

SCHWEIZERISCHER NATIONALPARK

MITWIRKUNG DES SCHWEIZERISCHEN NATIONALPARKS BEIM AKTIONSPLAN BIODIVERSITÄT

MODUL A - RÄUMLICHES KONZEPT

Ökologischer Zustand und Vernetzungsgebiete in der Schweiz

Author:

Christian ROSSI

Tamara ESTERMANN

Samuel WIESMANN

Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt BAFU

Zernez 2.Oktober 2020



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	5
2.1	Indikator für ökologische Vernetzung	6
2.2	Ökologische Zustände und Maßnahmen für die Erhaltung der Biodiversität . . .	7
3	Resultate und Empfehlungen	8
3.1	Bodenbedeckung und Landnutzung	8
3.2	Bevölkerung	9
3.3	Fragmentierung	10
3.4	Naturschutz	11
3.5	Höhenlage und Topographie	12
3.6	Continuum Suitability Index	13
3.7	Ökologischer Zustand und Vernetzungsgebiete	13
3.8	Beispiel am Kanton Freiburg	18
4	Fazit	20
5	Methode	21
5.1	Bodenbedeckung und Landnutzung	21
5.1.1	Straßen	21
5.1.2	Eisenbahnen	21
5.1.3	Trockenmauern, Baum- und Gebüschreihen	22
5.1.4	Bodenbedeckung	22
5.1.5	Landwirtschaftliche Nutzflächen	23
5.1.6	Lückenhafte Werte	23
5.1.7	Klassifikationsschema	25
5.2	Bevölkerung	33
5.3	Fragmentierung	33
5.4	Naturschutz	35
5.5	Höhenlage und Topographie	38
5.6	Ökologischer Zustand und Vernetzungsgebiete	38
5.6.1	Circuitscape Inputdaten	39
5.6.2	Simulationsaufbau	40
5.6.3	Erstellung der Vernetzungsgebiete C2	40
	References	41

Abbildungsverzeichnis

1	Indikator Bodenbedeckung und Landnutzung. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Versiegelte Gebiete weisen sehr kleine Werte auf. Feuchtgebiete hingegen besitzen den höchsten Wert.	8
2	Indikator Bevölkerung. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Je größer die Bevölkerungsdichten und Zahl der Logiernächte, umso kleiner die Indikatorwerte.	9
3	Indikator Fragmentierung. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Je größer die zusammenhängende, unzerschnittene Fläche in der Umgebung eines Pixels, desto besser sind die Indikatorwerte.	10
4	Indikator Naturschutz. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Werte von 10 entsprechen einem Totalschutz wie beispielsweise im Schweizerischen Nationalpark.	11
5	Indikator Höhenlage und Topographie. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum.	12
6	Der Continuum Suitability Index berechnet als gewichtetes Mittel von 5 Indikatoren. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum.	13
7	Der Continuum Suitability Index berechnet als gewichtetes Mittel von 5 Indikatoren. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum.	14
8	Einteilung der Schweiz in drei Kategorien nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen welche die Voraussetzungen für den Erhalt und nachhaltigen Nutzen der Biodiversität schaffen sollen. Gebiete ohne Klassifizierung zeichnen sich meist durch eine gemeinsame Nutzung aus, spielen aber für die ökologische Vernetzung eine marginale Rolle.	15
9	Kategorien nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen C1, C2 und C3: Verteilung über die Schweiz und deren Bioregionen.	16
10	Kantonaler Flächenanteil nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen in drei Kategorien aufgeteilt, welche die Voraussetzungen für den Erhalt und nachhaltigen Nutzen der Biodiversität schaffen sollen.	17

11	Kanton Freiburg a) der Continuum Suitability Index; b) ökologische Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen; c) Zukunftsszenario mit erhöhter Durchlässigkeit in der Landwirtschaft; und d) Zukunftsszenario mit erhöhter Durchlässigkeit in der Landwirtschaft, Schaffung von Trittsteinen und Erweiterung der naturbelassenen Gebieten.	19
12	Fehlende Flächen welche durch die TLM Datensätze und landwirtschaftlichen Datensätze der Kantone nicht abgedeckt werden.	24
13	Indikatoren und Continuum Suitability Index pro Gemeinde.	49

Tabellenverzeichnis

1	Pufferbreite nach Objektart des Strassenlayers aus dem topografischen Landschaftsmodell der Schweiz TLM.	22
2	Objektarten der TLM und kantonalen Datensätze sowie der Arealstatistik mit der dazugehörigen Klassifikation für Indikator Bodenbedeckung und Landnutzung.	25
3	Klassifikationsschema für den Bevölkerungsindikator.	34
4	Klassifikationsschema für den Fragmentierungsindikator.	35
5	Klassifikationsschema für den Naturschutzindikator.	37
6	Klassifikationsschema für Höhenlage und Neigung.	38
7	Parametrisierung für Circuitscape-Simulationen	40

1 Zusammenfassung

Die Studie untersucht auf einer räumlich expliziten Ebene, in welchem ökologischen Zustand sich die Schweiz befindet und wo und in welchem Umfang einzelne Gebiete für ökologische Vernetzung geeignet sind. Es wurde eine GIS-basierte Raumanalyse für die ganze Schweiz durchgeführt. Die angewandte Methodik verwendet verschiedene Indikatoren mit Relevanz für die ökologische Vernetzung, die im sogenannten Continuum Suitability Index (CSI) zusammengefasst sind. Folgende anthropogene Faktoren wurden dafür berücksichtigt: Bodenbedeckung, Landnutzung, Bevölkerung, Fragmentierung, Naturschutz, Höhenlage und Topographie. Als Ergebnis der Analyse wurden die Gebiete je nach ökologischem Zustand und erforderliche Maßnahmen für den Erhalt und die nachhaltige Nutzung der Biodiversität in drei Kategorien unterschieden: ökologisch wertvolle Gebiete, meist naturbelassene Gebiete (C1), Vernetzungsbereiche mit meist gemeinsamer Nutzung (C2) und in ökologisch verarmte Gebiete wie Stadt und Ackerland (C3).

Großräumige weisen Alpennordflanke, mit Ausnahme der Haupttäler, eine gute ökologische Ausgangslage auf. Inneralpine Täler hingegen fungieren als Barrieren und weisen in den Talböden einen hohen anthropogenen Druck auf. Ähnlich das Mittelland, welches mit seinen bevölkerungsreichen und landwirtschaftlichen Gebieten keine Durchlässigkeit zwischen dem Jura und den Alpen ermöglicht und für die Schweiz eine der größeren ökologischen Herausforderungen darstellt. Verbesserung der Ausgangslage werden Anhand von möglichen Maßnahmen und die Berechnung von Szenarien am Beispiel des Kantons Freiburg gezeigt.

Die durchgeführten Analysen bieten eine Grundlage für die gemeinsame und differenzierte Zusammenarbeit aller Akteure zum Schutz unseres Ökosystems. Die erstellten Karten sollen Entscheidungsprozesse in der Landschaftsplanung unterstützen und einen Überblick über die ökologische Vernetzung in der Schweiz liefern. Zudem bieten die räumlich hochaufgelösten Daten auch eine Grundlage zur Ausarbeitung von lokalen Vernetzungsstrategien unter Berücksichtigung von kleineren Biotopen.

2 Einleitung

Arten und Lebensräume sind weltweit in alarmierendem Ausmaß gefährdet (Böhm et al., 2013; Estes et al., 2011). Die Zerstörung von natürlichen Lebensräumen, Umweltverschmutzung sowie intensive Land- und Forstwirtschaft zählen zu den Hauptverantwortlichen des Biodiversitätsverlusts (Steffen et al., 2011). Das fortschreitende Massenaussterben von Arten (Barnosky et al., 2011; Ceballos et al., 2017) verursacht einen Rückgang der für den Erhalt des menschlichen Lebens wichtigen Ökosystemleistungen (Gómez-Baggethun et al., 2010). Kritische Ökosystemleistungen, wie die Bestäubung von Nahrungspflanzen oder die Versorgung mit frischer und sauberer Luft, könnten in näherer Zukunft stark beeinträchtigt werden (Díaz et al., 2006). Auch in der Schweiz hat die Biodiversität seit 1900 deutlich abgenommen. Von circa 10'000 untersuchten Arten gelten 35 % als bedroht (Gattlen et al., 2017). Zudem weisen wissenschaftliche Erkenntnisse und Behörden - wie beispielsweise die Europäische Umweltagentur - darauf hin, dass die bisherigen Instrumente und Maßnahmen zur Milderung des Artenverlusts zwar teilweise erfolgreich, aber längst nicht ausreichend sind. Zustand und Entwicklung der Biodiversität sind generell ungenügend, wie das Nicht-Erreichen der gesetzten Ziele für Biodiversität der Vereinten Nationen zeigt: Bis ins Jahr 2020 sollten unter anderem mindestens 17 % der Land- und 10 % der Meeresgebiete geschützt werden (Aichi-Ziel 11), erreicht wurden allerdings jeweils 15 und 7 % (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2020). Dieser Anteil an geschützten Gebieten reicht bei weitem nicht aus, um das Massenaussterben zu stoppen und die Lebensgrundlagen und das Wohlergehen der Menschen langfristig zu sichern (Noss et al., 2012; Dinerstein et al., 2017). Aus diesem Grund ist es eine wichtige Aufgabe, die Qualität und Quantität von Schutzgebieten zu fördern, sowie deren Vernetzung untereinander zu gewährleisten. Kein Schutzgebiet ist für sich genommen groß genug, um wesentliche Schutzziele allein zu erfüllen. Der Schutz muss sich notwendigerweise in die komplexen, anthropogen mehrfach genutzten Landschaften außerhalb der Schutzgebiete erstrecken. Vernetzungsgebiete müssen die Durchlässigkeit der Landschaft zwischen den ökologisch wertvollen Gebieten sicherstellen. Wirksam erhaltene, vernetzte und funktionsfähige Lebensräume sind eine Grundvoraussetzung dafür, dass die Biodiversität reichhaltig und reaktionsfähig gegenüber Veränderungen ist (Bundesrat, 2012). In isolierten Lebensräumen kann die Verringerung oder der Verlust des genetischen Austauschs zwischen Tieren zu kleineren effektiven Populationsgrößen (Frankham, 1996), Inzucht (Stockwell et al., 2003) und zu potenziell schädlichen Auswirkungen auf die Paarungsfähigkeit und letztlich zum Aussterberisiko führen. Auch angesichts der Auswirkungen des globalen Klimawandels sind vernetzte Gebiete wichtiger denn je. Die Bewegungsfreiheit in klimatischen Refugien als Anpassung an die sich rasch ändernden Umweltbedingungen wird für den Fortbestand vieler Arten entscheidend sein (Steinbauer et al., 2018; Wessely et al., 2017). Nichtsdestotrotz ist die ökologische Vernetzung nur teilweise in die Landnutzungspolitik und in die Entscheidungsprozesse integriert. In der Praxis werden meist großräumige Kartierungen der

ökologischen Vernetzung mit sehr grob aufgelösten Daten (z.B. Hunderte von Metern pro Pixel oder Maßeinheit) durchgeführt. Solche Karten können Entscheidungsträger großräumig auf potentielle Bedrohungen hinweisen, sowie auf Erhaltungs- und Naturschutzmöglichkeiten aufmerksam machen, jedoch sind solche Karten oft zu grob, um als spezifische Planungsgrundlage für Naturschutzprojekte dienen zu können. Darüber hinaus bleibt das Erkennen von notwendigen und sinnvollen Standorten, welche sich für Maßnahmen zur Förderung der ökologischen Vernetzung eignen, eine Herausforderung. Ökologische Vernetzung kann nebst der Fähigkeit einzelner Arten, sich über Korridore und Verbindungszonen zwischen Lebensräumen zu bewegen, auch mit dem Zustand der Landschaft im Allgemeinen charakterisiert werden. Je nach Art der Landschaft können die Bewegung von Wildtieren begünstigt und ökologische Prozesse unterstützt werden.

2.1 Indikator für ökologische Vernetzung

In unserer Studie bieten wir einen Ansatz, welcher den Zustand der gesamten Landschaft hinsichtlich des Schutzes und der Erhaltung funktionierender Ökosysteme beurteilt. Dabei wird die Landschaft als ökologisches Kontinuum in Matrizenform betrachtet, in der jedes Pixel oder jedes Teilstück die Qualität der ökologischen Vernetzung widerspiegelt. Der Zustand wird mit einem Continuum Suitability Index (CSI) beurteilt, welcher hauptsächlich anthropogene Faktoren, die für die Veränderung von Ökosystemen als relevant erachtet werden, bewertet. Der Index setzt sich aus 5 verschiedenen Indikatoren zusammen: Bodenbedeckung und Landnutzung, Bevölkerung, Fragmentierung, Naturschutz, Höhenlage und Topographie. Diese wurden durch Literaturrecherche und Workshops mit Expertengruppen erarbeitet. Die einzelnen Indikatoren ergänzen sich gegenseitig. Sie berücksichtigen biologische, landschaftsökologische, geographische und sozio-ökonomische Einflüsse auf die Qualität der Landschaft und die ökologische Vernetzung. Die Indikatoren wurden als hochaufgelöste Rasteroberflächen räumlich explizit beschrieben. Die Ergebnisse der räumlichen Analyse haben wir anschliessend von 0 bis 10 klassiert. Dabei steht 10 für eine sehr gute Eignung bezüglich ökologischer Vernetzung und Biodiversität (sog. ökologisches Kontinuum gemäss CSI) und 0 für völlig ungeeignet.

Die Wahl und Klassifizierung der Indikatoren wurde so getroffen, dass sie für ein breites Spektrum an Artengruppen relevant sind. Im Fokus liegt die Landschaft, unabhängig von spezifischen Pflanzen- und Tierarten. Der Fragmentierungsindikator, welcher sicher artenspezifisch ist, wurde so berechnet, dass er den Bewegungsansprüchen mobiler Arten, den Säugetieren, gerecht wird. Auf diese Weise und durch das Verwenden von räumlich hochaufgelösten Daten werden Bewegungsansprüche und der langfristige genetische Austausch auch von kleineren Lebewesen (z.B. Reptilien, Amphibien, Wirbellosen und Gefäßpflanzen) ebenfalls berücksichtigt. Der CSI soll aufzeigen, wo die Voraussetzungen für ein *ökologisches Kontinuum* bereits vorhanden sind und in welchen Gebieten noch Verbesserungen erforderlich oder möglich sind.

2.2 Ökologische Zustände und Maßnahmen für die Erhaltung der Biodiversität

Der CSI wurde in unserer Studie zudem als Grundlage für die Einteilung aller Gebiete in drei Kategorien verwendet. Die Kategorien unterscheiden sich nach ökologischem Zustand in ökologisch wertvolle Gebiete, meist naturbelassene Gebiete (C1), Vernetzungsgebiete mit meist gemeinsamer Nutzung (C2) und in ökologisch verarmte Gebiete wie Stadt und Ackerland (C3). Jede Kategorie charakterisiert sich durch erforderliche und mögliche Maßnahmen, welche die Voraussetzungen für den Erhalt und die nachhaltige Nutzung der Biodiversität schaffen sollen (Locke et al., 2019). Dazu gehören:

C1: **Sichern** der allgemeinen ökologischen Integrität und den damit verbundenen globalen Ökosystemleistungen, wie Kohlenstoffspeicherung und Mitigation des Klimawandels. Einrichtung großer Schutzgebiete und Verhinderung einer weiteren Fragmentierung. Eine Raumplanungspolitik, welche die Rolle solcher Gebiete als Herzstück der Biodiversität anerkennt, ist notwendig.

C2: **Entwickeln** von Vernetzungsgebieten: Einrichtung von ökologischen Korridoren. Wiederherstellung und Aufrechterhaltung ökologischer Prozesse und lebensfähiger Populationen einheimischer Arten. Förderung von nachhaltigem Abbau natürlicher Ressourcen und Nachhaltigkeit im Tourismus, in der Weidewirtschaft und im Umgang mit Wildtieren unter Berücksichtigung von traditionellem Wissen.

