



# Wie lassen sich geeignete Flussabschnitte für Revitalisierungen finden?

## Eine Multikriterien- analyse im GIS für die gesamte Schweiz

Masterarbeit an der ETH Zürich  
am Departement  
Umweltsystemwissenschaften

Von Jasmin Kägi

April 2013

Betreut durch:

Prof. Dr. Felix Kienast  
WSL

und

PD. Dr. Matthias Bürgi  
WSL

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich



Eidg. Forschungsanstalt für Wald,  
Schnee und Landschaft WSL



Titelbild:  
Renaturierte Thur bei Niederneunforn, Foto: Jasmin Kägi



## Zusammenfassung

22% der Schweizer Fliessgewässer befinden sich in einem schlechten Zustand (Zeh Weissmann et al., 2009). Rund ein Viertel dieser Gewässer soll in den nächsten 80 Jahren renaturiert werden (Göggel, 2012). Die Planung dazu ist Aufgabe der Kantone und muss für die erste Planungsperiode bis Ende 2014 abgeschlossen sein (GSchV, Artikel 41d). Es sollen diejenigen Fliessgewässer in der Planung berücksichtigt werden, an welchen ein grosser Nutzen für Natur und Landschaft mit verhältnismässigem Aufwand erreicht werden kann (GSchV, Artikel 41d).

Die vorliegende Masterarbeit befasst sich mit dieser Revitalisierungsplanung. Die Fragestellungen lauten: Wie lassen sich für Revitalisierungen geeignete Flussabschnitte finden und wo liegen diese? Wie plausibel sind die Resultate gemäss der Einschätzung eines kantonalen Experten und wie wird die Lage realisierter Renaturierungen in der Multikriterienanalyse bewertet? Wo befinden sich räumliche Renaturierungs-Hotspots?

Das BAFU hat mit der von Göggel (2012) beschriebenen Strategischen Planung eine Planungshilfe für die Kantone entwickelt. Die Empfehlungen dieser Vollzugshilfe sowie eigene Überlegungen wurden in Form einer Multikriterienanalyse im GIS für die gesamte Schweiz umgesetzt. Grundlage dazu ist das in der Ökomorphologie Stufe F bewertete Flussnetz, welches für vier Gewässerraumbreiten gebuffert wird (30m, 50m, 100m und 150m). Der ökomorphologische Zustand, welcher die Natürlichkeit eines Gewässers beschreibt, wird im ersten Schritt der Multikriterienanalyse mit dem Modul Aufwand kombiniert. Dieses Modul beinhaltet den Aufwand, welcher durch die Verlegung von Infrastrukturanlagen aus dem Gewässerraum entsteht. Als Ergebnis der Kombination der Module Ökomorphologie und Aufwand entsteht das Aufwertungspotenzial eines Gewässers. Ein Flussabschnitt hat ein grosses Potenzial, wenn eine grosse ökologische Verbesserung mit geringem Aufwand erreicht werden kann. In einem weiteren Schritt wird das Aufwertungspotenzial mit dem Modul Naturkosten kombiniert. In diesem Filter wird berücksichtigt, dass durch eine Revitalisierung wertvolle Naturflächen verloren gehen können. Das Produkt der genannten Kombination ist das Modul Nutzen. Ein Gewässerabschnitt verursacht einen grossen Nutzen, wenn er ein grosses Aufwertungspotenzial sowie geringe Naturkosten zugeordnet bekommt. Im Modul Landschaft wird der landschaftliche Wert ausserhalb des Gewässerraumes erhoben. Die Module Nutzen und Landschaft werden zum Endergebnis der Multikriterienanalyse kombiniert, der Renaturierungseignung.

Die Plausibilitätsprüfung auf regionaler Ebene liefert unterschiedliche Beurteilungen der Verwendbarkeit der Ergebnisse der Multikriterienanalyse. Für den Kanton Graubünden stimmen die Einschätzungen der Analyse und die Lage der realisierten Renaturierungen nur bei den kleinen Gewässerräumen (kleine Bufferbreiten in der Multikriterienanalyse) annähernd überein. Die Beurteilung der Fliessgewässer im Thurgau durch die Multikriterienanalyse deckt sich

jedoch weitgehend mit der Expertenmeinung. Dies lässt auf eine gute Verwendbarkeit der Resultate und der Methode schliessen.

Um die Frage nach den Renaturierungs-Hotspots der Schweiz beantworten zu können, müssen die geeignetsten Flussabschnitte für eine Revitalisierung lokalisiert werden. Die Abschnitte sollen durch die Multikriterienanalyse eine gute Bewertung im Modul Renaturierungseignung erhalten haben und mindestens 800m lang sein. Diese geeigneten Flussabschnitte sind im Mittelland häufiger als in den Berggebieten. Ein Renaturierungs-Hotspot ist mit über 70 geeigneten Abschnitten der Kanton Bern, gefolgt vom Aargau und Zürich. Diese Kantone haben eine grosse Verantwortung zur Revitalisierung. Es gibt jedoch auch Kantone, in welchen von der Multikriterienanalyse zu den festgesetzten Bestimmungen keine Flussabschnitte lokalisiert werden.

## Summary

22% of rivers in Switzerland are in poor condition (Zeh Weissmann et al., 2009). Nearly a fourth of these should be restored in the next 80 years (Göggel, 2012). The planning is duty of the cantons and the first stage of the restoration planning needs to be finished by the end of 2014 (WPO, article 41d). The rehabilitation should take place, where the benefits for nature and landscape are substantially high in comparison to the estimated investments needed (WBO, article 41d).

The planning of rehabilitation projects is the topic of this master thesis. The questions are: How can suitable river segments for restoration be found and where are these? How plausible are the results in comparison to actual and carried out restoration areas and how useful are they in a cantonal expert's opinion? Where are restoration hotspots?

The FOEN created an implementation support for the cantons, using the strategic planning from Göggel (2012). The recommendations of this support and own considerations are applied in a multi criteria analysis in GIS for the whole of Switzerland. Basis of the analysis is the stream network which is assessed in the ecomorphology method (Ökomorphologie Stufe F). These rivers are buffered with four different widths to get the space provided for waters (30m, 50m, 100m and 150m). In the first step of the multi criteria analysis, the ecomorphological condition which describes the naturalness of a watercourse, it is combined with the module effort. This module estimates the investment to relocate infrastructure constructions out of the space provided for waters. The result of the combination of both modules is the restoration potential of a river system. A river segment has high potential when a substantial ecological benefit is possible with little effort. The next step of the multi criteria analysis is the combination of the restoration potential with the nature costs. This filter takes into account, that some valuable nature areas could be damaged through a restoration. The product of this combination is the module benefit. A river segment receives high benefit, if it has a high restoration potential as well as low nature costs. The module landscape assesses the value of the landscape outside the space provided for waters. The final result of the multi criteria analysis is the combination of the modules benefit with landscape and is called the restoration suitability.

The plausibility check on regional scale provide different evaluations for the usability of the results and the multi criteria analysis. The comparison between the suitability of the analysis and the location of real restoration sites in the canton of Grisons overlap only for small spaces provided for waters. For the canton of Thurgau, the assessment of the suitability of the river systems fits mostly with the opinion of the expert. This suggests a good usability of the results and the method.

To find restoration hotspots in Switzerland, the most suitable river segments for rehabilitation

must be located. Those segments should have a good assessment in the module restoration suitability and a length of at least 800m. These suitable segments can more frequently be found in the midlands than in higher elevations. With more than 70 suitable river segments, the canton of Bern is a restoration hotspot, followed by Aargau and Zurich. Those cantons own a high responsibility for restoration. But there are also cantons where the multi criteria analysis can't locate any suitable river segment with the fixed preconditions.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Zustand der Gewässer in der Schweiz . . . . .	1
1.2	Die gesetzgeberische Entwicklung mit Relevanz für Fliessgewässerrevitalisierungen . . . . .	3
1.3	Ziele und Fragestellungen . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Methodik</b>	<b>6</b>
2.1	Aufbau der GIS-gestützten Multikriterienanalyse . . . . .	6
2.1.1	Definition der Gewässerräume . . . . .	8
2.1.2	Aufwertungspotenzial . . . . .	9
2.1.3	Nutzen . . . . .	14
2.1.4	Renaturierungseignung . . . . .	16
2.1.5	Weitere Filter . . . . .	20
2.2	Plausibilitätsprüfung . . . . .	22
2.2.1	Renaturierungen im Kanton Graubünden . . . . .	22
2.2.2	Einschätzung eines kantonalen Experten . . . . .	24
2.3	Lokalisation der räumlichen Renaturierungs-Hotspots der Schweiz . . . . .	25
2.3.1	Geeignete Renaturierungsabschnitte . . . . .	26
2.3.2	Einzugsgebiete . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Resultate</b>	<b>28</b>
3.1	Räumlich umgesetzte Multikriterienanalyse für die gesamte Schweiz . . . . .	28
3.1.1	Aufwertungspotenzial . . . . .	29
3.1.2	Renaturierungseignung . . . . .	30
3.2	Plausibilitätsprüfung auf regionaler Ebene . . . . .	32
3.2.1	Renaturierungen im Kanton Graubünden . . . . .	32
3.2.2	Einschätzung eines kantonalen Experten . . . . .	36
3.3	Räumliche Renaturierungs-Hotspots für die gesamte Schweiz . . . . .	38
3.3.1	Geeignete Renaturierungsabschnitte . . . . .	38
3.3.2	Einzugsgebiete . . . . .	47
3.3.3	Weitere Karten . . . . .	49
3.3.4	Kantonale Verteilung der geeigneten Renaturierungsabschnitte . . . . .	51
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>52</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>59</b>

