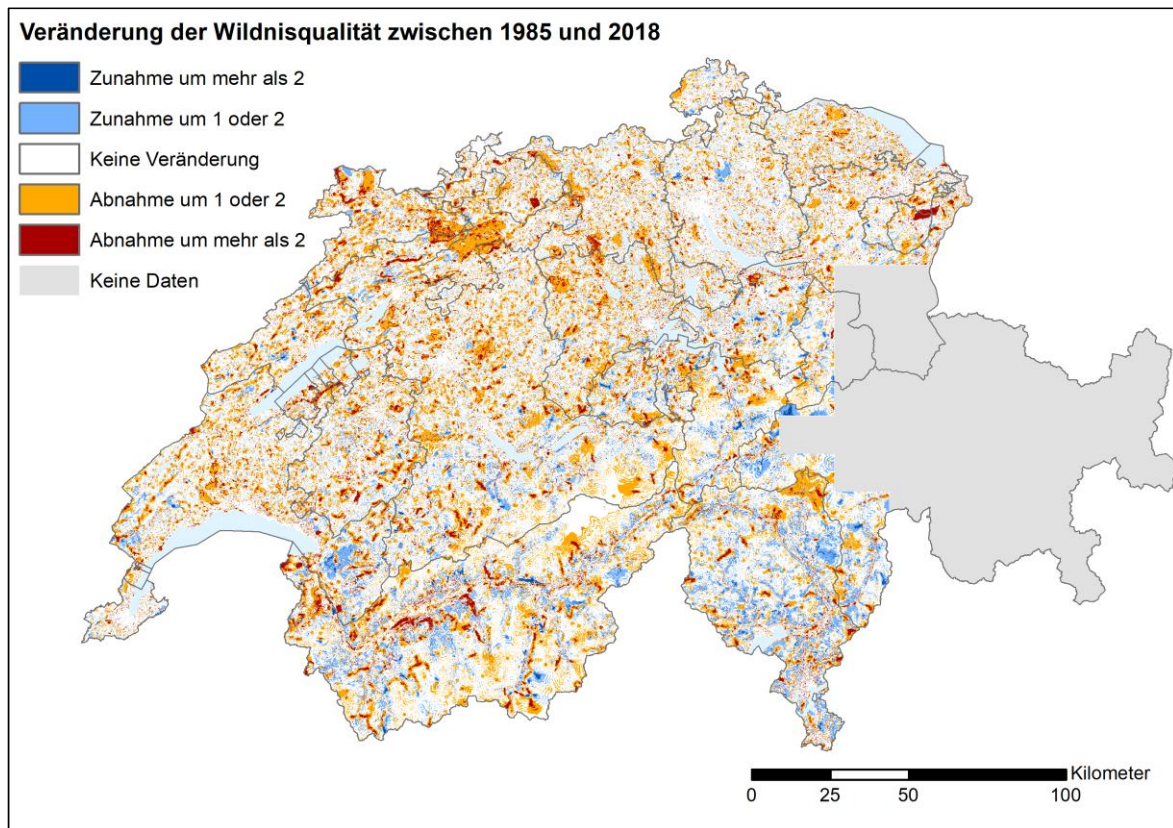


Abbildung A-18: Veränderung der Wildnisqualität zwischen 1985 und 2018 (Dimensionslose Einheiten)

## A.11. 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):

Naturräume unter Druck?  
Eine naturwissenschaftliche Betrachtung der Veränderungen von wilden Räumen in der Schweiz seit 1985

**Verfasst von** (in Druckschrift):

*Bei Gruppenarbeiten sind die Namen aller Verfasserinnen und Verfasser erforderlich.*

**Name(n):**

Burch

**Vorname(n):**

Robin

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**

27.04.2020

**Unterschrift(en)**

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