C3: **Mildern** der anthropogenen Einflüsse: Verstärkte Schutzbestimmungen zur Sicherung gefährdeter Arten und zum Schutz aller verbleibenden Ökosysteme. Praktizieren von nachhaltigem Ackerbau, insbesondere Vermeidung von Stickstoffzufuhr in Süßgewässer und Förderung der Gesundheit von Insekten. "Grüne Städte zur Reduktion von Kohlenstoffemissionen, weitere Zersiedelung der Landschaft verhindern und den Zugang zur Natur ermöglichen, insbesondere im Hinblick auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Stadtbewohner.

Zusammenfassend wollen wir mit dieser Studie: i) die Entscheidungsprozesse in der Landschaftsplanung unterstützen; ii) einen Überblick über die ökologische Vernetzung in der Schweiz liefern und iii) abschätzen, welcher Faktor bzw. Indikator am ehesten die ökologische Qualität der Landschaft mindert oder fördern kann. Zudem bieten die räumlich hochaufgelösten Daten auch eine Grundlage zur Ausarbeitung von lokalen Vernetzungsstrategien unter Berücksichtigung von kleineren Biotopen.

3 Resultate und Empfehlungen

3.1 Bodenbedeckung und Landnutzung

Die Veränderung von Naturlandschaften und die Umgestaltung der Nutzung von Landschaften für menschliche Bedürfnisse hat einen direkten Einfluss auf die Biodiversität und folglich auf das Funktionieren von Ökosystemen (De Baan et al., 2013; Foley et al., 2005; Metzger et al., 2006). Der Indikator Bodenbedeckung und Landnutzung (Abb. 1) widerspiegelt den Einfluss der stärker genutzten Städte mit ihren Agglomerationen gegenüber den weniger intensiv genutzten Alpen. Die Urbanisierung stellt eine der größten Bedrohungen für die Biodiversität dar (McKinney, 2002). In der Schweiz wurden in den letzten 35 Jahren pro Sekunde rund 0,75 Quadratmeter versiegelt (Gregor, 2017). In den Alpen sind davon hauptsächlich die Talschaften betroffen. In höher gelegenen Regionen kommt es durch das Vorkommen von vegetationslosen Flächen, wie Lockergestein und Fels, zu tieferen Bewertungen, da sie ein geringeres Biodiversitätspotential im Vergleich zu Wiesen und Wald aufweisen.

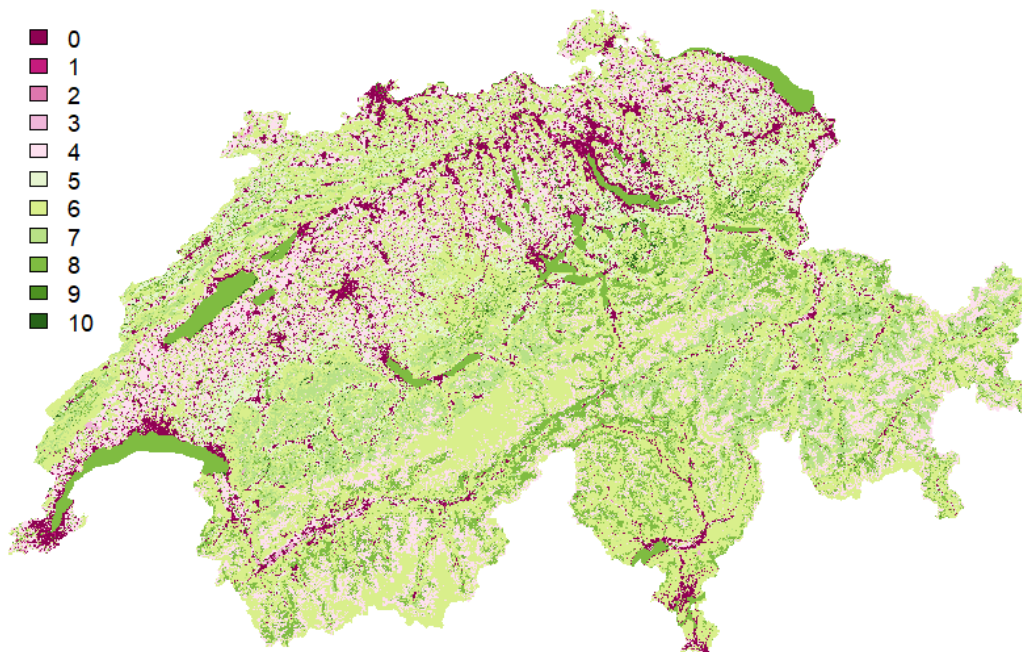


Abbildung 1: Indikator Bodenbedeckung und Landnutzung. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Versiegelte Gebiete weisen sehr kleine Werte auf. Feuchtgebiete hingegen besitzen den höchsten Wert.

3.2 Bevölkerung

Der Mensch wird als Haupttreiber für die Veränderung ökologischer Systeme angesehen (MEA, 2005)). Mit zunehmender Bevölkerungsdichte und touristischer Nachfrage nimmt die Gefährdung für die Biodiversität zu (Luck, 2007). Mit dem Bevölkerungsindikator wird der menschliche Druck auf die ökologische Vernetzung dargestellt. In Abbildung 2 sind dichter besiedelten Gebiete sowie die Gebiete mit großer touristischer Aktivität erkennbar (geringe Indikatorwerte, z.B. große Städte, Region St. Moritz, Davos, Zermatt). Der Bevölkerungsdruck bleibt in höheren Lagen in den Alpen und Jura weiträumig gering.



Abbildung 2: Indikator Bevölkerung. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Je größer die Bevölkerungsdichten und Zahl der Logiernächte, umso kleiner die Indikatorwerte.

3.3 Fragmentierung

Die Landschaft wird durch eine Vielzahl anthropogener Strukturen wie Industriegebiete, Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen zunehmend fragmentiert. Diese Konstruktionen führen zum Verlust von Lebensräumen (Fahrig, 2003). Dazu kommt, dass Gebiete mit hoher Biodiversität eine Mindestgröße aufweisen müssen, um ihren Artenreichtum zu erhalten (Haddad et al., 2015). Während die Versiegelung implizit im Bodenbedeckungs- und Landnutzungsindikator enthalten ist, berücksichtigt der Fragmentierungsindikator die Isolierung und das Auseinanderbrechen von Gebieten durch Siedlungen und Verkehrsinfrastrukturen. Eine deutliche Zweiteilung der Schweiz ist großflächig erkennbar (Abb. 3). Das stark fragmentierte Mittelland steht dem zusammenhängenden Alpenraum gegenüber. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass hochgelegene Gebiete selbst eine natürliche Barriere für viele Arten darstellen können, wird die Situation in den Alpen durch den Indikator jedoch zum Teil überbewertet.

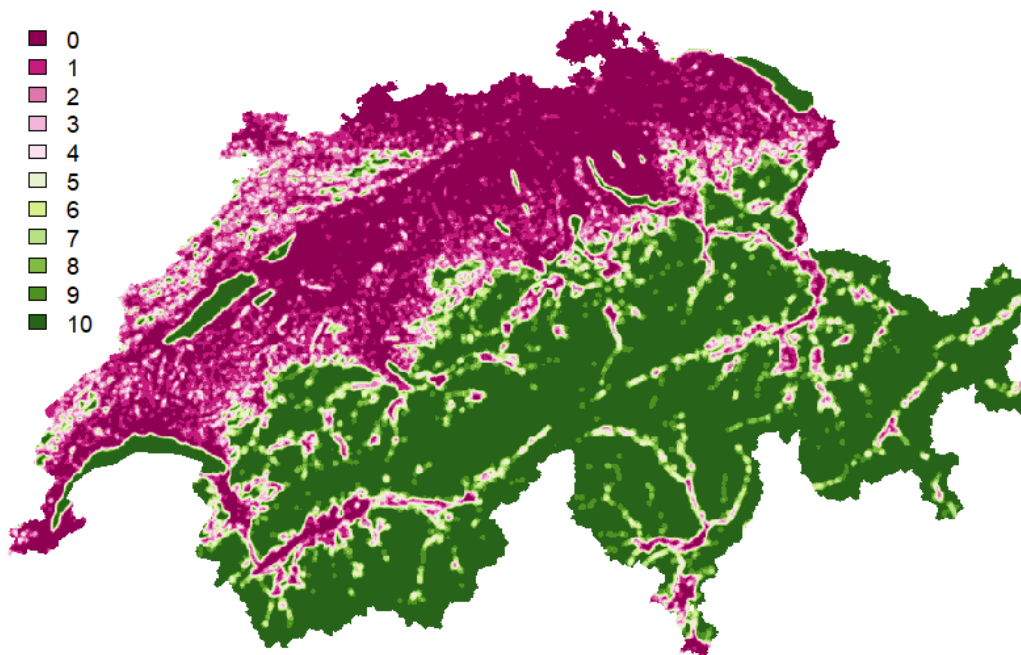


Abbildung 3: Indikator Fragmentierung. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Je größer die zusammenhängende, unzerschnittene Fläche in der Umgebung eines Pixels, desto besser sind die Indikatorwerte.

3.4 Naturschutz

Schutzgebiete sind strategische Schlüsselemente für den Naturschutz (Laurance et al., 2012; Ostermann, 1998). Der Naturschutzindikator zeigt den Einfluss von geplanten und realisierten Massnahmen, wie zum Beispiel Jagdbanngebiete, Biodiversitätsförderflächen oder international anerkannten Schutzgebieten (Abb. 4). Die Wirksamkeit der Schutzgebiete wird durch die Effektivität ihres Managements bestimmt (Jones et al., 2018). In unsere Studie beschreibt der Schutzstatus die Einstellung gegenüber Naturschutz. Dabei wird davon ausgegangen, dass das Management umso effektiver ist, je strenger die Vorschriften sind. Der Indikator zeigt, dass großflächige Schutzgebiete vor allem in niedrigeren Höhenlagen fehlen und streng geschützte Gebiete in der ganzen Schweiz selten sind.

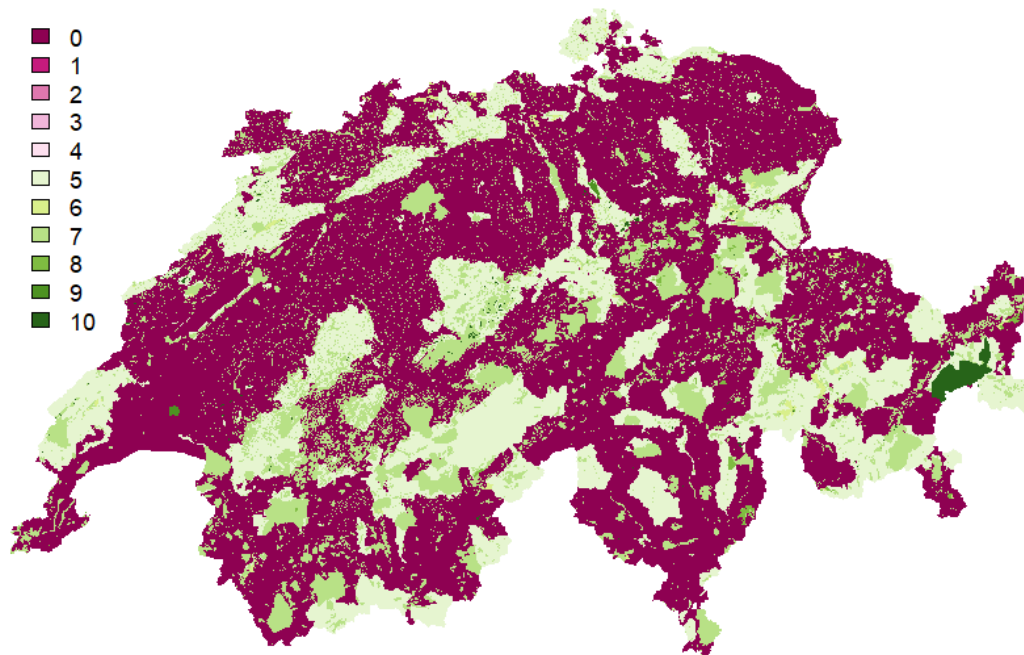


Abbildung 4: Indikator Naturschutz. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum. Werte von 10 entsprechen einem Totalschutz wie beispielsweise im Schweizerischen Nationalpark.

3.5 Höhenlage und Topographie

Hochalpine Gebiete sind Barrieren für viele Arten; steile Felswände können unüberwindbare Hindernisse darstellen. Darüber hinaus nehmen die Biomasse und die Biodiversität in den europäischen Alpen mit zunehmender Höhe ab (Meyer and Thaler, 1995). Der Indikator kombiniert Höhe und Hangneigung und zeigt das Potential der tieferen Lagen auf die ökologische Konnektivität auf (Abb. 5).



Abbildung 5: Indikator Höhenlage und Topographie. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum.

3.6 Continuum Suitability Index

Der CSI ist das gewichtete Mittel aller 5 Indikatoren, wobei Bodenbedeckung/Landnutzung und Bevölkerung aufgrund deren Einfluss doppelt gewichtet werden. Der CSI folgt in der Schweiz einer Normalverteilung (Abb. 6) mit einem mittleren CSI-Wert von 6. Hier ist sichtbar (Abb. 7), dass vor allem die Alpennordflanke, mit Ausnahme der Haupttäler, eine gute ökologische Ausgangslage aufweist. Inneralpine Täler hingegen fungieren als Barrieren und weisen in den Talböden eine hohe Konzentration von Personen- und Warenverkehr, große Siedlungen, intensive Landwirtschaft, Kanalisierung der Flusssysteme, Monokulturen und Infrastruktur, wie Autobahnen und Eisenbahnen, auf. Ähnlich das Mittelland, welches mit seinen bevölkerungsreichen und landwirtschaftlichen Gebieten anhand der weniger guten Werte erkennbar ist. Die Mittelland-Barriere zwischen dem Jura und den Alpen stellt für die Schweiz eine der größeren ökologischen Herausforderungen dar.

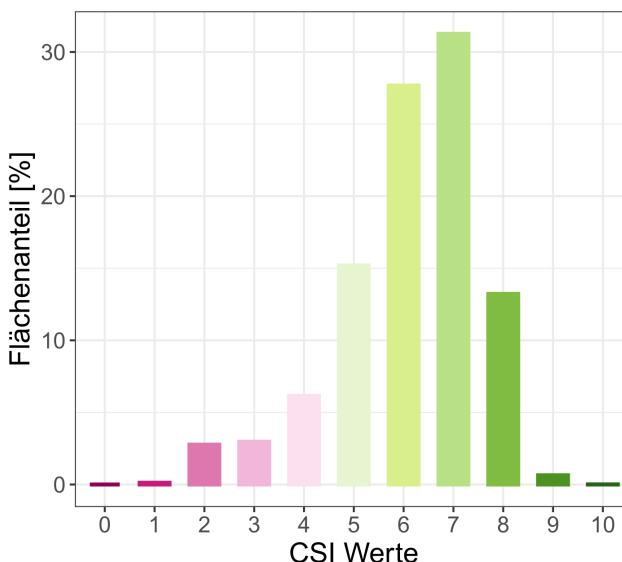


Abbildung 6: Der Continuum Suitability Index berechnet als gewichtetes Mittel von 5 Indikatoren. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum.