<b>6</b>	<b>Dank</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>Daten</b>	<b>66</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>67</b>
A.1	Vorgehen gemäss Strategischer Planung . . . . .	67
A.2	Berechnung des Gewässerraums gemäss Gewässerschutzverordnung . . . . .	69
A.3	Datenübersicht . . . . .	70
A.3.1	Aufwand . . . . .	70
A.3.2	Landschaftlicher Wert . . . . .	71
A.4	Technischer Exkurs: Funktionsweise eines Moving Windows . . . . .	72
A.5	Gesamtschweizer Karten der Module . . . . .	73
A.6	Geeignete Flussabschnitte im Thurgau . . . . .	79
A.7	Verteilung der geeigneten Flussabschnitte in den Kantonen . . . . .	80

# Abbildungsverzeichnis

1	Anteil der Gewässer in schlechtem Zustand nach Höhenstufen . . . . .	3
2	GIS-gestützte Multikriterienanalyse . . . . .	7
3	Ökomorphologiedaten für die gesamte Schweiz . . . . .	8
4	Realisierte Renaturierungen im Kanton Graubünden . . . . .	22
5	Realisierte Renaturierungen erhalten die häufigste Modulklasse in einem Umkreis à 250m zugeordnet . . . . .	23
6	Zusammenfassung aller Modulresultate in Punkten . . . . .	25
7	GIS-gestützte Multikriterienanalyse in Kartenform . . . . .	28
8	Aufwertungspotenzial für die gesamte Schweiz . . . . .	29
9	Relativer Flächenanteil pro Klasse des Moduls Aufwertungspotenzial für alle Gewässerräume . . . . .	30
10	Renaturierungseignung für die gesamte Schweiz . . . . .	31
11	Flächenanteil pro Klasse der Renaturierungseignung an der Gesamtfläche des 50m Gewässerraums . . . . .	31
12	Kanton GR: Anzahl Renaturierungen pro Klassen der Module . . . . .	33
13	Kanton GR: Anzahl Renaturierungen pro Klassen des Aufwertungspotenzials für die verschiedenen Gewässerräume . . . . .	34
14	Kanton GR: Fehlerquellen beim 150m Gewässerraum . . . . .	35
15	Kanton Thurgau: Vergleich zwischen Ergebnissen des Modells und kantonaler Planung . . . . .	36
16	Für Revitalisierung geeigneter Seitenkanal der Thur bei Niederneunforn . . . . .	37
17	Geeignete Flussabschnitte für die 30m und 50m Gewässerräume . . . . .	39
18	Geeignete Flussabschnitte für die 100m und 150m Gewässerräume . . . . .	40
19	a) Renaturierungseignung im 50m Gewässerraum für die ganze Schweiz. b) Grosse und sehr grosse Renaturierungseignung im 50m Gewässerraum für die ganze Schweiz . . . . .	41
20	Geeignete Flussabschnitte für Revitalisierungen . . . . .	42
21	Satellitenbild des grössten geeigneten Flussabschnittes . . . . .	43
22	Grösster geeigneter Abschnitt in den verschiedenen Modulen . . . . .	44
23	Berechnete Anteile an der Fläche des 50m Gewässerraumes der für eine Revitalisierung geeigneten Flussabschnitte, aufgeteilt auf die verschiedenen Klassen der Module der Multikriterienanalyse . . . . .	46
24	Renaturierungseignung auf Einzugsgebietsebene . . . . .	47
25	Einzugsgebiete mit den geeignetsten Abschnitten . . . . .	48
26	Durchgängigkeitsstörungen . . . . .	49

27	Ökologische Eignung nach Rohde . . . . .	50
28	Kantonale Verteilung der für eine Revitalisierung geeigneter Flussabschnitte . .	51
29	REN Fliessgewässer und Seen . . . . .	58
30	Zerschneidungskarte der Schweiz für das Jahr 2002 . . . . .	58
31	Vorgehen bei der Revitalisierungsplanung . . . . .	67
32	Funktionsweise der Befehle <i>Maximum</i> und <i>Summe</i> in einem Moving Window. Weitere Ausführungen im Text . . . . .	72
33	Aufwand für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum . . . . .	73
34	Naturkosten für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum . . . . .	74
35	Nutzen für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum . . . . .	75
36	Landschaft für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum . . . . .	76
37	Überwindbare Durchgängigkeitsstörungen . . . . .	77
38	Unüberwindbare Durchgängigkeitsstörungen . . . . .	78
39	Vergleich zwischen den geeigneten Flussabschnitten der Gesamtschweizer- zur Thurgauer Analyse . . . . .	79

## Tabellenverzeichnis

1	Anlagen im Gewässerraum mit Aufwand . . . . .	10
2	Kombination zum Aufwertungspotenzial . . . . .	14
3	Kombination zum Nutzen . . . . .	16
4	Ökologisches Potenzial und landschaftliche Bedeutung . . . . .	17
5	Kombination zur Renaturierungseignung . . . . .	19
6	Alle Kriterien für das Modul Aufwand mit den verwendeten Datensätzen, Einteilungen und Bewertungen für den Aufwand . . . . .	70
7	Alle Kriterien für die Module Landschaft und Naturkosten mit den verwendeten Datensätzen, der Bewertung und der Gewichtung . . . . .	71
8	Anzahl geeigneter Flussabschnitte für eine Revitalisierung pro Kanton . . . . .	80



# 1 Einleitung

## 1.1 Zustand der Gewässer in der Schweiz

In einem Artikel von Haertel und Lussi (2011) werden Fliessgewässer als "Lebensadern der Landschaft" bezeichnet. Diese Bezeichnung wird durch die Lebensraum vernetzende Funktion der Gewässer und ihrer Eigenschaft als Biodiversitätshotspots begründet (Haertel und Lussi, 2011).

Dazu ist jedoch ein intaktes Gewässernetz nötig. Ein intaktes Gewässernetz wird von Haertel und Lussi (2011) wie folgt beschrieben. Es hat eine gegebene Längsvernetzung, sodass das Gewässer von wandernden Arten durchschwommen werden kann. Es muss jedoch auch ein Austausch mit den terrestrischen Lebensräumen am Ufer möglich sein, also braucht es eine Quervernetzung. Die Sohle des Gewässers ist ein wichtiger Lebensraum für viele Arten, an welcher ausserdem eine Tiefenvernetzung über den Austausch mit dem Grundwasser statt findet. Zusätzlich muss sich ein Gewässer und somit deren Biotope mit der Zeit verändern können. In einem intakten Gewässernetz bringt diese Dynamik die Vielfältigkeit (Haertel und Lussi, 2011). Je natürlicher oder naturnaher das Gewässernetz ist, desto intakter ist es.

Naturnahe Gewässer erbringen viele für den Menschen wichtige Ökosystemdienstleistungen. Hauser (2011) teilt diese Dienstleistungen in vier Kategorien ein: So leisten naturnahe Gewässer einen Beitrag zu Sicherheit, indem sie Schutz vor Hochwasser bieten. Durch ein verbessertes Mikroklima, indem sie einen Raum zur Erholung bieten und dadurch, dass die Gewässer wichtiges Natur- und Kulturerbe sind (Identifikation), leisten sie einen Beitrag zu Gesundheit und zum Wohlbefinden des Menschen. Naturnahe Gewässer erbringen jedoch auch wirtschaftliche Leistungen, indem sie Fische für den Verzehr, Trinkwasser, genetische Ressourcen etc. bereitstellen. Und sie leisten einen Beitrag zur Biodiversität, indem sie die natürliche Vielfalt erhalten (Hauser, 2011).