3.7 Ökologischer Zustand und Vernetzungsgebiete

Die gesamte Fläche der Schweiz wurde auf ihr Potenzial für ökologische Vernetzung analysiert (CSI) und je nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen in eine von drei Kategorien eingeteilt (Abb. 8). Dieser Ansatz bietet ein nützliches Werkzeug, um innerhalb der Schweiz Zielgebiete und Maßnahmen festzulegen. Bei den C1-Gebieten handelt sich um ökologisch wertvolle Gebiete, welche kaum fragmentiert sind und in denen die ökologische Vernetzung erhalten werden sollte. Sie sind zentrale Bestandteile des ökologischen Netzwerkes. 11 % der Schweiz gelten nach diesem Ansatz als naturbelassene oder wertvolle Gebiete (Abb. 9). Davon sind nur 1.4 % keinem Schutz unterlegen. In den übrigen Gebieten limitiert sich der Schutz oft nur auf gewisse Arten oder dient lediglich der touristischen Promotion. Auch die ungleiche Verteilung (Abb. 9 und 10) von C1-Gebieten zwischen Alpen und Mittelland zeigt die Notwendigkeit, diese Gebiete durch eine großräumige Naturschutz- und Raumordnungspolitik zu sichern und nach Möglichkeit flächenmäßig zu vergrößern. C1-Gebiete müssen in ihrer

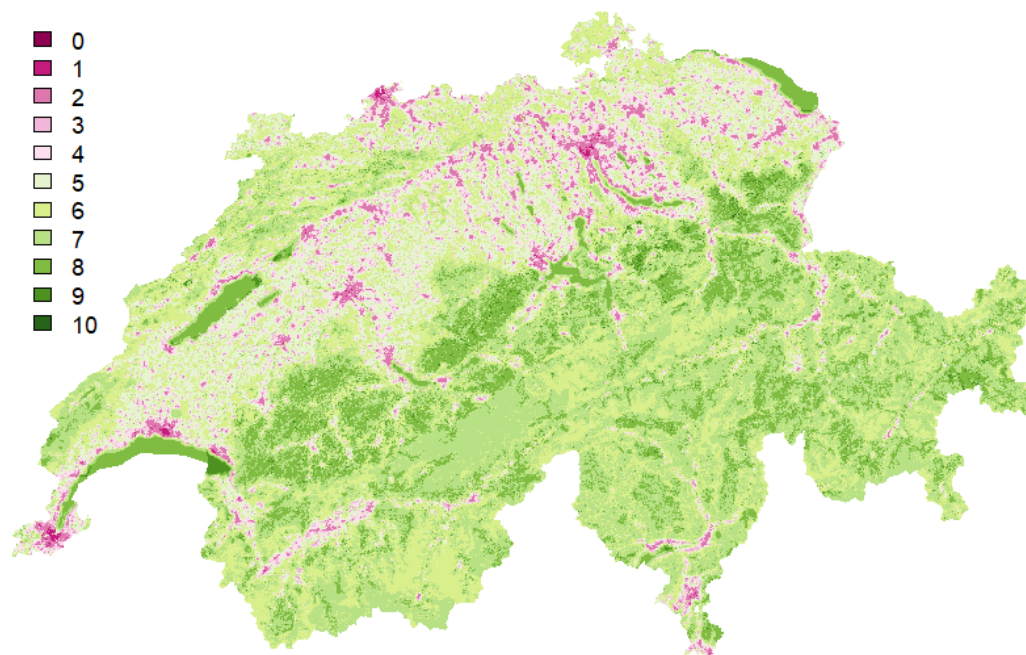


Abbildung 7: Der Continuum Suitability Index berechnet als gewichtetes Mittel von 5 Indikatoren. 0 = völlig ungeeignet für das ökologische Kontinuum und 10 = sehr gute Eignung für das ökologische Kontinuum.

jetzigen Form weiterbestehen. Jegliche Nutzung, welche sich negativ auf die ökologische Funktionsfähigkeit des Gebietes auswirken würde, wie z.B. Fragmentierung oder Intensivierung der Landnutzung, muss verhindert werden.

Mit 43 % besitzen die C2- oder Vernetzungsgebiete den größten Flächenanteil aller Kategorien in der Schweiz (Abb. 9). Sie bilden das wichtige Bindeglied zwischen den naturbelassenen Gebieten. Ihre Berechnung basiert auf der Theorie der elektrischen Schaltkreise (McRae et al., 2008). Dabei werden Landschaften und das Bewegungspotential von Tieren in Strom-, Spannungs- und Widerstandswerte übersetzt. Der Ansatz simuliert die Ausbreitung und den Genfluss von Wildtierpopulationen, indem er analysiert, wie sich Strom in einer bestimmten Landschaft ausbreitet. Der CSI definiert den Widerstand der Landschaft gegen den Stromfluss. Ökologisch wertvolle Gebiete fungieren dabei als Stromquellen. Für die C2-Gebiete sollten Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Vernetzung geplant werden. Die Ausgangslage ermöglicht es, diese Gebiete mit relativ geringen Investitionen für die Vernetzung weiter zu entwickeln. Es sollten nachhaltige Aktivitäten im Tourismus, der Weidewirtschaft und der

Nutzung von Wildtieren gefördert werden.

Ökologisch verarmte Gebiete C3 machen 27 % der Schweiz aus. Es handelt sich dabei um Gebiete, in denen die Fragmentierung bereits so weit fortgeschritten ist, dass großräumige Eingriffe keine realistische Option mehr darstellen und Lösungen mit hohem finanziellem und politischem Aufwand verbunden wären. Sie stellen wichtige Barrieren zwischen ökologisch wertvollen Gebieten dar. Empfehlungen für diese Gebiete sind die Umsetzung von standortspezifischen Maßnahmen zur Verbesserung der ökologischen Vernetzung und Förderung der Biodiversität (z.B. nachhaltigere Landwirtschaft, grünere Städte, nationale Aktionen wie Mission B).

Ökologischer Zustand

- C1 Ökologisch wertvolle Gebiete (Sichern)
- C2 Vernetzungsgebiete (Entwickeln)
- C3 Ökologisch verarmte Gebiete (Mildern)

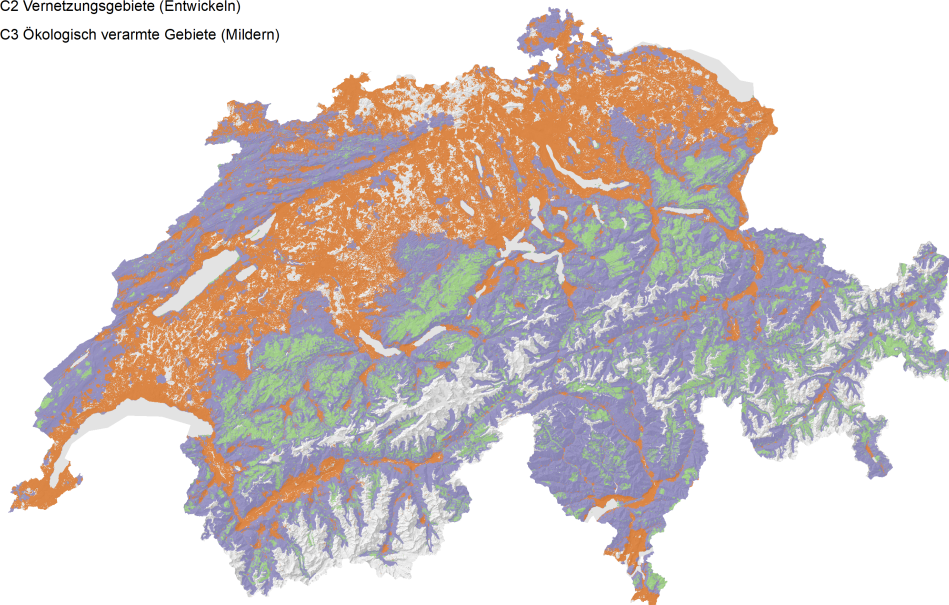


Abbildung 8: Einteilung der Schweiz in drei Kategorien nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen welche die Voraussetzungen für den Erhalt und nachhaltigen Nutzen der Biodiversität schaffen sollen. Gebiete ohne Klassifizierung zeichnen sich meist durch eine gemeinsame Nutzung aus, spielen aber für die ökologische Vernetzung eine marginale Rolle.

In Abbildung 8 ist ersichtlich, dass 18 % der Flächen in keine der drei Kategorien fallen. Ein Teil dieser Gebiete macht Seen aus, in denen die vom Projekt definierten Kriterien wenig Sinn machen, oder in denen eine Vertiefung notwendig wäre. Die weiteren terrestrischen Gebiete zeichnen sich durch CSI-Werte aus, die für eine Zuordnung in Kategorie C2 sprechen würden. Diese Gebiete spielen aber eine marginale Rolle für die ökologische Vernetzung, da sie sich über 2500m ü.M. befinden oder keine Verbindung zwischen zwei ökologisch wertvollen Gebieten herstellen können. Dies ist dann der Fall, wenn die Entfernung zwischen zwei wertvollen Gebieten zu groß ist oder unumgehbare

Hindernisse vorhanden sind. Viele solcher Flächen befinden sich im Mittelland, wo es unzureichend naturbelassene Gebiete gibt, welche als Trittsteine zwischen den großflächigen, wertvollen Gebieten in den Alpen und dem Jura dienen könnten. Trittsteine benötigen nicht die Flächengröße, welche das dauerhafte Überleben von Populationen sichert, sondern sollten lediglich eine zeitweise Besiedlung und Reproduktion von den zwischen geeigneten Gebieten wandernden Arten erlauben (Forman, 1995). Das Trittsteinkonzept wird erforderlich, weil die landwirtschaftlich genutzte Kulturlandschaft heute aufgrund der intensivierten Nutzung für die meisten Arten mehr oder weniger lebensfeindlich ist. Eine Verbesserung der Durchlässigkeit in den Landwirtschaftsflächen und die Schaffung von naturbelassenen Trittsteinen im Mittelland könnte die Situation sicherlich verbessern und würde das vorhandene Vernetzungspotential vieler Flächen fördern.

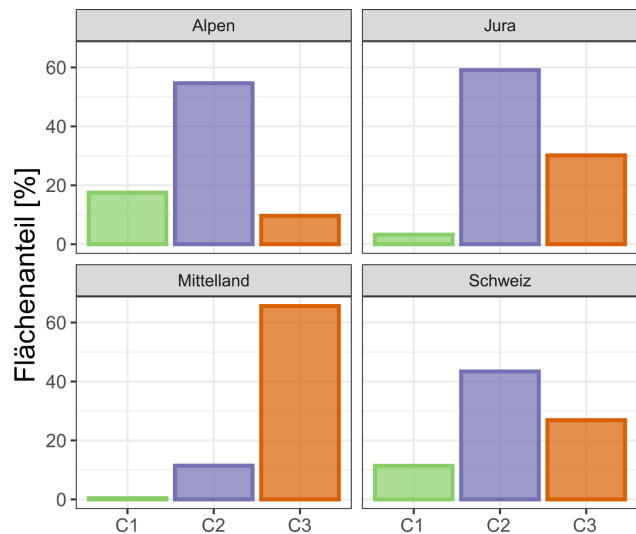


Abbildung 9: Kategorien nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen C1, C2 und C3: Verteilung über die Schweiz und deren Bioregionen.

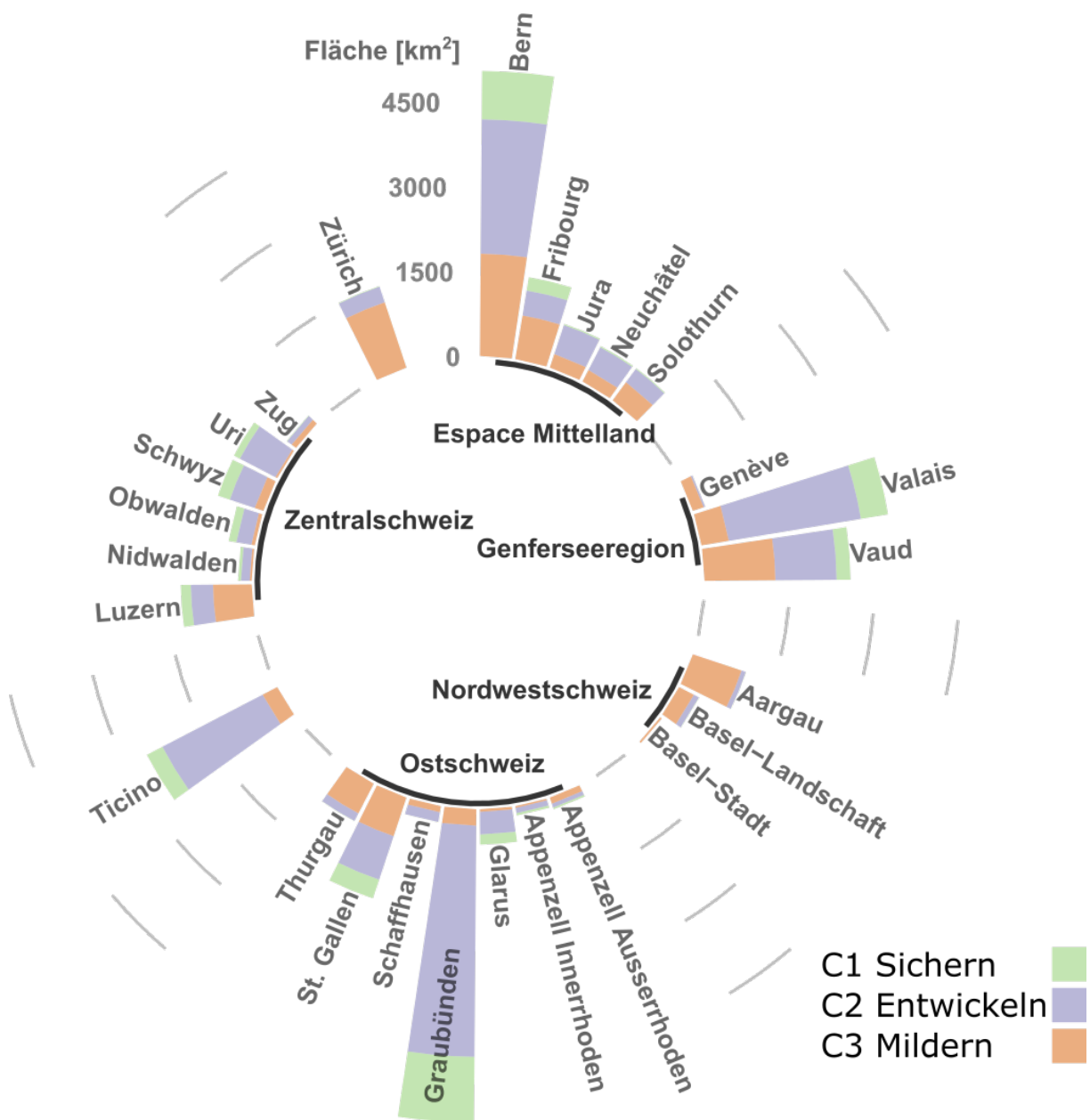
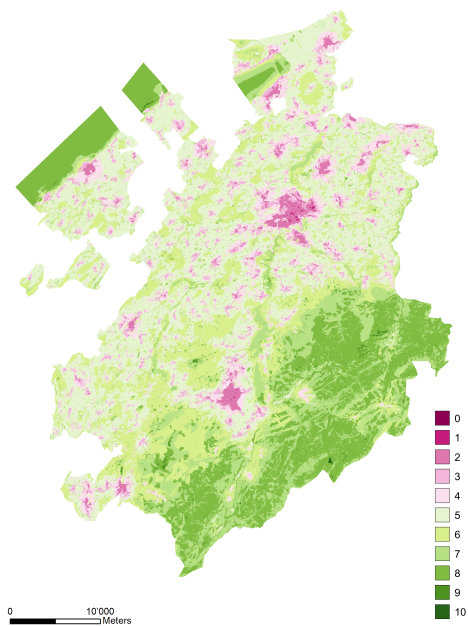


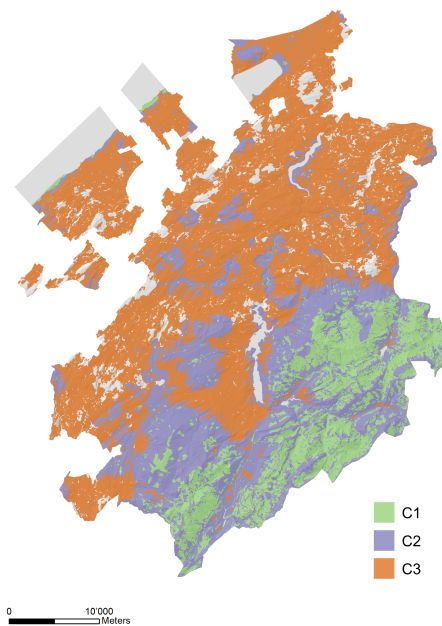
Abbildung 10: Kantonaler Flächenanteil nach ökologischem Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen in drei Kategorien aufgeteilt, welche die Voraussetzungen für den Erhalt und nachhaltigen Nutzen der Biodiversität schaffen sollen.

3.8 Beispiel am Kanton Freiburg

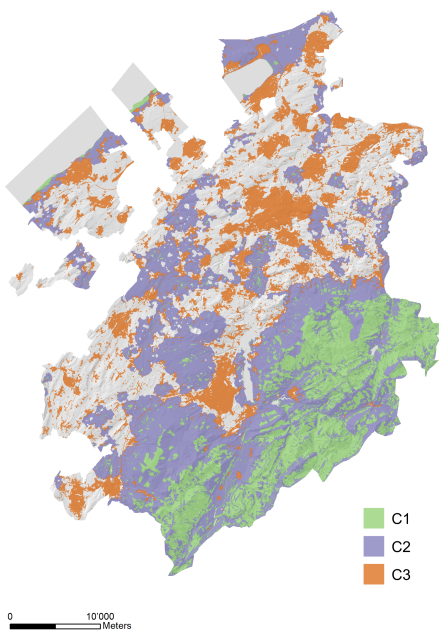
Um die Durchlässigkeit der Landschaft und das Trittsteinkonzept anschaulicher zu gestalten, sowie die Sensitivität unseres Ansatzes unter Beweis zu setzen, wurde eine Analyse mit Simulation von Zukunftsszenarien am Kanton Freiburg durchgeführt. Von der Ausgangslage berechnet durch den CSI (Abb. 11a,b) wurde in einem ersten Schritt der Ackerbau im Kanton nachhaltiger und durchlässiger für Wildtiere gestaltet. Konkret heißt das im Modell, dass der CSI-Wert um einen Punkt in der Ackerbaulandschaft verbessert wurde (Abb. 11c). Das könnte durch folgende Maßnahmen geschehen (Bloch et al., 2019) Verzicht auf Herbizide, Unkrautbekämpfung mit mechanischen Geräten; Einführung von neuen Technologien (Präzisionsackerbau) und Digitalisierung zur Optimierung des Nährstoffmanagements (Sparen von Dünger und Pflanzenschutzmittel, keine Stickstoffverluste im Grundwasser) und für die Früherkennung von Umweltproblemen und Krankheiten; Verwendung von organischem Wirtschaftsdünger statt mineralischem Düngemittel; Fruchtfolgen vielfältiger gestalten (Wechsel von Halm- und Blattfrüchten und Anbau von Zwischenfrüchten, Buntbrache); Verwendung von qualitativ hochwertigen, standortangepassten und unempfindlichen Sorten (Potential alter Sorten testen); Integration von Landschaftsstrukturen (Hecken und Feldgehölze, Ackerschonstreifen, Saum auf Ackerflächen). Wie unsere Simulation zeigt, reichen solche Maßnahmen allein nicht aus, um eine großräumige Vernetzung (Alpen - Jura) herzustellen. Es entstehen viele Flächen (keine Kategorie), die Vernetzungspotential aufweisen, aber es fehlen die naturbelassenen Gebiete, welche als Trittsteine fungieren. In einem zweiten Schritt wurden solche Trittsteine eingeführt, indem wir Gebiete mit CSI 7 auf 8 aufgewertet haben (Abb. 11d). Dies könnte in Gewässern durch Renaturierung und in Wäldern durch Einführung von Schutzbestimmungen (Waldreservate mit minimalen Eingriffen und bestehen lassen von Totholz) gefördert werden. Auch in der Landwirtschaft könnten extensiv bewirtschaftete Wiesen mit Spätmahd als provisorische Refugien dienen. Trittsteine allein reichen aber ohne Durchlässigkeit der Landschaft nicht aus. Ein Zukunftsszenario mit Ausführung all dieser Maßnahmen zusammen zeigt, dass es zu einer großflächigen Vernetzung im Kanton Freiburg mit Auflösung der Mittelland-Barriere kommen würde.



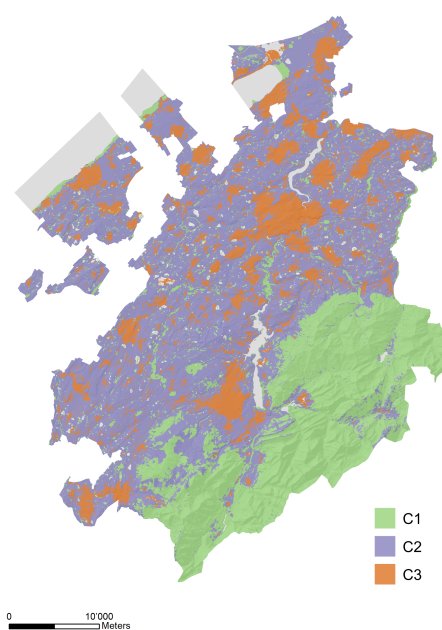
(a) CSI



(b) Ausgangszustand



(c) Resultat mit erhöhter Durchlässigkeit in der Landwirtschaft



(d) Resultat mit erhöhter Durchlässigkeit in der Landwirtschaft und Schaffung von Trittsteinen

Abbildung 11: Kanton Freiburg a) der Continuum Suitability Index; b) ökologische Zustand und Art der erforderlichen Maßnahmen; c) Zukunftsszenario mit erhöhter Durchlässigkeit in der Landwirtschaft; und d) Zukunftsszenario mit erhöhter Durchlässigkeit in der Landwirtschaft, Schaffung von Trittsteinen und Erweiterung der naturbelassenen Gebieten.

4 Fazit

Die präsentierten Karten liefern einen einheitlichen Überblick über die ökologische Vernetzung in der Schweiz. Positive Werte der Indikatoren Naturschutz und Landnutzung führen oft zu einem hohen CSI-Wert. Dies sind auch diejenigen Indikatoren, welche einen gewissen Interventionsspielraum zur Verbesserung des ökologischen Zustandes aufweisen.

Unsicherheiten beim CSI-Ansatz ergeben sich aus der Auswahl der Indikatoren, den zur Analyse der verschiedenen Aspekte angewandten Methoden, der Klassifizierung der einzelnen Indikatoren sowie der Datenverfügbarkeit, Datenauflösung und Datengenauigkeit. Der mehrstufige Ansatz mit vorangehender Literaturrecherche versucht, Unsicherheiten aufgrund von verzerrten Expertenmeinungen zu reduzieren. Die Datenauflösung von 5 Metern für die Indikatoren und den CSI bildet auch Strukturen wie Hecken, Bäume, Büsche und Trockenmauern ab. Somit lassen sich mit diesen Indikatoren auch kleinräumige Analysen durchführen, mit welchen auf lokaler Ebene ein Überblick über die ökologische Vernetzung ermöglicht wird. Zudem eignet sich der Ansatz für die Berechnung von Zukunftsszenarien, um die Auswirkung von geplanten Maßnahmen auf die ökologische Vernetzung zu testen. In Zukunft könnte die Berechnung von Szenarien in einer Webanwendung oder Software integriert werden.

Großräumig eignen sich die Bedingungen für das ökologische Kontinuum in den Alpen besser als im Mittelland und in den größeren inneralpinen Tälern. Trotz der großen räumlichen Unterschiede (Abb. 10), bieten wir einen Rahmen, in dem sich die Kantone durch realistische Maßnahmen, die ihrem aktuellen Zustand entsprechen, zu Zielen verpflichten können. Die durchgeführten Analysen bieten eine Grundlage für die gemeinsame und differenzierte Zusammenarbeit zum Schutz unseres Ökosystems. Sie können zudem auch als Leitfaden für die Beteiligung nicht öffentlicher Akteure dienen. Insbesondere bei schweizweiter Umsetzung der identifizierten Strategien und Maßnahmen wäre ein großer Schritt in Richtung Sicherung der Biodiversität vollbracht und damit auch ein globaler Beitrag geleistet.

5 Methode

Die Auswahl der Indikatoren und deren Klassifizierung basiert auf Literaturrecherchen und Expertengruppen. Um die relevanten Indikatoren für den CSI zu definieren, wurde eine Literaturrecherche mit den Suchbegriffen ‘(“ecological connectivity”) AND (influenc* OR impact OR factor OR effect)’ AND ‘(“mean species abundance”) AND (influenc* OR impact OR factor OR effect)’ im ISI Web of Knowledge durchgeführt. Drei Diskussionsrunden mit Experten (Workshop I, Ökologische Infrastruktur in Bündner Pärken, Februar 2016, Zernez und im Rahmen des Interreg IV-Projekts Alpionet2030 im Oktober 2017 in Trenta (SI) und des Interreg IV B-Projekts Econnect 2008-2011) führten mitsamt der Literaturrecherche zur Auswahl der 5 Indikatoren. Insgesamt nahmen 60 Experten aus Wissenschaft, Naturschutz, Landschaftsplanung, Schutzgebietsverwaltung und öffentlicher Verwaltung an den Workshops teil. Als Referenzraster wurde für alle Indikatoren das auf die Schweizer Landesgrenze zugeschnittene digitale Höhenmodell Swisalti3D, mit einer Auflösung von 5m, verwendet.

5.1 Bodenbedeckung und Landnutzung

Biodiversität und ökologische Konnektivität werden stark von der Intensität der Landnutzung geprägt und wurden dementsprechend beurteilt (Young et al., 2005). Die Datensätze für den Indikator stammen hauptsächlich aus dem topografischen Landschaftsmodell der Schweiz TLM (Datenstand TLM: 2019/01) und kantonal verfügbare Daten zur landwirtschaftlichen Nutzung.

5.1.1 Straßen

Verwendeter Datensatz STOPO.TLM STRASSE ohne folgende Attribute Kunstbaute: Tunnel, Unterführungen, Brücken, Steg, Furt, Treppe, Autozug und Fähre. Diese Elemente wurden entfernt, weil sie den Wildwechsel ermöglichen. Der Straßen Layer wurde je nach Objektart gepuffert (Tab. 1). Den Autobahnen wurde eine 16m Pufferfläche (=Gesamtbreite von 32m) nach Richtlinien für Normalprofile (Ausgabe 2017 V1.10) des Bundesamtes für Strassen ASTRA addiert. Die 16m beinhalten neben Fahrstreifen auch Pannen-, Mittelstreifen und Bankett.

Nur Straßen mit einer Breite von mehr als 5m wurden für den Landnutzungsindikator rasterisiert (ArcMap v10.7.1 Polygon to Raster Tool mit cell assignment type CELL CENTER und Snap Raster to Swisalti3D 5m).

5.1.2 Eisenbahnen

Verwendeter Datensatz STOPO.TLM EISENBAHN ohne folgende Attribute Kunstbaute: Tunnel, Unterführungen, und Brücken. Diese Elemente wurden entfernt, weil sie den Wildwechsel ermöglichen. Nach Bundesamt für Verkehr (Ausführungsbestimmungen zur EBV, Stand

Tabelle 1: Pufferbreite nach Objektart des Strassenlayers aus dem topografischen Landschaftsmodell der Schweiz TLM.

Objektart	Puffer in Meter
4m Strasse	2
3m Strasse	1.5
2m Weg	1
2m Wegfragment	1
1m Wegfragment	0.5
1m Weg	0.5
Markierte Spur	0.5
Klettersteig	0.5
Autobahn	16
Autostrasse	16
8m Strasse	4
10m Strasse	5
6m Strasse	3
Alle anderen	3

01.07.2016) ist für die Breite des Lichtraumprofils (=der für die Durchfahrt von Fahrzeugen und für weitere bahnbetriebliche Zwecke freizuhaltenden Raum) bei Normalspur eine Breite von 5 Metern vorgesehen. Nach verschiedenen Stichprobenmessungen auf Normal- und Schmalspur haben wir uns für einen einheitlichen Puffer von 2.6 Meter entschieden. Der Eisenbahnlayer wurden für den Landnutzungsindikator rasterisiert (ArcMap v10.7.1 Polygon to Raster Tool with cell assignment type CELL CENTER and Snap Raster to Swissalti3D 5m).

5.1.3 Trockenmauern, Baum- und Gebüschreihen

Die Trockenmauern sind eine Speziallieferung (TLM-Produktion) der Swisstopo mit Stand 2017: Trockensteinmauer der Landeskarte 1:25'000. Beide Datensätze wurden für den Landnutzungsindikator rasterisiert (ArcMap v10.7.1 Feature to Raster and Snap Raster to Swissalti3D 5m). Unabhängig von der Größe der Trockenmauern oder Baum- und Gebüschreihen wurde jedes Pixel, welches eine solche lineare Struktur beinhaltet auch als solche klassifiziert. Grund für diese Großzügigkeit ist das gewollte Hervorheben des ökologischen Wertes von Trockenmauern und Baum- und Gebüschreihen.

5.1.4 Bodenbedeckung

Auch folgende Layer aus dem topografischen Landschaftsmodell der Schweiz TLM (Datenstand TLM: 2019/01) wurden verwendet und mit folgender Reihenfolge zusammengeführt (Siedlung als unterster Layer usw.):

- STOPO.TLM SIEDLUNGSNAME mit Attribut Objektart Ort
- STOPO.TLM BODENBEDECKUNG
- STOPO.TLM NUTZUNGSAREAL
- STOPO.TLM FREIZEITAREAL
- STOPO.TLM STAUBAUTE
- STOPO.TLM VERKEHRSAREAL

Die Siedlungen wurden als unterster Layer verwendet, weil sie zum Teil sehr großzügig im ländlichen Raum, auf Kosten von anderen Bodenbedeckungsklassen, im TLM dargestellt werden.

5.1.5 Landwirtschaftliche Nutzflächen

Landwirtschaftliche Nutzflächen und Sömmerungsgebiete wurden via <https://geodienste.ch/> auf kantonaler Ebene im minimalen Geodatenmodell (MGDM) bezogen. Die Daten einiger Kantone mussten separat beschafft werden. Fehlende Grasflächen im Schweizerischen Nationalpark, welche nicht durch den TLM Datensatz und landwirtschaftliche Nutzfläche abgedeckt sind, und Grasflächen in der Val Trupchun, welche als Sömmerungsgebiete in den kantonalen Daten erscheinen, wurde die Klasse SNP-Weiden zugewiesen. Die sich ergebenden Raster (Trockenmauern, Baum- und Gebüschreihen, Strassen, Eisenbahnen, Bodenbedeckung und landwirtschaftliche Nutzflächen) wurden im Bodenbedeckungs- und Landnutzungsdatensatz zusammengeführt. Dabei wurden die Raster wie folgt priorisiert: 1. Trockenmauern, 2. Baum- und Gebüschreihen, 3. Strassen, 4. Eisenbahnen, 5. Bodenbedeckung und 6. landwirtschaftliche Nutzflächen): Pixeln, welche in mehreren Datensätzen vorkommen, wurde jeweils die Klasse des wichtigeren Layers zugeordnet.