In der Schweiz sind jedoch längst nicht alle Fliessgewässer in einem natürlichen oder naturnahen Zustand und somit fähig, die oben beschriebenen Dienstleistungen zu erbringen. Flüsse wurden korrigiert und begradigt, um Transportwege zu schaffen, Energie zu gewinnen und das Umland vor Hochwasser zu schützen (Zeh Weissmann et al., 2009). Durch diese baulichen Massnahmen gingen wichtige Gewässerstrukturen verloren, die Durchgängigkeit und somit die wichtige Längsvernetzung wurde zum Schlechten verändert und der Raum, welcher den Gewässern zugestanden wird, schrumpfte beständig (Zeh Weissmann et al., 2009). Um die verschlechterte Qualität der Gewässer zu untersuchen und Möglichkeiten zur Verbesserung zu finden, wurden ab den 1980er Jahren vermehrt Anstrengungen für gezielte Methoden und Gesetze unternommen (Liechti et al. (1998) und

<http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08525/08586/index.html?lang=de> (2011), abgerufen am 7.3.2013). Davor stand Risikominimierung, Landgewinn und Energiegewinnung im Fokus der Gesetzgebung, und somit des Wasserbaus und des Hochwasserschutzes der Kantone (Zaugg et al., 2004). Das Modul-Stufen Konzept von 1998 soll eine Beurteilung der Fliessgewässer erlauben, wodurch Defizite erkannt und Massnahmen getroffen werden können (Liechti et al., 1998). Die dabei angesprochenen Module sind die Hydrologie, Ökomorphologie, Biologie, Wasserchemie und Ökotoxikologie, welche auf drei verschiedenen Intensitätsstufen (flächendeckend F, systembezogen S und abschnittsbezogen A) untersucht werden (Liechti et al., 1998). Das erste umgesetzte Modul daraus, die Methode Ökomorphologie Stufe F wurde vom Bund gezielt gefördert und bisher in 24 Kantonen angewandt (Zeh Weissmann et al., 2009). Wird die Ökomorphologie eines Gewässers erhoben, so werden Strukturen im und am Gewässer bewertet (Hütte und Niederhauser, 1998). Die wichtigsten Merkmale der ökomorphologischen Beurteilung sind gemäss Hütte und Niederhauser (1998) die Sohlenbreite, die Wasserspiegelbreitenvariabilität, die Verbauung der Sohle und des Böschungsfusses sowie die Breite und Beschaffenheit des Uferbereiches. Mit dieser Methode erhält man eine Übersicht über die Gewässerzustände einer Region, also eine Einschätzung der Natürlichkeit der Gewässer. Daraus lässt sich der Handlungsbedarf und der Raumbedarf der Gewässer ableiten (Hütte und Niederhauser, 1998).

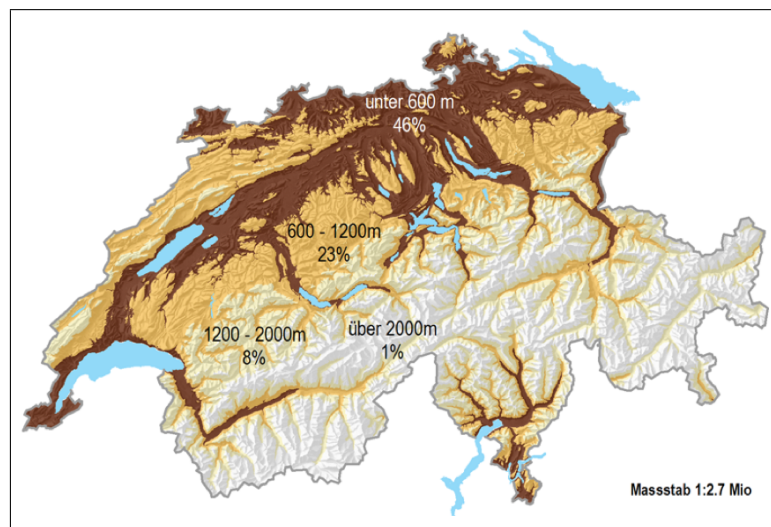
In der Ökomorphologiekartierung wurden knapp 29'000km Flusslauf bewertet und dann auf das Vector25<sup>1</sup> Gewässernetz mit insgesamt 65'000km Gewässerlänge hochgerechnet (Zeh Weissmann et al., 2009). Nach dieser Hochrechnung gibt die Statistik zu der Ökomorphologiekartierung von Zeh Weissmann et al. (2009) einen Anteil von 22% der Schweizer Gewässer als in einem schlechten ökomorphologischen Zustand an. Betrachtet man die Höhenlagen dieser schlechten Abschnitte, so liegen 46% unter 600m ü. M. (Abbildung 1). Dieser Anteil schrumpft mit steigender Höhe, die Natürlichkeit der Gewässer nimmt also mit der Höhe zu (Zeh Weissmann et al., 2009). In der erwähnten Ökomorphologiestatistik sind 14'000km Fliessgewässer in einen schlechten Zustand und 10'800km davon weisen einen Handlungsbedarf für Revitalisierungen<sup>2</sup> auf (nicht berücksichtigte Gewässer liegen in Siedlungsgebiet oder sehr steilem Gelände) (Zeh Weissmann et al., 2009).

---

<sup>1</sup>Definition Vector25: "VECTOR25 ist das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, welches inhaltlich und geometrisch auf der Landeskarte 1: 25 000 basiert." swisstopo (2005), Seite 2

<sup>2</sup>Definition Revitalisierung gemäss GSchG (1991): "Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen." GSchG Artikel 4, Buchstabe m, Seite 3. Revitalisierung und Renaturierung werden in dieser Arbeit als Synonyme verwendet.





**Abbildung 1:** Verteilung der Gewässer in schlechtem Zustand nach Höhenstufen. Datenquelle: Zeh Weissmann et al. (2009), Seite 37

## 1.2 Die gesetzgeberische Entwicklung mit Relevanz für Fließgewässerrevitalisierungen

Den Gewässern in schlechtem Zustand nahm sich die Volksinitiative "Lebendiges Wasser" von 2005 an, deren Einfluss auf die Politik Wirz (2010) in einem Artikel wie folgend beschreibt: Die vom Schweizerischen Fischereiverband und Umweltverbänden lancierte Initiative pochte auf einen schnelleren und besseren Vollzug des Gewässerschutzgesetzes (GSchG). In der Initiative wurden Renaturierungen beeinträchtigter Gewässer, Massnahmen gegen Schwall und Sunk<sup>3</sup> und zur Wiederherstellung eines natürlichen Geschiebehauhalts und eine Durchsetzung der Vorschriften zum Restwasser gefordert (Wirz, 2010). Die Initiative mit über 160'000 gültigen Unterschriften veranlasste das Parlament zur Ausarbeitung eines indirekten Gegenvorschlages (Wirz, 2010). Dieser hat zur Revision des Gewässerschutzgesetzes und -verordnung geführt, welche seit Januar resp. Juni 2011 in Kraft sind (Göggel, 2012).

Im folgenden werden die Veränderungen des GSchG bezüglich Renaturierungen der Gewässer beschrieben, gemäss Bundeskanzlei (2010).

Das Gesetz beinhaltet neu einen Artikel zum Gewässerraum (Art. 36a). Dieser verpflichtet die Kantone, den Raumbedarf der Gewässer festzulegen mit Rücksicht auf die natürlichen Funk-

<sup>3</sup>Definition Schwall und Sunk gemäss Angelone et al. (2012), Seite 7: "Schwall bezeichnet den kurzfristigen, künstlich erhöhten Abfluss in einem Fließgewässer, der meistens während des bedarfsorientierten Turbinierbetriebes eines Speicherkraftwerks entsteht. Sunk bezeichnet den verringerten Basisabfluss zwischen den Schwällen. Der Minimalabfluss wird häufig Sockelabfluss und das Maximum Peak genannt. Die gesamte Abfolge, d. h. der mehr oder weniger regelmässige Wechsel zwischen den unterschiedlichen Abflusszuständen, wird Schwall/Sunk- Betrieb oder kurz Schwallbetrieb genannt."

tionen der Gewässer, den Hochwasserschutz und die Gewässernutzung. Die Gewässerräume dürfen nur noch extensiv bewirtschaftet werden, Fruchtfolgeflächen dürfen nicht im Gewässerraum liegen und die Gewässerräume müssen in der Richt- und Nutzungsplanung berücksichtigt werden.

Artikel 38a zur "Revitalisierung von Gewässer" verpflichtet die Kantone zur Planung und Umsetzung von Revitalisierungen. Der Nutzen für die Natur und Landschaft sowie die wirtschaftlichen Auswirkungen der Revitalisierungen sind dabei zu berücksichtigen.

Negative Auswirkungen der Wasserkraftnutzung sollen durch die Artikel 39a "Schwall und Sunk" und 43a "Geschiebehalt" verhindert werden. Gefährden die Anlagen Lebensräume oder einheimischen Tiere und Pflanzen, müssen sie beseitigt werden (Bundeskanzlei, 2010).

Das BAFU deckt mit der Vollzugshilfe "Renaturierung der Gewässer" alle vom neuen Gewässerschutzrecht betroffenen Bereiche der Wasserwirtschaft ab. Dies sind die Revitalisierung der Fliessgewässer und Stillgewässer, die Auen, die Fischwanderung, Schwall und Sunk und der Geschiebehalt. Zwischen diesen Themen soll die Abstimmung und Koordination gefördert werden und man bietet Hilfestellung für die Planung (<http://www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/11359/index.html?lang=de> (2011), abgerufen am 9.3.2013).