5.1.6 Lückenhafte Werte

Flächen, wie zum Beispiel einige Alpweiden und Gewächshäuser im Wallis, werden durch die vorhandenen Datensätze nicht abgedeckt. Lückenhafte Datensätze in den Sömmerungsgebieten sind im südlichen Teil des Kantons St.Gallen, in Zentralschweizer Kantonen, Kanton Wallis und im Kanton Graubünden sichtbar (Abb. 12). Über die ganze Schweiz betragen die lückenhaften Flächen 6.9 %. Ein wesentlicher Teil der fehlenden Daten in den landwirtschaftlichen Nutzflächen und Sömmerungsgebieten fallen auf den Kanton Tessin und einen Teil des Kantons Luzern. Landwirtschaftliche Nutzflächen fehlen in den folgenden Gemeinden des Kantons Luzern: Escholz matt-Marbach, Flühli, Entlebuch, Romoos, Wolhusen, Doppleschwand, Ruswil, Grosswangen, Buttisholz, Luthern, Willisau, Ufhusen, Zell, Gettnau, Altishofen, Schötz,

Grossdietwil, Roggliswil, Pfaffnau, Reiden und Dagmersellen. Eine größere Datenlücke ist die Magadinoebene im Tessin, da keine Daten vom Kanton Tessin

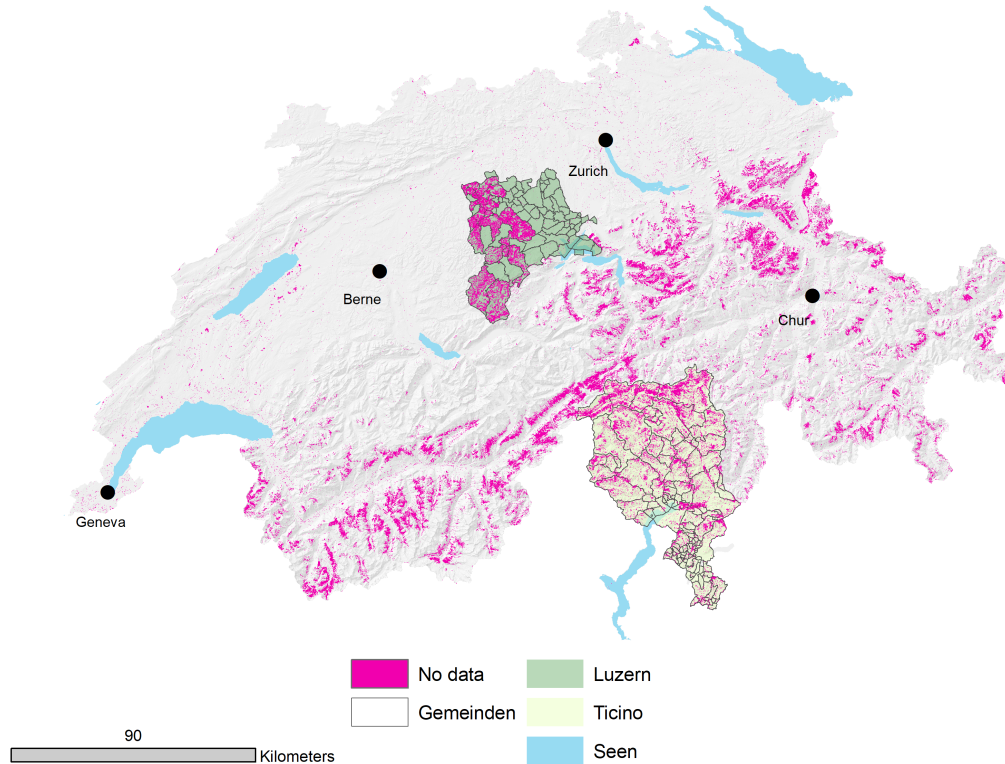


Abbildung 12: Fehlende Flächen welche durch die TLM Datensätze und landwirtschaftlichen Datensätze der Kantone nicht abgedeckt werden.

Zum Abdecken dieser fehlenden Daten wurde ein fusioniertes Produkt aus dem Swissimage 2016 (Aufnahmejahre 2014, 2015 und 2016) auf 5 m resampled (ArcMap *v10.7.1* Resampling Technique bilinear und Snap Raster to Swissalti3D 5m) und der Arealstatistik erstellt. Aus dem Swissimage 2016 Datensatz soll die Flächenstruktur, hauptsächlich der landwirtschaftlichen Nutzflächen, extrapoliert werden. Dazu wurde das Swissimage mit 5m Auflösung auf die lückenhaften Flächen zugeschnitten und automatisch in 5 Clustern klassifiziert (ArcMap *v10.7.1* ISO Cluster Unsupervised Classification, default options with 5 Clusters). Weiters wurde zweimal ein Majority-Filter angewandt, um Randeffekte, Lücken und Rausch zu minimieren (ArcMap *v10.7.1* Focal Statistics mit Majority und Window size 3x3, einmal ohne Ignorierung von NA Werten und einmal mit). Der so erhaltene Datensatz bildet die vorhandene Struktur in den Landwirtschaftsflächen gut ab. Dieser Rasterdatensatz wurde anschließend zu einem Polygon umgewandelt (ArcMap *v10.7.1* Raster to Polygon). Alle kleineren Polygone ($<225 \text{ m}^2$, 8 Pixel oder weniger) wurden entfernt. Um jedem Polygon eine Nutzung zuzuordnen, wurde der Arealstatistikdatensatz verwendet (ArcMap *v10.7.1* Zonal Statistics Majority). Es wurde dafür

ein Komposit zwischen der neuesten Arealstatistik 2013/18 und der von 1992/97 erstellt, da die neueste Arealstatistik die Ostschweiz noch nicht abdeckt.

Der so erhaltene Rasterdatensatz durch die Zonenstatistik wurde mit dem lückenhaften Bodenbedeckungs- und Landnutzungsdatensatz kombiniert. Um die immer noch vorhandenen Lücken, welche durch das Ausscheiden der kleineren Polygone verursacht wurden, zu beseitigen, wurden die fehlenden Werte mit dem am häufigsten vorkommenden Wert in ihrer Nachbarschaft ersetzt (ArcMap v10.7.1 zweimal Shrink mit Number of cells 2).

5.1.7 Klassifikationsschema

Das Klassifikationsschema der verschiedenen Bodenbedeckungs- und Landnutzungsklassen wurden in einem dreistufigen Verfahren entwickelt. Zunächst wurden alle Klassen im Hinblick auf ihren ökologischen Wert unterteilt. Zu diesem Zweck wurden die Werte des Mean Species Abundance Index (ten Brink et al., 2007) für die verschiedenen Klassen verwendet und an die regionalen Gegebenheiten angepasst. Durch die Durchführung mehrerer Workshops wurde zu den Klassen Expertenwissen einbezogen. Die Zusammenstellung der verschiedenen Quellen ergab folgende Werte für die einzelnen Bodenbedeckungs- und Landnutzungsklassen (Tab. 2):

Tabelle 2: Objektarten der TLM und kantonalen Datensätze sowie der Arealstatistik mit der dazugehörigen Klassifikation für Indikator Bodenbedeckung und Landnutzung.

Bodenbedeckung und Landnutzung Klassen	Indikatorwert
Feuchtgebiete	10
Fliessgewässer	9
Streueflächen in der LN	9
Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Krautsaum)	9
Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Pufferstreifen)	9
Hecken-, Feld- und Ufergehölze (mit Pufferstreifen) (regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche)	9
Wassergräben, Tümpel, Teiche	9
Trockenmauern	9
Gebüschwald	8
Stehende Gewässer	8
Wald offen	8
Extensiv genutzte Wiesen (ohne Weiden)	8
Wenig intensiv genutzte Wiesen (ohne Weiden)	8
Extensiv genutzte Weiden	8
Waldweiden (ohne bewaldete Fläche)	8
Heuwiesen im Sömmerungsgebiet, Typ extensiv genutzte Wiese	8

Heuwiesen im Sömmerungsgebiet, Typ wenig intensiv genutzte Wiese	8
Waldweiden (ohne bewaldete Fläche)	8
Uferwiesen entlang von Fliessgewässern (ohne Weiden)	8
Regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche (Weide)	8
Regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche (Grünflächen ohne Weiden)	8
Gepflegte Selven (Kastanienbäume)	8
Feldgehölze, Hecken	8
Übrige unproduktive Flächen (z.B. gemulchte Flächen, stark unkrautete Flächen, Hecken ohne Pufferstreifen)	8
Nussbäume (Punkte oder Flächen)	8
Kastanienbäume in gepflegten Selven (Punkte oder Flächen)	8
Einheimische standortgerechte Einzelbäume und Alleen (Punkte oder Flächen)	8
Gebüsch und Bäume	8
Gebüsch, Strauchvegetation	8
SNP Weiden	8
Verbuschte Wiesen und Heimweiden	8
Günstige Alp- und Juraweiden	8
Verbuschte Alp- und Juraweiden	8
Versteinte Alp- und Juraweiden	8
Aufgelöster Wald (auf Landwirtschaftsflächen)	8
Aufgelöster Wald (auf unproduktiven Flächen)	8
Baumgruppen (auf Landwirtschaftsflächen)	8
Baumgruppen (auf unproduktiven Flächen)	8
Unproduktive Gras- und Krautvegetation	8
Regionsspezifische Biodiversitätsförderflächen	7
Hochstamm-Feldobstbäume (Punkte oder Flächen)	7
Sömmerungsweiden (Sömmerungsgebiet)	7
Artenreiche Grün- und Streueflächen im Sömmerungsgebiet (Sömmerungsgebiet)	7
Heuwiesen mit Zufütterung während der Sömmerung (Sömmerungsgebiet)	7
Streueflächen im Sömmerungsgebiet (Sömmerungsgebiet)	7
Sömmerungsweiden, Schafe (Sömmerungsgebiet)	7
Schafalpen	7

Sömmerungsweiden gemischt (Sömmerungsgebiet)	7
Sömmerungsweiden, übrige Tiere (Sömmerungsgebiet)	7
Übrige Sömmerungsgebiete	7
Alpwiesen	7
Waldschäden	7
Lawinen- und Steinschlagverbauungen	7
Fels	6
Gletscher	6
Wald	6
Normalwald	6
Schmaler Wald	6
Ackerschonstreifen	6
Buntbrache	6
Rotationsbrache	6
Saum auf Ackerfläche	6
Heimweiden	6
Heuwiesen im Sömmerungsgebiet, Übrige Wiesen	6
Übrige Dauerweiden, beitragsberechtigt aggregiert	6
Übrige Grünfläche (Dauergrünfläche), beitragsberechtigt	6
Übrige Flächen mit Dauerkulturen, beitragsberechtigt	6
Übrige Flächen innerhalb der LN, beitragsberechtigt	6
Ruderalflächen, Steinhaufen und -wälle	6
Naturwiesen	6
Reben (regionsspezifische Biodiversitätsförderflächen)	5
Übrige Kunstwiese, beitragsberechtigt (z.B. Schweineweide, Geflügel-weide)	5
Übrige Dauerwiesen (ohne Weiden)	5
Weiden (Heimweiden, übrige Weiden ohne Sömmerungsweiden)	5
Übrige Grünfläche (Dauergrünflächen), nicht beitragsberechtigt	5
Rebflächen mit natürlicher Artenvielfalt	5
Übrige Flächen innerhalb der LN, nicht beitragsberechtigt	5
Übrige Flächen ausserhalb der LN und SF	5
Aufforstungen	5
Holzschläge	5
Lockergestein	4
Öffentliches Parkareal	4
Reben	4

Wald nicht bestockt	4
Unbekannte landwirtschaftliche Nutzung	4
Übrige Landwirtschaftliche Nutzfläche	4
Sommergerste	4
Wintergerste	4
Hafer	4
Triticale	4
Mischel Futtergetreide	4
Futterweizen gemäss Sortenliste swiss granum	4
Körnermais	4
Reis	4
Emmer, Einkorn	4
Sommerweizen (ohne Futterweizen der Sortenliste swiss granum)	4
Winterweizen (ohne Futterweizen der Sortenliste swiss granum)	4
Roggen	4
Mischel Brotgetreide	4
Dinkel	4
Saatmais (Vertragsanbau)	4
Silo- und Grünmais	4
Zuckerrüben	4
Futterrüben	4
Kartoffeln	4
Pflanzkartoffeln (Vertragsanbau)	4
Sommerraps zur Speiseölgewinnung	4
Winterraps zur Speiseölgewinnung	4
Soja	4
Sonnenblumen zur Speiseölgewinnung	4
Lein	4
Hanf	4
Ackerbohnen zu Futterzwecken	4
Eiweisserbsen zu Futterzwecken	4
Lupinen zu Futterzwecken	4
Ölkürbisse	4
Tabak	4
Hirse	4
Getreide siliert	4
Leindotter	4

Einjährige Freilandgemüse, ohne Konservengemüse	4
Freiland-Konservengemüse	4
Wurzeln der Treibzichorie	4
Buchweizen	4
Sorghum	4
Einjährige Beeren (z. B. Erdbeeren)	4
Einjährige nachwachsende Rohstoffe (Kenaf, usw.)	4
Einjährige Gewürz- und Medizinalpflanzen	4
Einjährige gärtnerische Freilandkulturen (Blumen, Rollrasen usw.)	4
Mohn	4
Saflor	4
Linsen	4
Mischungen von Ackerbohnen, Eiweisserbsen und Lupinen zu Futterzwecken mit Getreide, mindestens 30% Anteil Leguminosen bei der Ernte	4
Blühstreifen für Bestäuber und andere Nützlinge	4
Senf	4
Quinoa	4
Sommerraps als nachwachsender Rohstoff	4
Winterraps als nachwachsender Rohstoff	4
Sonnenblumen als nachwachsender Rohstoff	4
Offene Ackerfläche, beitragsberechtigt (regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche)	4
Übrige offene Ackerfläche, nicht beitragsberechtigt (regionsspezifische Biodiversitätsförderfläche)	4
Übrige offene Ackerfläche, beitragsberechtigt	4
Übrige offene Ackerfläche, nicht beitragsberechtigt	4
Kunstwiesen (ohne Weiden)	4
Futterleguminosen für die Samenproduktion (Vertragsanbau)	4
Futtergräser für die Samenproduktion (Vertragsanbau)	4
Rebbauf Flächen	4
Maulbeerbaumanlagen (Fütterung Seidenraupen)	4
Mehrjährige gärtnerische Freilandkulturen (nicht im Gewächshaus)	4
Baumschulen von Reben	4
Übrige Flächen mit Dauerkulturen, nicht beitragsberechtigt	4
Unbefestigte, natürliche Wege	4

Golfplatzareal	4
Golfplätze	4
Umschwung von Ein- und Zweifamilienhäusern	4
Umschwung von öffentlichen Gebäuden	4
Ackerland allgemein	4
Landschaftseingriffe	4
Obstanlage	3
Obstanlagen (Äpfel)	3
Obstanlagen (Birnen)	3
Obstanlagen (Steinobst)	3
Obstanlagen aggregiert	3
Andere Obstanlagen (Kiwi, Holunder usw.)	3
Truppenübungsplatz	3
Mehrjährige Beeren	3
Mehrjährige Gewürz- und Medizinalpflanzen	3
Mehrjährige nachwachsende Rohstoffe (Chinaschilf, usw.)	3
Hopfen	3
Rhabarber	3
Spargel	3
Ziersträucher, Ziergehölze und Zierstauden	3
Trüffelanlagen	3
Feldobst	3
Umschwung von Mehrfamilienhäusern	3
Graspisten, Flugplatzgrün	2
Baumschule	2
Kiesabbauareal	2
Abbau	2
Schrebergartenareal	2
Steinbruchareal	2
Christbäume	2
Baumschule von Forstpflanzen außerhalb der Forstzone	2
Übrige Baumschulen (Rosen, Früchte, usw.)	2
Flächen ohne landwirtschaftliche Hauptzweckbestimmung (erschlossenes Bauland, Spiel-, Reit-, Camping-, Golf-, Flug- und Militärplätze oder ausgemachte Bereiche von Eisenbahnen, öffentlichen Strassen und Gewässern)	2
Hausgärten	2