In dieser Arbeit ist nur die Planung der Revitalisierungen der Fliessgewässer direkt ein Thema. Die neuen Gesetzesartikel dazu werden in der revidierten Gewässerschutzverordnung (GSchV) folgendermassen konkretisiert:

Artikel 41d befasst sich mit der Planung von Revitalisierungen. Für diese Planung müssen die Kantone zuerst die notwendigen Grundlagen erarbeiten, welche den ökomorphologischen Zustand der Gewässer, die Anlagen im Gewässerraum, das ökologische Potenzial<sup>4</sup> und die landschaftliche Bedeutung der Gewässer beschreiben. Im Artikel heisst es weiter, dass die Planung für 20 Jahre die zu revitalisierenden Gewässerabschnitte, die Art der Massnahmen und die Umsetzungsfristen festlegt. Wenn nötig soll mit den Nachbarkantonen zusammengearbeitet werden. Die zeitliche Priorität der Revitalisierungen wird durch deren Nutzen bestimmt. Vorrang haben Projekte, bei denen der Nutzen für die Natur und Landschaft gross ist, der Nutzen im Verhältnis zum Aufwand gross ist und der Nutzen durch das Zusammenwirken mit anderen Massnahmen (Hochwasserschutz, Naturschutz) vergrössert wird. Im Artikel 41d wird weiterhin festgelegt, dass die Planungen für Revitalisierungen an Fliessgewässern bis zum 31. Dezember

---

<sup>4</sup>Definition ökologisches Potenzial gemäss GSchV Artikel 33a: "Bei der Festlegung des ökologischen Potenzials eines Gewässers sind zu berücksichtigen:

- a. die ökologische Bedeutung des Gewässers im heutigen Zustand.
- b. die mögliche ökologische Bedeutung des Gewässers im Zustand, in dem die vom Menschen verursachten Beeinträchtigungen so weit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten machbar ist." GSchV (1998), Seite 16

2013 dem BAFU vorgelegt werden müssen und ein Jahr später verabschiedet sein müssen. Ausserdem müssen die Kantone die 20-Jahres-Planung alle 12 Jahre wiederholen (GSchV, Artikel 41d).

Das Ziel einer Revitalisierung wird vom BAFU (2011d) folgendermassen beschrieben: Ziel ist die Wiederherstellung natürlicher Funktionen, wodurch die Fliessgewässer wieder eine natürliche Dynamik bei der Morphologie, dem Abfluss- und Geschieberegime erhalten sollen. Die Lebensräume in den Gewässern sollen von naturnahen, standorttypischen Lebensgemeinschaften besiedelt werden, deren Populationen sich selbst reproduzieren, regulieren und auf externe Störungen reagieren können. Ausserdem sollen die Lebensräume und Populationen untereinander vernetzt sein. Die revitalisierten Gewässer sollen die bereits erwähnten Ökosystemfunktionen erbringen können und "naturnahe, prägende Elemente der Landschaft bilden" (BAFU, 2011d). Revitalisiert sollen mit dieser Planung etwa ein Viertel der Fliessgewässer in schlechtem Zustand, also rund 4000km in den nächsten 80 Jahren (Göggel, 2012). Die Planung ist jedoch nur eine Übersichtsplanung über den ganzen Kanton und somit nicht parzellenscharf (BAFU, 2011d). Trotzdem ist die Zeit für die Planung knapp und die Kantone werden mit der Vollzugshilfe "Revitalisierung Fliessgewässer. Strategische Planung" vom Bund unterstützt (Göggel, 2012). Die in der Vollzugshilfe beschriebene Methode wird in dieser Arbeit angewendet, um für die gesamte Schweiz geeignete Flussabschnitte für Revitalisierungen zu finden.

### 1.3 Ziele und Fragestellungen

Ziel dieser Arbeit ist es, mittels GIS schweizweit geeignete Gebiete für Flussrevitalisierungen zu finden. Diese Gebiete sollen dort liegen, wo wie von der GSchV gefordert der Nutzen im Verhältnis zum Aufwand am grössten ist (GSchV (1998), Artikel 41d). Dazu ist eine geeignete Methode zu wählen und die gefundenen Resultate sowie die Methode sollen plausibilisiert werden. Schliesslich soll eine Aussage über die räumliche Verteilung der geeigneten Gebiete in der Schweiz gemacht werden.

Die detaillierten Fragestellungen der vorliegenden Masterarbeit lauten:

- Wie lassen sich für Revitalisierungen geeignete Flussabschnitte finden und wo liegen diese?
- Wie plausibel sind die Resultate gemäss der Einschätzung eines kantonalen Experten und wie wird die Lage realisierter Renaturierungen in der Multikriterienanalyse bewertet?
- Wo befinden sich räumliche Renaturierungs-Hotspots?

## 2 Methodik

Die Fragestellungen dieser Arbeit wurden mittels einer GIS-gestützten Multikriterienanalyse bearbeitet. In den folgenden Kapiteln wird die Methode beschrieben und aufgezeigt, wie die Plausibilität der Ergebnisse geprüft werden kann.

### 2.1 Aufbau der GIS-gestützten Multikriterienanalyse

Zu Beginn der Arbeit war das Ziel, eine *eigene* Multikriterienanalyse<sup>5</sup> im GIS<sup>6</sup> zu entwerfen, um geeignete Flussabschnitte für Revitalisierungen zu lokalisieren. Es existiert allerdings schon die Strategische Planung des Bundes. In dieser gibt das BAFU den Kantonen eine Anleitungshilfe vor, wie sie die Revitalisierung ihrer Gewässer planen können (Göggel, 2012). Die Methode enthält einen Teil mit einer GIS Analyse, gefolgt von einer Überprüfung oder Verfeinerung durch Experten (Ablauf in Anhang A.1, Seite 67). Daher wurde der Entschluss gefasst, diese für die Kantone entwickelte Methode für die ganze Schweiz umzusetzen.

Ein weiterer Schritt zur genauen Festlegung der Abläufe der Masterarbeit waren zwei Gespräche mit Experten. Dies waren Willy Müller, Bereichsleiter im Fischereiinspektorat im Amt für Landwirtschaft und Natur des Kanton Bern und Geschäftsführer des Renaturierungsfonds sowie Marco Baumann, Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Wasserbau des Thurgau. Beide Kantonsvertreter sind bei der Revitalisierungsplanung ihres Amtes stark beteiligt. Die Gespräche sollten einen Einblick darüber vermitteln, wie die Planung in den Kantonen in Angriff genommen wird. Ausserdem sollten einige Fragen zu Planungswerten, wie zum Beispiel dem verwendeten Wert für den Gewässerraum, geklärt werden.

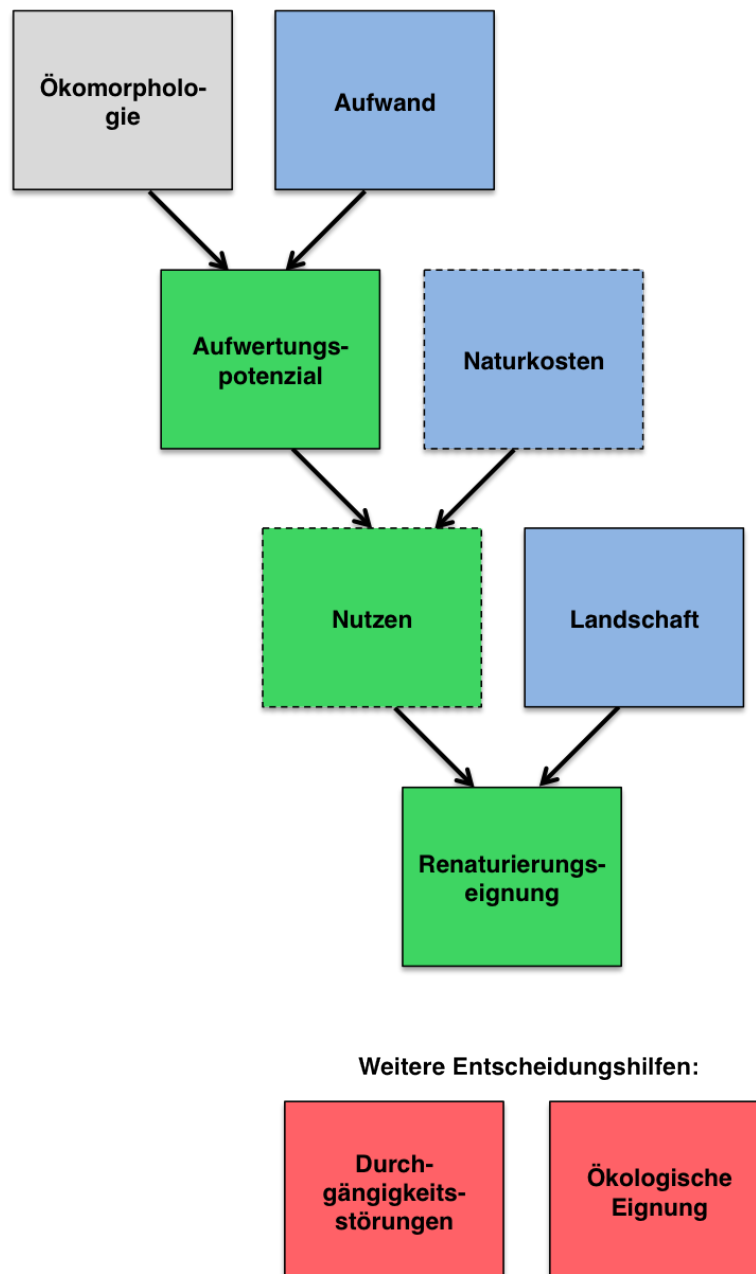
Durch die Literatursuche und die Gespräche wurde der Ablauf der Arbeit festgesetzt. Zuerst wurde die BAFU Empfehlung und eigene Überlegungen in Form einer Multikriterienanalyse formuliert und mit GIS umgesetzt. Dann wurden die Ergebnisse auf kantonaler Ebene plausibilisiert und auf der Ebene der gesamten Schweiz ausgewertet. Gearbeitet wurde mit ArcMap 10.1 von ESRI. Ein Teil der dabei entstandenen Karten ist im Anhang beigefügt (ab Seite 73). Die GIS Daten zu dieser Arbeit sind bei Felix Kienast von der WSL erhältlich. Auf der beiliegenden

---

<sup>5</sup>Definition Multikriterienanalyse (MCA): "Die multikriterielle Entscheidungsanalyse ist eine Klasse von Verfahren zur Analyse von Entscheidungs- oder Handlungsmöglichkeiten. Die unterschiedlichen Verfahren der MCA zeichnen sich dadurch aus, dass sie kein einzelnes übergeordnetes Kriterium, sondern eine Vielzahl unterschiedlicher Kriterien nutzen, um Optionen oder Alternativen für die Entscheidungsfindung aufzubereiten." [http://de.wikipedia.org/wiki/Multi\\_Criteria\\_Analysis](http://de.wikipedia.org/wiki/Multi_Criteria_Analysis) (2013), abgerufen am 27.3.2013

<sup>6</sup>GIS: "Mit Geographischen Informationssystemen (GIS) lassen sich raumbezogene Daten erfassen, verwalten, analysieren und präsentieren." <http://www.bafu.admin.ch/gis/02909/index.html?lang=de> (2006), abgerufen am 1.4.2013

Daten - CD sind die mit ModelBuilder 10.1 von ESRI erstellten Modelle samt Beschreibungen. Das Vorgehen der GIS-gestützten Multikriterienanalyse ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Herleitung der einzelnen Module wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

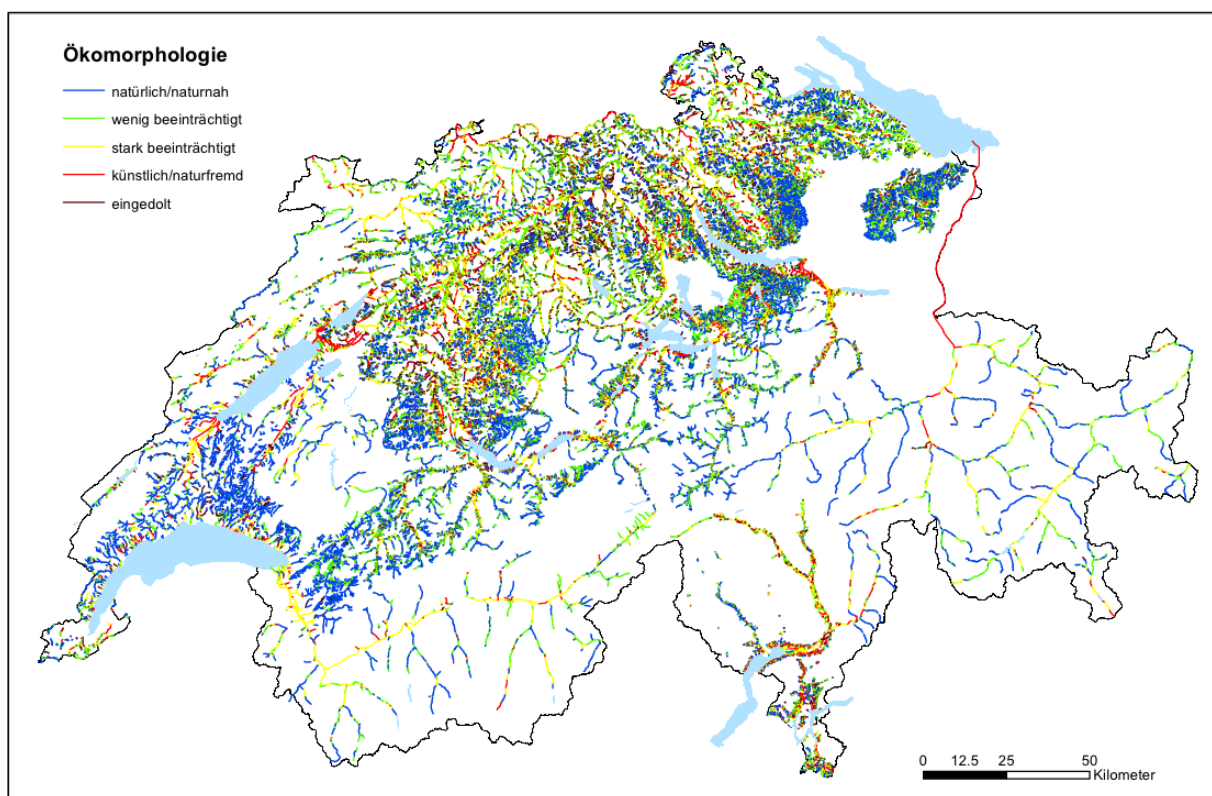


**Abbildung 2:** GIS-gestützte Multikriterienanalyse. Die blauen Module sind eigenständige Abfragemodule (Filter), die grünen sind Kombinationsresultate. Die Multikriterienanalyse geht von der ökomorphologischen Kartierung der Flüsse in der Schweiz aus. Die Module mit durchbrochenen Linien sind eigene Ergänzungen zur BAFU Vorlage. Die roten Module sind Ergänzungen für den Entscheidungsprozess zur Eignung der Gewässerabschnitte. Weitere Ausführungen folgen im Text.

### 2.1.1 Definition der Gewässerräume

Die in der Revitalisierungsplanung berücksichtigten Flüsse müssen laut der Strategischen Planung mindestens die grossen und bedeutenden Gewässer und deren wichtigsten Zuflüsse beinhalten. Allerdings sind auch kleinere Gewässer und Seitenbäche funktional wichtig und sollten daher wenn möglich ebenfalls in der Planung berücksichtigt werden (Göggel, 2012).

Das für diese Multikriterienanalyse verwendete Flussnetz<sup>7</sup> umfasst alle Gewässer, welche für die Ökomorphologie Stufe F erhoben wurden. Diese Daten sind jedoch von Kanton zu Kanton sehr unterschiedlich erfasst. So wurden in Graubünden oder dem Wallis nur die grossen Gewässersysteme berücksichtigt, in anderen Kantonen jedoch auch kleinste Bäche. Für die Kantone St. Gallen und Zug liegen noch keine Daten vor, daher sind diese beiden von der Analyse ausgenommen. Daraus ergibt sich ein von der Gewässerhierarchie uneinheitlich aufgenommenes Flussnetz für die gesamte Schweiz (Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Ökomorphologiedaten für die gesamte Schweiz. Datenquelle: Ökomorphologie Stufe F, BAFU, 3003 Bern, geografische Umriss: swissTLM3D 1.0 ©2012, swisstopo (5704 000 000)

<sup>7</sup>In dieser Arbeit wird nicht zwischen Flüssen und Bächen unterschieden, vereinfachend wird nur von Flüssen gesprochen. Für die verschiedenen Gewässerklassen können je nach kantonaler Regelung jedoch unterschiedliche Stellen zuständig sein, so zum Beispiel die Kantone für die Flüsse und die Gemeinden für die Bäche (Zaugg et al., 2004).

Für die Revitalisierungsplanung muss ein Bereich um das Flussbett festgelegt werden, in welchem der Wert der Anlagen und genutzten Flächen als "Aufwand" für die potenzielle Revitalisierung ausgewiesen werden.