Campingplatzareal	2
Campingplätze	2
Freizeitanlagenareal	2
Alpine Sportinfrastruktur	2
Bahngrün	2
Strassengrün	2
Umschwung von Industrie- und Gewerbegebäuden	2
Umschwung von nicht spezifizierten Gebäuden	2
Bau- und Siedlungsbrachen	2
Gartenbauflächen	2
Hochwasserverbauungen	1
Wasserbecken	1
Flugplatzareal	1
Flugfeldareal	1
Friedhof	1
Friedhöfe	1
Gemüsekulturen in Gewächshäusern mit festem Fundament	1
Übrige Spezialkulturen in Gewächshäusern mit festem Fundament	1
Gärtnerische Kulturen in Gewächshäusern mit festem Fundament	1
Gemüsekulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament	1
Übrige Spezialkulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament	1
Gärtnerische Kulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament	1
Übrige Kulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament, beitragsberechtigt	1
Übrige Kulturen in geschütztem Anbau mit festem Fundament	1
Übrige Kulturen in geschütztem Anbau ohne festes Fundament, nicht beitragsberechtigt	1
Landwirtschaftliche Produktion in Gebäuden (z. B. Champignon, Brüsseler)	1
Pferderennbahnareal	1
Gleis	1
Bahnareal	1
Autobahngrün	1
10 m Strasse	1
6 m Strasse	1

Strassen, Wege	1
8 m Strasse	1
Staumauer	0
Flughafenareal	0
Heliport	0
Parkplatzareal	0
Rastplatzareal	0
Privates Fahrareal	0
Verkehrsfläche	0
Siedlung	0
Ein- und Zweifamilienhäuser	0
Reihen- und Terrassenhäuser	0
Mehrfamilienhäuser	0
Öffentliche Gebäude	0
Landwirtschaftliche Gebäude	0
Nicht spezifizierte Gebäude	0
Abwasserreinigungsareal	0
Antennenareal	0
Deponierareal	0
Kraftwerkareal	0
Energieversorgungsanlagen	0
Historisches Areal	0
Kehrrichtverbrennungsareal, übrige Ver- und Entsorgungsanlagen	0
Klosterareal	0
Massnahmenvollzugsanstaltsareal	0
Messeareal	0
Schul- und Hochschulareal	0
Spitalareal	0
Unterwerkareal	0
Schwimmbadareal	0
Sportplatzareal	0
Sportanlagen	0
Standplatzareal	0
Zooareal	0
Ausfahrt	0
Einfahrt	0
Autobahn	0

Autobahnen	0
Raststätte	0
Verbindung	0
Zufahrt	0
Dienstzufahrt	0
Platz	0
Autostrasse	0
Industrie- und Gewerbegebäude	0
Umschwung von Reihen- und Terrassenhäusern	0
Umschwung von landwirtschaftlichen Gebäuden	0
Baustellen	0

5.2 Bevölkerung

Der Indikator definiert den allgemeinen Druck, welcher durch anthropogene Aktivität und Tourismus verursacht wird. Die touristische Aktivität wurde mittels der jährlichen Logiernächte pro Gemeinde (HESTA 2019) berechnet. Die Bevölkerungszahlen wurden vom STATPOP Datensatz (2018/12: Daten pro 100m - Anzahl wohnhafte Bevölkerung) entnommen. Die jährlichen Logiernächte pro Gemeinde wurden durch die Fläche in Hektar der kommunalen Siedlungsgebiete und Anzahl Tage (365) dividiert. Die so berechnete tägliche Dichte pro Gemeinde wurden zu den punktuellen STATPOP Daten zweifach summiert. Damit werden die Übernachtungen pro Hektar gleichmäßig über die ganze Siedlungsfläche in einer Gemeinde verteilt. Zweifach, weil angenommen wurde, dass Touristen im Verhältnis zu Einheimischen eine höhere Freizeitaktivität auf die Landschaft ausüben. Anschliessend wurde das summierte Punktegitter (Bevölkerungs- und Übernachtungsdichte) rasterisiert (ArcMap v10.7.1 IDW mit search radius 100m und Snap Raster to Swisalti3D 5m, jedes Hektar der Bevölkerungsdichte wird durch die Koordinaten seines südwestlichen Eckpunkts identifiziert, deshalb shift in X und Y Richtung von 50 m). Da sich die menschliche Aktivität nicht nur auf das Siedlungsgebiet begrenzt, wurde auch die Kerndichte des Punktegitters mit einem Radius von 1500m berechnet (ArcMap v10.7.1 Kernel Density Output cell size 5m, Area units hectares). Für jedes Pixel wurde der Maximalwert zwischen den beiden Rastern (Bevölkerungs- und Übernachtungsdichte und Kernel density) verwendet und Indikatorwerte nach Klassifikationsschema (Tab. 3) zugeordnet.

5.3 Fragmentierung

Der Fragmentierungsindikator beschreibt den Grad der Landschaftszerschneidung durch die Infrastruktur. Um die Fragmentierung zu messen, wurde der Landscape division index (Jaeger,

Tabelle 3: Klassifikationsschema für den Bevölkerungsindikator.

Einwohner + Übernachtungen pro Hektar	Indikatorwert
≤ 2	10
2-5	9
5-9	8
9-16	7
16-26	6
26-43	5
43-67	4
67-106	3
106-172	2
172-300	1
> 300	0

2000) angewandt. Per Definition beschreibt der Index die Wahrscheinlichkeit, dass zwei zufällig ausgewählte Punkte in einem Gebiet, nach der Zerteilung des Gebietes noch in derselben Teilfläche liegen. Faunistisch interpretiert bedeutet das, dass sich zwei Tiere, die im selben Habitat vorkommen, nach der Zerteilung ihres Lebensraumes sich noch in derselben Teilfläche befinden. Anstatt den Landscape division index für administrative Grenzen zu berechnen (Bertiller et al., 2007), wurde der Index über ein regelmässiges Gitter mit einer Maschenweite von 100x100 m berechnet. Für die Berechnung der Fragmentierung in jedem Punkt des Gitters wurde die Fläche in einem Umkreis von 1000 m berücksichtigt. Der Code zur Berechnung des Index wurde in R (v3.5.3) unter der Verwendung vom Packet sf (v0.9-2) programmiert. Als Fragmentierungselemente wurden folgende Strukturen (Datenstand TLM: 2019/01) berücksichtigt und die Landscape division index Werte nach Schema (Tab. 4) klassifiziert:

- Strassen über 1 m Breite unabhängig vom Belag, Datensatz STOPO.TLM STRASSE Puffer und Attribute siehe Bodenbedeckung und Landnutzung
- Eisenbahnen, Datensatz STOPO.TLM EISENBAHN Puffer und Attribute siehe Bodenbedeckung und Landnutzung
- Siedlungen, Datensatz STOPO.TLM SIEDLUNGSNAME Attribut Objektart == Ort
- Verkehrsareale, STOPO.TLM VERKEHRSAREAL
- Staubaute, STOPO.TLM STAUBAUTE Attribut Objektart == Staumauer und Staudamm
- Druckleitungen, STOPO.TLM FLIESSGEWAESSER Objektart == einfach und mehrfach Druckleitungen und Verlauf oberirdisch mit Puffer von 3 m (nach verschiedenen Stichprobenmessungen)

Tabelle 4: Klassifikationsschema für den Fragmentierungsindikator.

Landscape division index	Indikatorwert
-0.000161 - 0.038908	10
0.038908 - 0.124859	9
0.124859 - 0.230345	8
0.230345 - 0.339737	7
0.339737 - 0.44913	6
0.44913 - 0.558523	5
0.558523 - 0.664008	4
0.664008 - 0.76168	3
0.76168 - 0.851539	2
0.851539 - 0.925769	1

5.4 Naturschutz

Schutzgebiete sind Ausdruck der ökologischen Integrität. International anerkannte Schutzgebiete sowie kleinräumig unter Schutz stehende Flächen wurden berücksichtigt. Der Schutzstatus wurde aus folgenden Datensätzen bezogen und rasterisiert (ArcMap *v10.7.1* Polygon to Raster Tool mit cell assignment type CELL CENTER und Snap Raster to *Swissalti3D 5m*):

- Alpine Auen außerhalb Bundesinventar (2019)
- Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete (2018)
- Bundesinventar der Auengebiete (2017)
- Auengebiete außerhalb Bundesinventar (2017)
- Biodiversitätsförderflächen (BFF): via geodienste.ch im minimalen Geodatenmodell (MGDM) bezogen. Die Daten einiger Kantone mussten separat beschafft werden.
- BLN / Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (2017)
- Bundesinventar der Flachmoore (2017)
- Bundesinventar der Flachmoore regional (2017)
- Bundesinventar der Hochmoore (2017)
- Bundesinventar der Jagdbanngebiete (2014)
- Moorlandschaften von nationaler Bedeutung (2018)
- Pärke von nationaler Bedeutung (2020)

- Pro Natura Schutzgebiete (enthält auch die Pro Natura Waldreservate)
- Ramsar-Gebiete (2011)
- Smaragd-Gebiete (2009)
- Bundesinventar TWW / Trockenwiesen und -weiden (2017)
- UNESCO Biosphärenreservate (2017)
- UNESCO Weltnaturerbe (2008)
- Waldreservate: via geodienste.ch im minimalen Geodatenmodell (MGDM) bezogen. Die Daten einiger Kantone mussten separat beschafft werden.
- Wasser- und Zugvogelreservate (2018)
- Wildruhezonen (2019) Bezug via Netzwerk Schweizer Pärke
- Wildtierschutzgebiete (2019)

Die Indikatorwerte wurden nach Klassifikationsschema (Tab. 5) zugeordnet.

Tabelle 5: Klassifikationsschema für den Naturschutzindikator.

Schutzstatus	Indikatorwert
Alpine Auen außerhalb Bundesinventar	7
Amphibienlaichgebiete	7
Auengebiete	7
Auengebiete außerhalb Bundesinventar	7
BLN / Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler	5
Flachmoore	7
Flachmoore regional	7
Hochmoore	10
Jagdbanngebiete	7
Wildruhezonen	7
Moorlandschaften	5
Regionale Naturpärke	5
Schweizerischer Nationalpark	10
Naturerlebnispärke	9
Pro Natura Schutzgebiete	7
Ramsar-Gebiete	7
Smaragd-Gebiete	7
TWW / Trockenwiesen und -weiden	7
UNESCO Biosphärenreservate	5
UNESCO Weltnaturerbe	5
Wasser- und Zugvogelreservate	7
Waldreservate minimale Eingriffe	7
Waldreservate gezielte Eingriffe	6
Waldreservate keine Eingriffe	8
BFF Qualität 2	7
BFF Vernetzung	7
kein Schutz	0

Tabelle 6: Klassifikationsschema für Höhenlage und Neigung.

Höhe m ü. M.	Indikatorwert	Neigung (°)	Indikatorwert
-1500	10	≤ 30	10
1500-1675	9	30-40	7
1675-1850	8	40-45	5
1850-2025	7	>45	3
2025-2200	6		
2200-2375	5		
2375-2550	4		
2550-2725	3		
2725-2900	2		
> 2900	1		

5.5 Höhenlage und Topographie

Der Indikator zeigt das Potential der ökologischen Konnektivität in tieferen Lagen, sowie den Einfluss der Topographie auf die Bewegungsfreiheit vieler Arten. Als Höhenreferenz wurde das digitale Höhenmodell Swissalti3d 5 m verwendet. Daraus wurde auch die Neigung berechnet (ArcMap v10.7.1 Slope). Der Indikator wird pro Pixel als Summe der klassifizierten Durchschnittswerte (Tab. 6) von Neigung und Höhe abgerundet auf Ganzzahl berechnet:

$$Indikator_{Hoehe,Topo} = 0.5 \times Wert_{Hoehenlage} + 0.5 \times Wert_{Neigung} \quad (5.1)$$

5.6 Ökologischer Zustand und Vernetzungsgebiete

Basierend auf den CSI wurden C1 ökologisch wertvolle Gebiete ($CSI \geq 8$) und C3 ökologisch verarmte Gebiete ($CSI \leq 5$) identifiziert. C1- und C3- Gebiete wurden in Polygone umgewandelt (ArcMap v10.7.1 Raster to Polygon) und mussten eine Mindestgrösse von $2500m^2$ aufweisen, um als solche definiert zu werden. Weiters wurden kleine Polygonteile ($< 30m^2$) auch innerhalb entfernt. (ArcMap v10.7.1 Eliminate Polygon Part, Unchecked - Any parts can be eliminated). Sehr kleine Flächen wurden wegen ihrer ökologischen Geringfügigkeit entfernt.

In einem zweiten Schritt wurden Vernetzungsgebiete C2 identifiziert. Zu diesem Zweck wurden der Stromfluss mit dem Programm Circuitscape, welches auf die Theorie der elektrischen Schaltkreise basiert (McRae and Beier, 2007; McRae et al., 2008), simuliert. Für alle Simulationen wurde die in Julia programmierte Version 1.0 von Circuitscape verwendet (Anantharaman et al., 2019). Alle Simulationen wurden im fortgeschrittenen Modus durchgeführt, d.h. zusätzlich zu den Stromquellen und dem Widerstandsraster wurden auch die Erdungen definiert. Diese stellen Stromsenken dar, die dazu führen, dass dem System Strom entzogen wird. Der

Schweizweite CSI wurde mit dem CSI aus dem Alpionet2030 Projekt (<https://www.jecami.eu/>) für 1 km gepuffert um Randeffekte zu vermeiden. Für den Widerstandsraster wurde der gewichtet CSI ohne Fragmentierungsindikator verwendet. Die Fragmentierung ist Untersuchungsgegenstand und Ergebnis der Modellierung. Der so erhaltene CSI wurde auf $25m$ resampled. Eine Vergrößerung des Rasters ist notwendig um das Datenvolumen und Rechenzeit einzuschränken; dies führt zu Ergebnissen, die qualitativ den hochaufgelösten Daten ähneln (McRae et al., 2008).

5.6.1 Circuitscape Inputdaten

Für rasterbasierte Circuitscape-Simulationen im fortgeschrittenen Modus werden Stromquellen-, Widerstands- und Stromsenkenraster benötigt.

- Stromquellenraster (Source file) In Übereinstimmung mit der Definition von C1 Gebieten wurde als Stromquellen alle Gebiete mit einem $CSI \geq 8$ gewählt. Alle als Stromquellen definierten Zellen erhalten den Wert 9999 und alle anderen Zellen -9999 (= NA).
- Widerstandsraster (Resistance file) Die größte Herausforderung bei der Berechnung von Widerstandsflächen ist die Zuordnung von Widerstandswerten (Spear et al., 2010). Koen et al. (2012) schlagen auf Grund ihrer Sensitivitätsanalyse vor, eine breite Palette von Werten für Widerstände zu testen. Dabei sind Widerstände mit asymptotischen Verhalten aufgrund der relativen Unempfindlichkeit gegenüber Parametrisierung zu bevorzugen (Koen et al., 2012). Daher haben wir eine Parametrisierung, die auf exponentielle Transformation der linearen Widerstände basiert, angewandt:

$$Widerstand_{lin} = 10 - CSI \quad (5.2)$$

$$Widerstand_{exp} = e^{k \times Widerstand_{lin}} \quad (5.3)$$

mit $k = \frac{\ln(scale)}{Widerstand_{lin,max}}$ wobei scale dem Maximalwert des exponentiell transformierten Widerstandes entspricht und $Widerstand_{lin,max}$ der Maximalwert der linearen Widerstandsfläche ist.