Die Kantone müssen diesen Gewässerraum ausscheiden und dabei bestimmen, welches der Raumbedarf des Gewässers ist, um natürliche Funktionen, Hochwasserschutz und eine Gewässernutzung sicherzustellen (GSchG, 1991). Diese Gewässerräume müssen die Kantone bis Ende 2018 festlegen (BAFU, 2012c).

Da die Gewässerräume zum Zeitpunkt der Revitalisierungsplanung in den meisten Kantonen noch nicht festgelegt sind, muss mit einem "beidseitigen Streifen entlang des Gewässers gemäss Übergangsbestimmung zu Änderung der GSchV" (Göggel (2012), Seite 25) gearbeitet werden. Die Werte zur Berechnung des Gewässerraumes sind im Anhang A.2 auf Seite 69 angegeben.

Für diese Untersuchung wird vereinfachend mit vier statischen Gewässerräumen gearbeitet. So werden die ökomorphologisch beurteilten Flüsse mit den Durchmessern (a) 30m, (b) 50m, (c) 100m und (d) 150m beidseitig gebuffert. Der Gewässerraum wird von der Flussachse aus gesetzt und bleibt somit unflexibel bei einem variierenden Flussbett.

### 2.1.2 Aufwertungspotenzial

Das Aufwertungspotenzial ist eine Kombination aus der Ökomorphologiekartierung und dem Modul Aufwand. Das Aufwertungspotenzial ist dann gross, wenn eine grosse Aufwertung eines Gewässers mit einem relativ geringen Aufwand erreicht werden kann. Es trifft somit eine Aussage zur Verhältnismässigkeit einer Revitalisierung (Göggel, 2012).

### Ökomorphologie

Der ökomorphologische Zustand der Fliessgewässer wurde mit den räumlich expliziten Daten zur Ökomorphologie - Stufe F des BUWAL erfasst. Ziel dieser Methode ist gemäss Hütte und Niederhauser (1998) die Beurteilung der Naturnähe der Gewässer. Dazu werden einige Merkmale wie Gewässerbreite und Variabilität, Verbauungen, die Uferbeschaffenheit etc. erhoben und das Gewässer in die Klassen natürlich/naturnah, wenig beeinträchtigt, stark beeinträchtigt, künstlich/naturfremd und eingedolt eingeteilt. Durch diese Methode lässt sich aufzeigen, an welchen Gewässern Handlungsbedarf besteht (stark beeinträchtigt - eingedolt), aber auch welche Gewässer in gutem Zustand geschützt und erhalten werden sollen (natürlich/naturnah) (Hütte und Niederhauser, 1998). Die Datenerhebung liegt jedoch schon eine längere Zeit zurück, wodurch gewisse Abschnitte schon vor mehr als 10 Jahren beurteilt wurden. Daher ist die Aktualität der Daten nicht mehr überall gegeben (Göggel, 2012).

### Aufwand durch Anlagen im Gewässerraum

Bei einer allfälligen Revitalisierung eines Gewässers müssen gewisse Anlagen, welche im Gewässerraum liegen, verlegt werden. Dies ist mit einem Aufwand verbunden, welcher für die Fliessgewässer erhoben werden muss. Die betroffenen Anlagen und der jeweils benötigte Aufwand werden von der Strategischen Planung des BAFUs vorgegeben und für die zu entwickelnde Multikriterienanalyse übernommen (Tabelle 1). Die Klassen der Aufwände reichen von gering über mittel bis gross und werden später für die Verrechnung mit den Werten 1-3 ausgedrückt (Göggel, 2012).

**Tabelle 1:** Anlagen im Gewässerraum mit voraussichtlichem Aufwand, übernommen von der Strategischen Planung des BAFU (Göggel (2012), Seite 26). Die eingefärbte Kategorie konnte für die nationale Umsetzung in dieser Arbeit wegen fehlender Daten nicht berücksichtigt werden.

Anlagen	Voraussichtlicher Aufwand zur Verlegung
Gebäude:	
- Wohn-, Gewerbe-, Industriegebäude	gross
- Kleine Einzelgebäude	mittel
Siedlungs-, Gewerbe-, Industrieflächen ohne Gebäude (z. B. Parkplätze, Abstellflächen etc.)	mittel
Strassen, inkl. Brücken:	
- Autobahn, Autostrasse, 1.-Klass-Strasse	gross
- 2.-Klass-Strasse, Quartierstrasse, 3.-Klass-Strasse	mittel
- 4. - 6.-Klass-Strasse (Wege)	gering
Eisenbahnlinien	gross
Leitungen (Elektrizität, Gas, Wasser, Abwasser):	
- Transitleitungen, Hauptleitungen	mittel - gross
- Lokale Leitungen, Werkleitungen	gering
ARA (nicht sanierungsbedürftig)	gross
Kraftwerke, Ausgleichsbecken, Staustufen	gross
Grundwasserfassungen mit Grundwasserschutzzonen	mittel - gross
Hochwasserdämme (nicht sanierungsbedürftig, kein Ausbau nötig)	mittel
Wildbachverbauungen (sehr steile Gewässer mit vielen Abstürzen)	mittel - gross
Altlasten	gering - gross
Kulturtechnische Anlagen (z.B. Pumpwerke)	gering - gross

Die in Tabelle 1 gemachten Vorgaben werden in dieser Arbeit folgendermassen umgesetzt (Genauere Angaben in Tabelle 6 im Anhang auf Seite 70):

#### Gebäude:

Um zwischen den kleinen Einzelgebäuden und den restlichen Gebäuden unterscheiden zu können, wird die Grenze bei einer Flächengrösse von 120m<sup>2</sup> gezogen. Bauten mit einer Flächengrösse kleiner als 120m<sup>2</sup> erhalten einen mittleren Wert für den



Aufwand, grössere Gebäude einen grossen Wert. Die Flächengrössen aller Gebäude sind im Datensatz TLM\_GEBAEUDE\_FOOTPRINT enthalten.

Siedlungs-, Gewerbe-, Industrieflächen ohne Gebäude:

Für die bebauten Flächen ohne Gebäude wird die Arealstatistik verwendet. In dieser werden die Kategorien Gebäude- und Industrieumschwung, Erholungs- und Grünanlagen, Autobahngrün, Parkplätze, Strassengrün, Bahnhofgelände, Bahngrün und Flughafenareale selektiert. Liegen solche Flächen in einem Gewässerraum, entsteht dadurch ein mittlerer Aufwand.

Strassen inklusive Brücken:

Der Datensatz TLM\_STRASSE enthält alle relevanten Informationen zu den Strassen. Diese werden in drei Aufwandklassen eingeteilt. Die Klassen Autobahn, Autostrasse und 1.-Klass-Strassen erhalten den Aufwand gross, die 2.-Klass-Strassen, Quartierstrassen und 3.-Klass-Strassen erhalten einen mittleren und die kleinsten Strassen mit den Kategorien 4.-6.-Klass-Strassen und Wege erhalten den geringsten Aufwand.

Eisenbahnlinien:

Die Eisenbahnlinien sind im Datensatz TLM\_EISENBAHN enthalten. Diese Anlagen im Gewässerraum führen zu einem sehr grossen Verlegungsaufwand und erhalten daher den Wert gross.

Leitungen:

Für die Leitungen sind kaum nationale Datensätze vorhanden. Daher müssen hier einige Abstriche für die gesamtschweizerische Untersuchung gemacht werden. Bei den Transitleitungen und Hauptleitungen ist nur ein Datensatz zu den Hochspannungsleitungen (TLM\_VERSORGUNGS\_BAUTE\_LIN) und Wasserleitungen für Wasserkraftwerke (TLM\_FLIESSGEWAESSER) vorhanden. Die Hochspannungsleitungen erhalten einen mittleren Wert für den Aufwand. Die Wasserleitungen sind die Kategorien der einfachen und mehrfachen oberirdischen Druckleitungen und die Druckstollen. Diese würden bei einer Verlegung einen grossen Aufwand generieren.

Für Gasleitungen, elektrische Leitungen sowie lokale Leitungen und Werkleitungen sind keine Datensätze vorhanden. Daher werden sie in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Abwasserreinigungsanlagen:

Die Arealstatistik enthält eine Kategorie der Abwasserreinigungsanlagen. Diese

wird verwendet, um die ARAs in den Gewässerräumen zu finden. Die Verlegung dieser Auflagen wäre mit einem beträchtlichen Aufwand verbunden, daher erhalten sie den Wert gross.

**Kraftwerke, Ausgleichsbecken, Staustufen:**

Die Statistik der Wasserkraftanlagen (WASTA) des Bundesamts für Energie enthält Angaben zu den Zentralen der Wasserkraftanlagen der Schweiz (Hydropower-Plant). Diese Kraftwerke erhalten, falls sie im Gewässerraum liegen, den Wert gross für den Aufwand.

Ausgleichsbecken sind nur in einem Datensatz vorhanden, indem sie in der gleichen Kategorie wie Schwimmbecken liegen. Diese beiden können nicht voneinander getrennt werden, daher werden die Ausgleichsbecken bei dieser Analyse weggelassen.

Staustufen werden aus zwei Datensätzen herausgefiltert. Der erste davon ist der Datensatz der Ökomorphologie mit den Bauwerken (om\_bauwerke\_gwl25). Von diesem werden die Typen Stau-, Streich- und Tirolerwehre, Talsperren und Schleusen verwendet. Ausserdem wird aus dem Datensatz TLM\_STAUBAUTE die Staumauern und Staudämme zu den Staustufen dazugefügt. Die Staustufen erhalten einen grossen Wert für den Verlegungsaufwand.

**Grundwasserfassungen mit Grundwasserschutz zonen:**

Die Grundwasserkarten enthalten verschiedene Zonen und Areale. Daher werden die Zonen 1 und 2 und die restlichen Zonen unterschiedlich behandelt. Die stärker geschützten Zonen 1 und 2 erhalten einen grossen Aufwand, die restlichen Zonen einen mittleren.

**Hochwasserdämme:**

Die Arealstatistik enthält eine Kategorie für Hochwasserverbauungen. Diese wird verwendet und enthält einen mittleren Verlegungsaufwand.

**Wildbachverbauungen:**

Die zu berücksichtigenden Verbauungen sollen an "sehr steilen Gewässern mit vielen Abstürzen" (Göggel (2012), Seite 26) liegen. Um dieses Kriterium in die Analyse aufnehmen zu können, wird mit einer Vereinfachung gearbeitet. Durch den Datensatz TLM\_VERBAUUNG\_MAUER (Objektart Gewässerverbauung) werden alle erfassten Verbauungen in die Analyse mit einbezogen. Diese Objektart enthält Bach- und Flussverbauungen sowie Hafenumauern, unabhängig von der Neigung des Geländes. Für den Aufwand erhalten diese Anlagen einen mittleren Wert.

**Altlasten:**

Für die Altlasten ist kein nationaler Datensatz vorhanden. Daher wird die Arealstatistik verwendet. Diese enthält eine Kategorie zu Deponien. Diese werden anhand der Angaben in den Richtplänen der Kantone Aargau, Graubünden und Zürich ergänzt. Die Verlegung von Deponien würde einen mittleren Aufwand mit sich bringen.

**Kulturtechnische Anlagen:**

Der Datensatz TLM\_EINZELOBJEKT enthält die Objektart Wasserversorgung, in welcher Reservoirs, Zisternen, Pumpstationen etc. enthalten sind. Für deren Verlegung wird mit einem mittleren Aufwand gerechnet.

Um nun den Aufwand in einem Gewässerraum zu erhalten, müssen die oben erwähnten Raster der verschiedenen Anlagen überlagert werden. So entsteht ein Raster mit dem gesamten Aufwand für den jeweiligen Gewässerraum. Mit einem Moving Window, welches an die Breiten der Gewässerräume angepasst ist, werden die Werte etwas geglättet. Damit soll der Tatsache Rechnung getragen werden, dass eine Anlage mit einem grosser Aufwand die Möglichkeit für eine Revitalisierung noch einige Meter weiter beeinflusst als nur am direkten Standort.

Durch unterschiedliche Befehle im Moving Window werden drei Grössen berechnet:

- (a) Maximaler Aufwand: Hierbei wird die Funktion Maximum für das Moving Window gewählt. So wird für das gesamte Fenster der Wert des höchsten Aufwandes ausgegeben.
- (b) Aufwandsumme: Mit der Summe in einem Moving Window werden einerseits die Gesamtkosten und nicht nur die maximalen Kosten für eine Aufweitung und andererseits der Widerstand berechnet. Der Widerstand berücksichtigt, dass der Aufwand durch viele eng beieinander liegende Anlagen im Gewässerraum steigt, unabhängig von der Art oder Bewertung der Anlagen. Diese beiden Module werden erstellt und in der Multikriterienanalyse mit den anderen Filtern kombiniert. Für die Auswertung der Ergebnisse werden sie allerdings nicht weiter verfolgt, da der Maximale Aufwand der BAFU Vorlage besser entspricht.

Die Funktionsweise eines Moving Windows sowie der Unterschied der beiden Befehle Maximum und Summe ist im Anhang A.4 auf Seite 72 erklärt.

**Aufwertungspotenzial**

Für das Aufwertungspotenzial werden nun die beiden Module Ökomorphologie und Aufwand kombiniert. Die genaue Zuteilung der Werte stammt aus der Strategischen Planung des BAFU

und ist in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Kombination von Ökomorphologie und Aufwand zum Aufwertungspotenzial, übernommen und angepasst von der Strategischen Planung des BAFU (Göggel, 2012)

		Ökomorphologischer Zustand			
		Natürlich / naturnah	Wenig beeinträchtigt	Stark beeinträchtigt	Naturfremd / künstlich, eingedolt
Anlagen im Gewässerraum (bzw. Aufwand zu deren Entfernung)	Keine	Gering	Mittel	Gross	Gross
	Gering	Gering	Mittel	Gross	Gross
	Mittel	Gering	Gering	Mittel	Gross
	Gross	Gering	Gering	Gering	Gering

Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass Gewässer, welche schon in einem natürlichen Zustand sind, nur ein sehr geringes Aufwertungspotenzial besitzen. Dies kommt daher, dass mit einer Revitalisierung keine grosse Aufwertung erreicht werden kann. Ebenso ist das Potenzial bei Abschnitten mit einem grossen Aufwand gering. Hier wäre der Aufwand und somit die Kosten zu hoch und nicht verhältnismässig. Bei den beeinträchtigten oder künstlichen Abschnitten kann jedoch, wenn der Aufwand nicht zu gross ist, eine grosse Aufwertung mit verhältnismässigem Aufwand erreicht werden (Göggel, 2012).

### 2.1.3 Nutzen

Die Strategische Planung sieht nun weiter vor, dass zusätzlich zum Aufwertungspotenzial die landschaftliche Bedeutung und das ökologische Potenzial des Gewässers berücksichtigt werden sollen. Damit soll ein möglichst grosser Nutzen für Natur und Landschaft generiert werden (Göggel, 2012). Die Daten, welche für dieses nächste Modul der Multikriterienanalyse benutzt werden sollen, sind in Tabelle 4 aufgelistet. Neu werden Auenwälder, welche die jeweiligen Gewässerräume berühren, ebenfalls zum Gewässerraum hinzugefügt. Bei den nachfolgenden Filtern gehören zum Gewässerraum also immer auch die angrenzenden Auenwälder.

Doch bevor die landschaftliche Bedeutung erhoben wird, weicht die entwickelte Multikriterienanalyse von der BAFU-Vorgabe ab. Da einige der in Tabelle 4 aufgelistete Kategorien bei einer allfälligen Revitalisierung negativ beeinträchtigt würden falls sie im Gewässerraum liegen, wird in dieser Multikriterienanalyse zusätzlich das Modul Naturkosten eingefügt (siehe Abbildung 2).

## Naturkosten

In den Naturkosten werden die Inventare zu den Flachmooren, Hochmooren und den Moorlandschaften berücksichtigt. Diese Flächen würden, falls sie im Gewässerraum liegen, bei einer Revitalisierung negativ beeinträchtigt oder zerstört. Daraus entstehen Verluste und somit Kosten. Daher erhalten sie Werte von mittleren (Moorlandschaften, Wert 2) bis grossen Kosten (Flach- und Hochmoore, Wert 3) zugeteilt. Ebenfalls in diesem Filter berücksichtigt wird die Neigung des Geländes im Gewässerraum. Ist diese steiler als 6 Prozent, ist der natürliche Flusslauf eher gerade und nicht mäandrierend und somit weniger attraktiv für eine Renaturierung (Rohde et al., 2005). Daher erhalten grosse Neigungen im Gewässerraum einen mittleren Wert für die Naturkosten. Ausserdem soll mit diesem Kriterium die Kategorie der BAFU Vorlage "Gebiete mit Potenzial für flussmorphologische Entwicklung" im GIS umgesetzt werden.

Die erwähnten Kategorien werden wie schon beim Modul Aufwand behandelt. Sie erhalten den oben erwähnten Wert zugeteilt, falls sie im Gewässerraum liegen. Dann werden alle Datensätze in einem einzigen Datensatz für die Naturkosten zusammengefügt. Da die Neigung eine grössere Fläche betrifft als die restlichen drei Kategorien, wird sie nur mit einer Gewichtung von 0.1 addiert, die restlichen mit 1. Damit soll verhindert werden, dass der Einfluss der Neigung einen zu starken Einfluss hat, welcher nur aufgrund der Flächengrösse und nicht der Bedeutung der Kategorie an sich entsteht. Der fusionierte Datensatz wird schliesslich mit einem Moving Window mit der Funktion Summe vereinheitlicht und mittels Quantilen<sup>8</sup> in die Klassen geringe bis grosse Naturkosten (1 - 3) eingeteilt. Es kann jedoch auch Flächen ohne Naturkosten geben, welche den Wert 0 erhalten. Die Tabelle 7 im Anhang auf Seite 71 gibt eine Übersicht über die beschriebenen Daten und Bewertungen.