- Stromsenkenraster (Ground file) In Übereinstimmung mit der Definition von C3 Gebieten wurde als Stromsenken alle Gebiete mit einem $CSI \leq 5$ gewählt. Diesen Gebieten wurde ein Erdungswert zwischen 500 und 1000, abhängig vom Szenario zugewiesen (Tab. 7). Allen Rasterzellen, die als Stromquellen fungieren wurde der Nullwert zugeteilt. Dies

Tabelle 7: Parametrisierung für Circuitscape-Simulationen

Inputdateien	Werte	Total
Stromquellenraster	Alle Zellen mit $CSI \geq 8$	1
Widerstandsraster	100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000	10
Stromsenkenraster	500, 600, 700, 800, 900, 1000	6
		60 (1x10x6)

begünstigt den Stromfluss zwischen C1 Gebiet. Die übrigen Zellen erhielten den Wert -9999 (= NA).

5.6.2 Simulationsaufbau

Da es weder möglich ist, die Modelleingaben zu validieren noch zu kalibrieren, wurde ein Multi-Szenario-Ansatz, bestehend aus 60 Simulationen mit unterschiedlicher Parametrisierung, angewandt (Tab. 7). Die entsprechenden Eingabedateien für die 60 Simulationen und die dafür verwendeten Raster wurden mit Hilfe von R (v3.5.3) erstellt.

5.6.3 Erstellung der Vernetzungsgebiete C2

Die Ergebnisse der Circuitscape-Simulationen können nicht direkt als C2 verwendet werden, sondern müssen ausgewertet werden. In einem ersten Schritt wurde für jedes Szenario der Stromfluss analysiert und dabei alle Werte die größer als das 25. Perzentil sind, als Vernetzungsgebiete ausgeschieden. Um robuste Ergebnisse zu erhalten, wurde das 95 %-Konfidenzintervall der Vernetzungsgebiete aller 60 Szenarien verwendet. Diese Gebiete wurden als vorläufige C2 Gebiete übernommen und weiterverarbeitet:

1. Das Raster mit den Vernetzungsgebieten wurde in ein Polygon umgewandelt (ArcMap v10.7.1 Raster to Polygon und Snap Raster to Swissalti3D 5m).
2. Alle Vernetzungsgebiete, die nicht C1 Gebiete miteinander verbinden wurden gelöscht (ArcMap v10.7.1 Spatial Join und Join Count > 1).
3. In einem nächsten Schritt wurden alle C1 und C3 Gebiete von den Vernetzungsgebieten gelöscht, da ein Gebiet nur einer Kategorie zugeordnet werden kann (ArcMap v10.7.1 Erase)
4. Bereiche, in denen Interventionen sinnlos oder nur bedingt möglich sind, sowie natürliche Barrieren darstellen, wurden gelöscht. Dies sind Gebiete über 2500m ü.M. und größere Seen. Gebiete über 2500m ü.M. wurde durch das Swissalti3D 5m ausgeschieden. Für den Ausschluss größerer Seen wurden alle Seen im STOPO.TLMRegio Lake (Datenstand TLM: 2019/01) berücksichtigt.

Literatur

- Ranjan Anantharaman, Kimberly Hall, Viral Shah, and Alan Edelman. Circuitscape in Julia: high performance connectivity modelling to support conservation decisions. *arXiv preprint arXiv:1906.03542*, 2019.
- Anthony D Barnosky, Nicholas Matzke, Susumu Tomiya, Guinevere O U Wogan, Brian Swartz, Tiago B Quental, Charles Marshall, Jenny L Mcguire, Emily L Lindsey, Kaitlin C Maguire, Ben Mersey, and Elizabeth A Ferrer. Has the Earth’s sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471(7336):51—57, 2011. doi: 10.1038/nature09678.
- Ralf Bloch, Knut Ehlers, Maximilian Hofmeier, Moritz Nabel, Holger Pfeffer, Sabrina Scholz, and Jan Wittenberg. Nachhaltigkeit im Ackerbau - Eckpunkte für eine Ackerbaustrategie. 2019.
- Monika Böhm, Ben Collen, Jonathan E M Baillie, Philip Bowles, Janice Chanson, Neil Cox, Geoffrey Hammerson, Michael Hoffmann, Suzanne R Livingstone, Mala Ram, Anders G J Rhodin, Simon N Stuart, Peter Paul, Van Dijk, Bruce E Young, Leticia E Afuang, Aram Aghasyan, César Aguilar, Rastko Ajtic, Ferdi Akarsu, Laura R V Alencar, Allen Allison, Natalia Ananjeva, Steve Anderson, Claes Andrén, Daniel Ariano-sánchez, Juan Camilo, Mark Auliya, Christopher C Austin, Aziz Avci, Patrick J Baker, André F Barreto-lima, César L Barrio-amorós, Dhruvayothi Basu, Michael F Bates, Alexandre Batistella, Aaron Bauer, Daniel Bennett, Don Broadley, Rafe Brown, Joseph Burgess, Ashok Captain, Santiago Carreira, Rosario Castañeda, Fernando Castro, Alessandro Catenazzi, José R Cedeño-vázquez, G David, Marc Cheylan, Diego F Cisneros-heredia, Dan Cogalniceanu, Hal Cogger, Gabriel C Costa, Patrick J Couper, Tony Courtney, Jelka Crnobrnja-isailovic, Brian Crother, Felix Cruz, Jennifer C Daltry, R J Ranjit Daniels, Indraneil Das, De Silva, Arvin C Diesmos, Lutz Dirksen, Tiffany M Doan, C Kenneth Dodd, J Sean Doody, Michael E Dorcas, Jose Duarte, De Barros Filho, Vincent T Egan, El Hassan, El Mouden, Robert E Espinoza, Alejandro Fallabrino, Xie Feng, Zhao-jun Feng, Lee Fitzgerald, Frederico G R França, Darrell Frost, Hector Gadsden, Tony Gamble, S R Ganesh, Miguel A Garcia, Juan E García-pérez, Joey Gatus, Maren Gaulke, Philippe Geniez, Justin Gerlach, Stephen Goldberg, Juan-carlos T Gonzalez, David J Gower, Eli Greenbaum, Cristina Grieco, Peng Guo, Alison M Hamilton, Kelly Hare, S Blair, Neil Heideman, Craig Hilton-taylor, Rod Hitchmough, Bradford Hollingsworth De, Ivan Ineich, John Iverson, Fabian M Jaksic, Richard Jenkins, Ulrich Joger, J Scott Keogh, Gunther Köhler, Gerald Kuchling, Yakup Kaska, Axel Kwet, Enrique La, William Lamar, Amanda Lane, Bjorn Lardner, Gabrielle Latta, Michael Lau, Pablo Lavin, Dwight Lawson, Matthew Lebreton, Duncan Limpus, Nicola Lipczynski, Aaron S Lobo, Marco A López-luna, Luca Luiselli, Vimoksalehi Lukoschek, Mikael Lundberg, Petros Lymberakis, Robert

Macey, E William, D Luke Mahler, Anita Malhotra, Jean Mariaux, Bryan Maritz, Otavio A V Marques, Rafael Márquez, Marcio Martins, Gavin Masterson, José A Mateo, Rosamma Mathew, Gregory Mayer, James R Mccranie, G John Measey, Fernando Mendoza-quijano, Michele Menegon, Sébastien Métrailler, David A Milton, Chad Montgomery, Sérgio A A Morato, Tami Mott, Antonio Muñoz-alonso, John Murphy, Truong Q Nguyen, Göran Nilson, Herman Núñez, Nikolai Orlov, Hidetoshi Ota, José Ottenwalder, Theodore Papenfuss, Stesha Pasachnik, Paulo Passos, Olivier S G Pauwels, Néstor Pérez-buitrago, Valentín Pérez, Eric R Pianka, Juan Pleguezuelos, Caroline Pollock, Paulino Ponce-campos, Fabio Pupin, Gustavo E Quintero, Raju Radder, Jan Ramer, Arne R Rasmussen, Chris Raxworthy, Robert Reynolds, Nadia Richman, Edmund L Rico, Elisa Riservato, Gilson Rivas, L B Pedro, Mark-oliver Rödel, Lourdes Rodríguez, Willem M Roosenburg, James P Ross, Riyad Sadek, Kate Sanders, Georgina Santos-barrera, Hermann H Schleich, Benedikt R Schmidt, Andreas Schmitz, Mozafar Sharifi, Glenn Shea, Hai-tao Shi, Roberto Sindaco, Tahar Slimani, Ruchira Somaweera, Steve Spawls, Peter Stafford, Sam Sweet, Emerson Sy, Helen J Temple, Marcelo F Tognelli, Krystal Tolley, J Peter, Boris Tuniyev, Sako Tuniyev, Nazan Üzümlü, Gerard Van Buurt, Monique Van Sluys, Sabine Vinke, Thomas Vinke, Gernot Vogel, Alvaro Velasco, Miguel Vences, Milan Vesely, Richard C Vogt, Oliver R Wearn, Yehudah L Werner, Martin J Whiting, John Wilkinson, Byron Wilson, Sally Wren, Tara Zamin, Kaiya Zhou, and George Zug. The conservation status of the world ' s reptiles. *Biological Conservation*, 157:372–385, 2013. doi: 10.1016/j.biocon.2012.07.015.

Gerardo Ceballos, Paul R Ehrlich, and Rodolfo Dirzo. Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30):E6089—E6096, 2017.

Laura De Baan, Rob Alkemade, and Thomas Koellner. Land use impacts on biodiversity in LCA: A global approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 18(6):1216–1230, 2013. ISSN 09483349. doi: 10.1007/s11367-012-0412-0.

Sandra Díaz, Joseph Fargione, F. Stuart Chapin, and David Tilman. Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology*, 4(8):1300–1305, 2006. ISSN 15457885. doi: 10.1371/journal.pbio.0040277.

Eric Dinerstein, David Olson, Anup Joshi, Carly Vynne, Neil D. Burgess, Eric Wikramanayake, Nathan Hahn, Suzanne Palminteri, Prashant Hedao, Reed Noss, Matt Hansen, Harvey Locke, Erle C. Ellis, Benjamin Jones, Charles Victor Barber, Randy Hayes, Cyril Kormos, Vance Martin, Eileen Crist, Wes Sechrest, Lori Price, Jonathan E.M. Baillie, Don Weeden, Kierán Suckling, Crystal Davis, Nigel Sizer, Rebecca Moore, David Thau, Tanya Birch, Peter Potapov, Svetlana Turubanova, Alexandra Tyukavina, Nadia De Souza, Lilian Pintea, José Carlos Brito, Othman A. Llewellyn, Anthony G. Miller, Annette Patzelt, Shahina A.

- Ghazanfar, Jonathan Timberlake, Heinz Klöser, Yara Shennan-Farpón, Roeland Kindt, Jens Peter Barnekow Lillesø, Paulo Van Breugel, Lars Graudal, Maianna Voge, Khalaf F. Al-Shammari, and Muhammad Saleem. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. *BioScience*, 67(6):534–545, 2017. ISSN 15253244. doi: 10.1093/biosci/bix014.
- James A Estes, John Terborgh, Justin S Brashares, Mary E Power, Joel Berger, William J Bond, Stephen R Carpenter, Timothy E Essington, Robert D Holt, Jeremy B C Jackson, Robert J Marquis, Lauri Oksanen, Tarja Oksanen, Robert T Paine, Ellen K Pikitch, William J Ripple, Stuart A Sandin, Marten Scheffer, Thomas W Schoener, Jonathan B Shurin, Anthony R E Sinclair, and Michael E Soulé. Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science*, 333(July): 301–307, 2011.
- Lenore Fahrig. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34:487–515, 2003. ISSN 00664162. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.
- Jonathan A. Foley, Ruth DeFries, Gregory P. Asner, Carol Barford, Gordon Bonan, Stephen R. Carpenter, F. Stuart Chapin, Michael T. Coe, Gretchen C. Daily, Holly K. Gibbs, Joseph H. Helkowski, Tracey Holloway, Erica A. Howard, Christopher J. Kucharik, Chad Monfreda, Jonathan A. Patz, I. Colin Prentice, Navin Ramankutty, and Peter K. Snyder. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734):570–574, 2005. ISSN 00368075. doi: 10.1126/science.1111772.
- Richard TT Forman. Some general principles of landscape and regional ecology. *Landscape Ecology*, 10(3):133–142, 1995.
- Richard Frankham. La relacion entre la variacion genetica y el tamano poblacional en vida silvestre. *Conservation Biology*, 10(6):1500–1508, dec 1996. ISSN 08888892. doi: 10.1046/j.1523-1739.1996.10061500.x.
- Nicolas Gattlen, Gregor Klaus, and Glenn Litsios. Biodiversität in der Schweiz : Zustand und Entwicklung. *Bafu*, 2017.
- Erik Gómez-Baggethun, Rudolf De Groot, Pedro L Lomas, and Carlos Montes. The history of ecosystem services in economic theory and practice: from early notions to markets and payment schemes. *Ecological economics*, 69(6):1209–1218, 2010.
- Klaus Gregor. Boden in der Schweiz. *Bafu*, 2017.
- Nick M. Haddad, Lars A. Brudvig, Jean Clobert, Kendi F. Davies, Andrew Gonzalez, Robert D. Holt, Thomas E. Lovejoy, Joseph O. Sexton, Mike P. Austin, Cathy D. Collins, William M.

Cook, Ellen I. Damschen, Robert M. Ewers, Bryan L. Foster, Clinton N. Jenkins, Andrew J. King, William F. Laurance, Douglas J. Levey, Chris R. Margules, Brett A. Melbourne, A. O. Nicholls, John L. Orrock, Dan Xia Song, and John R. Townshend. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, 1(2):1–10, 2015. ISSN 23752548. doi: 10.1126/sciadv.1500052.

Kendall R. Jones, Oscar Venter, Richard A. Fuller, James R. Allan, Sean L. Maxwell, Pablo Jose Negret, and James E.M. Watson. One-third of global protected land is under intense human pressure. *Science*, 360(6390):788–791, 2018. ISSN 10959203. doi: 10.1126/science.aap9565.

Erin L. Koen, Jeff Bowman, and Aaron A. Walpole. The effect of cost surface parameterization on landscape resistance estimates. *Molecular Ecology Resources*, 12(4):686–696, 2012. ISSN 1755098X. doi: 10.1111/j.1755-0998.2012.03123.x.

William F. Laurance, D. Carolina Useche, Julio Rendeiro, Margareta Kalka, Corey J.A. Bradshaw, Sean P. Sloan, Susan G. Laurance, Mason Campbell, Kate Abernethy, Patricia Alvarez, Victor Arroyo-Rodriguez, Peter Ashton, Julieta Benítez-Malvido, Allard Blom, Kadiri S. Bobo, Charles H. Cannon, Min Cao, Richard Carroll, Colin Chapman, Rosamond Coates, Marina Cords, Finn Danielsen, Bart De Dijn, Eric Dinerstein, Maureen A. Donnelly, David Edwards, Felicity Edwards, Nina Farwig, Peter Fashing, Pierre Michel Forget, Mercedes Foster, George Gale, David Harris, Rhett Harrison, John Hart, Sarah Karpanty, W. John Kress, Jagdish Krishnaswamy, Willis Logsdon, Jon Lovett, William Magnusson, Fiona Maisels, Andrew R. Marshall, Deedra McClearn, Divya Mudappa, Martin R. Nielsen, Richard Pearson, Nigel Pitman, Jan Van Der Ploeg, Andrew Plumptre, John Poulsen, Mauricio Quesada, Hugo Rainey, Douglas Robinson, Christiane Roetgers, Francesco Rovero, Frederick Scatena, Christian Schulze, Douglas Sheil, Thomas Struhsaker, John Terborgh, Duncan Thomas, Robert Timm, J. Nicolas Urbina-Cardona, Karthikeyan Vasudevan, S. Joseph Wright, Juan Carlos Arias-G., Luzmila Arroyo, Mark Ashton, Philippe Auzel, Dennis Babaasa, Fred Babweteera, Patrick Baker, Olaf Banki, Margot Bass, Inogwabini Bila-Isia, Stephen Blake, Warren Brockelman, Nicholas Brokaw, Carsten A. Brühl, Sarayudh Bunyavejchewin, Jung Tai Chao, Jerome Chave, Ravi Chellam, Connie J. Clark, José Clavijo, Robert Congdon, Richard Corlett, H. S. Dattaraja, Chittaranjan Dave, Glyn Davies, Beatriz De Mello Beisiegel, Rosa De Nazaré Paes Da Silva, Anthony Di Fiore, Arvin Diesmos, Rodolfo Dirzo, Diane Doran-Sheehy, Mitchell Eaton, Louise Emmons, Alejandro Estrada, Corneille Ewango, Linda Fedigan, François Feer, Barbara Fruth, Jacalyn Giacalone Willis, Uromi Goodale, Steven Goodman, Juan C. Guix, Paul Guthiga, William Haber, Keith Hamer, Ilka Herbing, Jane Hill, Zhongliang Huang, I. Fang Sun, Kalan Ickes, Akira Itoh, Natália Ivanauskas, Betsy Jackes, John Janovec, Daniel Janzen, Mo Jiangming, Chen Jin, Trevor Jones, Hermes Justi-

niano, Elisabeth Kalko, Aventino Kasangaki, Timothy Killeen, Hen Biau King, Erik Klop, Cheryl Knott, Inza Koné, Enoke Kudavidanage, José Lahoz Da Silva Ribeiro, John Lattke, Richard Laval, Robert Lawton, Miguel Leal, Mark Leighton, Miguel Lentino, Cristiane Leonel, Jeremy Lindsell, Lee Ling-Ling, K. Eduard Linsenmair, Elizabeth Losos, Ariel Lugo, Jeremiah Lwanga, Andrew L. MacK, Marlucia Martins, W. Scott McGraw, Roan McNab, Luciano Montag, Jo Myers Thompson, Jacob Nabe-Nielsen, Michiko Nakagawa, Sanjay Nepal, Marilyn Norconk, Vojtech Novotny, Sean O'Donnell, Muse Opiang, Paul Ouboter, Kenneth Parker, N. Parthasarathy, Kátia Pisciotto, Dewi Prawiradilaga, Catherine Pringle, Subaraj Rajathurai, Ulrich Reichard, Gay Reinartz, Katherine Renton, Glen Reynolds, Vernon Reynolds, Erin Riley, Mark Oliver Rödel, Jessica Rothman, Philip Round, Shoko Sakai, Tania Sanaiotti, Tommaso Savini, Gertrud Schaab, John Seidensticker, Alhaji Siaka, Miles R. Silman, Thomas B. Smith, Samuel Soares De Almeida, Navjot Sodhi, Craig Stanford, Kristine Stewart, Emma Stokes, Kathryn E. Stoner, Raman Sukumar, Martin Surbeck, Mathias Tobler, Teja Tscharntke, Andrea Turkalo, Govindaswamy Umapathy, Merlijn Van Weerd, Jorge Vega Rivera, Meena Venkataraman, Linda Venn, Carlos Vereá, Carolina Volkmer De Castilho, Matthias Waltert, Benjamin Wang, David Watts, William Weber, Paige West, David Whitacre, Ken Whitney, David Wilkie, Stephen Williams, Debra D. Wright, Patricia Wright, Lu Xiankai, Pralad Yonzon, and Franky Zamzani. Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. *Nature*, 489(7415):290–293, 2012. ISSN 00280836. doi: 10.1038/nature11318.

Harvey Locke, Erle C Ellis, Oscar Venter, Richard Schuster, Keping Ma, Xiaoli Shen, Stephen Woodley, Naomi Kingston, Nina Bhola, Bernardo BN Strassburg, and Others. Three Global Conditions for Biodiversity Conservation and Sustainable Use: an implementation framework. *National Science Review*, 6(6):1080—1082, 2019.

Gary W. Luck. A review of the relationships between human population density and biodiversity. *Biological Reviews*, 82(4):607–645, 2007. ISSN 14647931. doi: 10.1111/j.1469-185X.2007.00028.x.

Micheal L McKinney. Urbanization, Biodiversity, and Conservation. *Bioscience*, 52(10):883—890, 2002.

Brad H. McRae and Paul Beier. Circuit theory predicts gene flow in plant and animal populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50):19885–19890, 2007. ISSN 00278424. doi: 10.1073/pnas.0706568104.

Brad H McRae, Brett G Dickson, Timothy H Keitt, and Viral B Shah. Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10):2712–2724, 2008.

MEA. Ecosystems and human well-being. 5, 2005.

M. J. Metzger, M. D.A. Rounsevell, L. Acosta-Michlik, R. Leemans, and D. Schröter. The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114(1):69–85, 2006. ISSN 01678809. doi: 10.1016/j.agee.2005.11.025.

E Meyer and K Thaler. Animal diversity at high altitudes in the Austrian Central Alps. In *Arctic and alpine biodiversity: patterns, causes and ecosystem consequences*, pages 97–108. Springer, 1995.

Reed F. Noss, Andrew P. Dobson, Robert Baldwin, Paul Beier, Cory R. Davis, Dominick A. Dellasala, John Francis, Harvey Locke, Katarzyna Nowak, Roel Lopez, Conrad Reining, Stephen C. Trombulak, and Gary Tabor. Bolder thinking for conservation. *Conservation Biology*, 26(1):1—4, 2012.

Ole P. Ostermann. The need for management of nature conservation sites designated under Natura 2000. *Journal of Applied Ecology*, 35(6):968–973, 1998. ISSN 00218901. doi: 10.1111/j.1365-2664.1998.tb00016.x.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Global Biodiversity Outlook 5 – Summary for Policy Makers. Montréal. 2020.

Stephen F. Spear, Niko Balkenhol, Marie Josée Fortin, Brad H. McRae, and Kim Scribner. Use of resistance surfaces for landscape genetic studies: Considerations for parameterization and analysis. *Molecular Ecology*, 19(17):3576–3591, 2010. ISSN 09621083. doi: 10.1111/j.1365-294X.2010.04657.x.

Will Steffen, Asa Persson, Lisa Deutsch, Jan Zalasiewicz, Mark Williams, Katherine Richardson, Carole Crumley, Paul Crutzen, Carl Folke, Line Gordon, Mario Molina, Veerabhadran Ramanathan, Johan Rockström, Marten Scheffer, Hans Joachim Schellnhuber, and Uno Svedin. The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *Ambio*, 40(7):739, 2011. doi: 10.1007/s13280-011-0185-x. URL www.kva.se/en.

Manuel J Steinbauer, John-Arvid Grytnes, Gerald Jurasinski, Aino Kulonen, Jonathan Lenoir, Harald Pauli, Christian Rixen, Manuela Winkler, Manfred Bardy-Durchhalter, Elena Barni, and Others. Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature*, 556(7700):231–234, 2018.

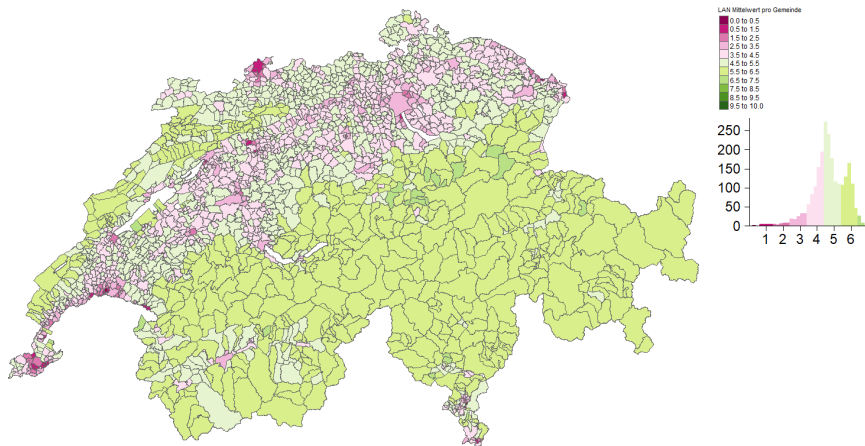
Craig A Stockwell, Andrew P Hendry, and Michael T Kinnison. Contemporary evolution meets conservation biology. *TRENDS in Ecology and Evolution*, 18(2):94–101, 2003.

B J E ten Brink, R Alkemade, M Bakkenes, J Clement, B Eickhout, L Fish, H de Heer, T Kram, T Manders, H van Meijl, and Others. Cross-roads of planet earth's life: exploring means to meet the 2010 biodiversity target: solution-oriented scenarios for Global Biodiversity Outlook 2. 2007.

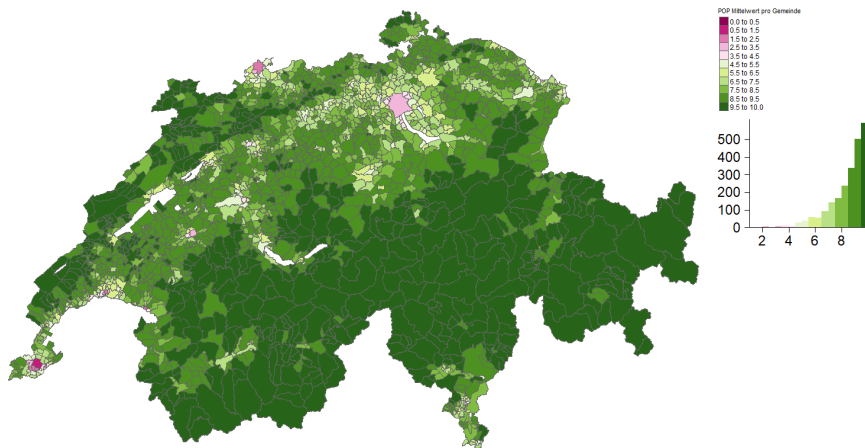
Johannes Wessely, Karl Hülber, Andreas Gattringer, Michael Kuttner, Dietmar Moser, Wolfgang Rabitsch, Stefan Schindler, Stefan Dullinger, and Franz Essl. Habitat-based conservation strategies cannot compensate for climate-change-induced range loss. *Nature Climate Change*, 7(11):823–827, 2017. ISSN 17586798. doi: 10.1038/nclimate3414.

Juliette Young, Allan Watt, Peter Nowicki, Didier Alard, Jeremy Clitherow, Klaus Henle, Richard Johnson, Endre Laczko, Davy McCracken, Simone Matouch, Jari Niemela, and Caspi-an Richards. Towards sustainable land use: Identifying and managing the conflicts between human activities and biodiversity conservation in Europe. *Biodiversity and Conservation*, 14(7):1641–1661, 2005. ISSN 09603115. doi: 10.1007/s10531-004-0536-z.

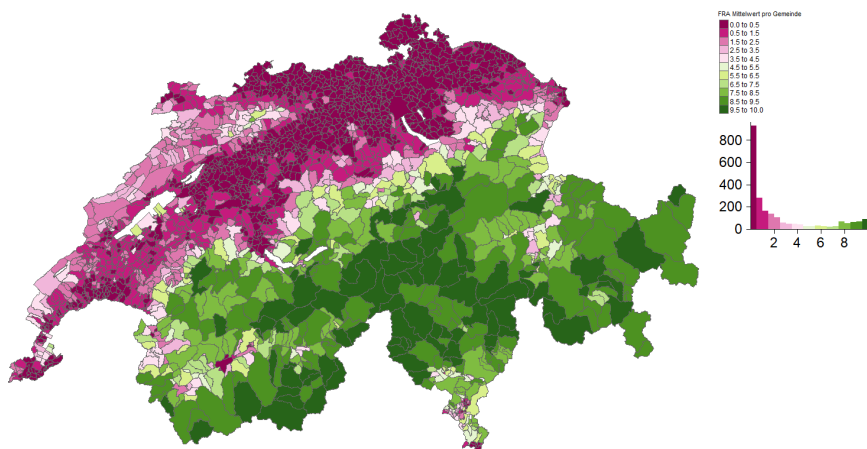
A Appendix



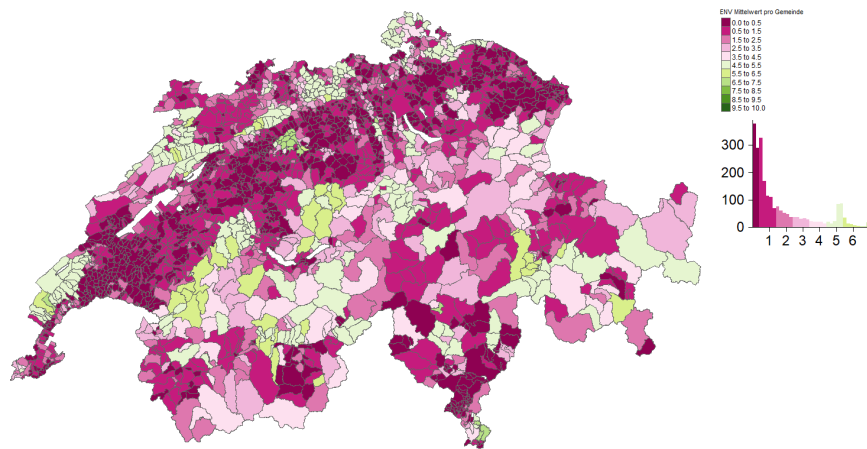
(a) Bodenbedeckung und Landnutzung



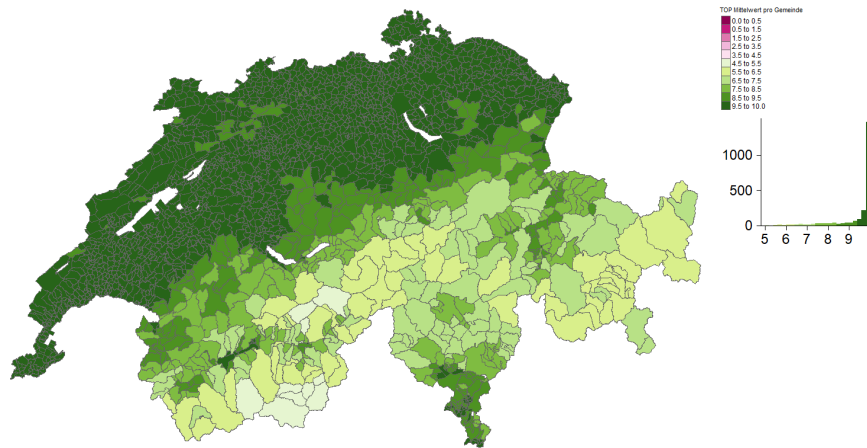
(b) Bevölkerung



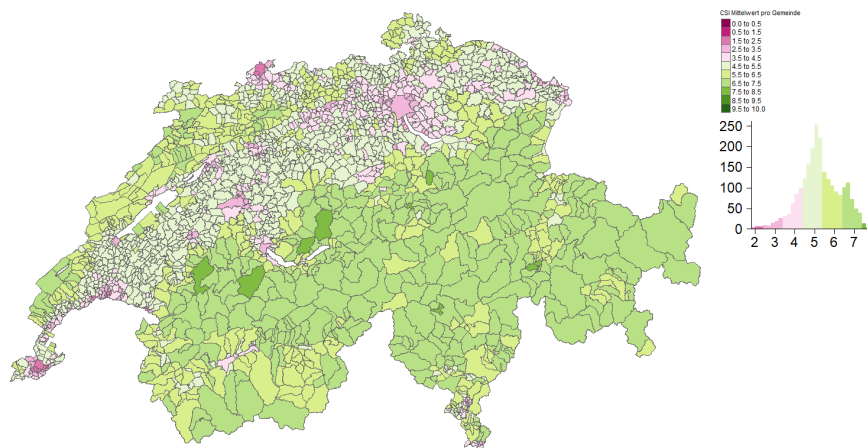
(c) Fragmentierung



(d) Naturschutz



(e) Höhenlage und Topographie



(f) CSI

Abbildung 13: Indikatoren und Continuum Suitability Index pro Gemeinde.