## Nutzen

In einem weiteren Schritt der Multikriterienanalyse werden die Naturkosten mit dem Aufwertungspotenzial kombiniert. Wie dabei die fünf neuen Klassen von einem sehr geringen bis sehr grossen Nutzen (0 - 4) verteilt werden ist aus Tabelle 3 ersichtlich. Einen sehr grossen Nutzen erhalten nur diejenigen Abschnitte, welche ein grosses Aufwertungspotenzial und keine Naturkosten haben. Grosse Naturkosten führen jedoch zu einem sehr geringen Nutzen, wodurch eine Revitalisierung unwahrscheinlich wird.

---

<sup>8</sup>Beschreibung der GIS-Klassifizierungsmethode Quantil: "Quantile weisen allen Klassen die gleiche Anzahl von Datenwerten zu. Es gibt keine leeren Klassen oder Klassen mit zu wenigen oder zu vielen Werten." <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#//00s50000001r000000> (2013), abgerufen am 26.3.2013

**Tabelle 3:** Zuordnung der Werte bei der Kombination vom Aufwertungspotenzial und Naturkosten zum Nutzen

Naturkosten	Aufwertungspotenzial		
	gering	mittel	gross
keine	gering	gross	sehr gross
gering	sehr gering	gering	mittel
mittel	sehr gering	sehr gering	gering
gross	sehr gering	sehr gering	sehr gering

### 2.1.4 Renaturierungseignung

Für den landschaftlichen Wert rund um die Gewässer wird mit einem Landschafts-Buffer gearbeitet. Dieser hat einen Durchmesser von 1.5km. Die Idee hinter diesem recht grossen Bufferstreifen liegt darin, dass die ökologisch wertvollen Flächen, welche in diesem Buffer liegen, bei einer Revitalisierung als Quelle von neuen, wertvollen Arten dienen können. Sind die Flächen jedoch weiter entfernt, ist die Distanz irgendwann für viele Arten unüberwindbar. Somit wäre der renaturierte Abschnitt isoliert und die ökologische Wirkung oder der Nutzen wäre kleiner.

#### Landschaft

Um die wertvollen Gebiete in der Nähe der Gewässer zu erheben, werden vom 1.5km Buffer die normalen Gewässerräume ausgespart. Es wird also untersucht, welche der in Tabelle 4 genannten wertvollen Flächen in einem Radius von 750m bis an den Gewässerraum heran, liegen. Wegen der schweizweiten Analyse können von den in der Tabelle aufgelisteten Kategorien allerdings nur die Bundesinventare verwendet werden. Die kantonal wichtigen Flächen, oder diejenigen welche nicht als GIS-Datensatz vorhanden sind, können nicht berücksichtigt werden. Diese sind in der Tabelle 4 eingefärbt.

Die verfügbaren Datensätze werden folgendermassen in das Modul Landschaft integriert (Übersicht in Tabelle 7 im Anhang auf Seite 71):

Auenwälder:

Für die Auenwälder wird das "Bundesinventar der Auenwälder von nationaler Bedeutung" verwendet. Auen, welche nicht zum Gewässerraum addiert wurden, aber im Landschaftsbuffer liegen, erhalten einen grossen landschaftlichen Wert.

National bedeutende Fischlaich- und Krebsgebiete:

Die beiden verwendeten Fischarten sind die Äschen und Nasen. Für diese gibt es

**Tabelle 4:** Verwendete Daten zur Bestimmung des ökologischen Potenzial und landschaftlicher Bedeutung eines Gewässers, übernommen und angepasst von der Strategischen Planung des BAFUs (Göggel, 2012)

Datensatz	Wert Naturkosten	Wert Landschaft
<b>Bundesinventare</b>		
Aueninventar	-	gross
Fischlaich-, Krebsgebiete	-	gross gross
Flachmoor-, Hochmoorinventar	gross gross	gross gross
Moorlandschaftsinventar	mittel	mittel
BLN	-	gross
Amphibienlaichgebiete	-	gross
<b>Weitere Schutzgebiete und Lebensräume</b>		
<b>Geschützte Gebiete gemäss SNP</b>		
Kernzone Nationalpark, Naturerlebnispark, Schweizerischer Nationalpark	-	gross
Kantonale Natur- und Landschaftsschutzgebiete		
Schutzwürdige Lebensräume gemäss NHG		
Smaragd-Gebiete	-	gross
Besondere Fischlebensräume		
<b>Morphologie und Landschaft</b>		
Gebiete mit Potenzial für fluss- morphologische Entwicklung	mittel	-
Natürliche oder naturnahe Gewässer nach Ökomorphologie Stufe F		
Seltene Gewässertypen		
Landschaftlicher Wert		
<b>Weitere Kriterien</b>		
Unbeeinflusster Abfluss		
Naturnaher Geschiebehalt		
Lage im Gewässerhaushalt		
Mündungen		

nationale Datensätze, nämlich die "Äschenpopulationen von nationaler Bedeutung" und die "Nasenlaichplätze". Die Äsche ist eine Fischart, welche sensibel auf Veränderungen der Umwelt reagiert. Der von ihr benötigte Lebensraum (schnell fließende, sauerstoffreiche Mittelläufe mit kiesigem Flussbett) geht mehr und mehr verloren (BAFU, 2011a). Die Nase gilt als stark gefährdet, daher müssen deren Laichplätze unbedingt erhalten werden (BAFU, 2011b). Da diese Arten so wertvoll

sind, erhalten sie einen grossen Wert für die landschaftliche Bedeutung. Für die Krebsgebiete ist kein nationaler Datensatz vorhanden, daher können sie in dieser Analyse nicht berücksichtigt werden.

Flachmoor- und Hochmoorinventar:

Moore sind in den "Bundesinventaren für Flachmoore und Hochmoore von nationaler Bedeutung" erfasst. Dies sind in der Schweiz stark geschützte Gebiete, daher erhalten sie einen grossen Wert, falls sie ausserhalb der Gewässerräume, aber im Landschafts-Buffer liegen.

Moorlandschaftsinventar:

Die Moorlandschaften sind im "Bundesinventar der Moorlandschaften von nationaler Bedeutung" für die gesamte Schweiz erfasst. Da sie jedoch einen tieferen Schutzstatus als die Flach- und Hochmoore besitzen, werden sie der Klasse mit einem mittleren landschaftlichen Wert zugeteilt.

BLN:

Das "Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung" enthält Flächen, welche einen grossen Wert für die Landschaft besitzen.

Amphibienlaichgebiete:

Das "Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung" enthält ortsfeste Objekte und Wanderobjekte der 19 Amphibienarten der Schweiz. Fast alle dieser Arten sind Rote Liste Arten, also gefährdet (BAFU, 2012a). Daher erhalten ihre Lebensräume in diesem Modul einen grossen Wert für die Landschaft.

Kernzone Nationalpark, Naturerlebnispark, Schweizerischer Nationalpark im Kanton Graubünden:

Zu dieser Kategorie gibt es zwei Datensätze, die "Pärke von nationaler Bedeutung" und der Schweizer Nationalpark. Pärke von nationaler Bedeutung sind Nationalpärke, Regionale Naturpärke und Naturerlebnispärke (BAFU, 2012b). Diese werden mit dem Schweizer Nationalpark kombiniert und die Flächen erhalten einen mittleren Wert, falls sie innerhalb des Landschaftsbuffers liegen.

Smaragd-Gebiete:

In Smaragd-Gebieten kommen gewisse definierte Smaragd-Tier- und Pflanzenarten sowie Smaragd-Lebensräume vor, welche gefährdet sind und geschützt werden sollen. Die Schweiz hat 37 solcher Gebiete, welche zu einem gesamteuropäischen Netzwerk gehören (BAFU, 2011c). Als Klasse werden sie einer grossen landschaftlichen Bedeutung zugewiesen.



Diese so bearbeiteten Landschaftsdatensätze werden alle zu einem einzigen Datensatz summiert. Die Flächengrößen der verschiedenen Kategorien unterscheiden sich jedoch sehr stark. Smaragd-Gebiete zum Beispiel können sehr ausgedehnt sein, die Fischlaichgebiete jedoch eher klein und lokal. Um diese Unterschiede auszugleichen werden die Kriterien gewichtet miteinander summiert. Die grossflächigen Daten (Moorlandschaften, BLN, Pärke und Smaragd-Gebiete) werden mit 0.01 gewichtet, die restlichen mit 1. Der so zusammengefasste Landschaftsdatensatz wird wie schon beim Aufwand und den Naturkosten mit einem Moving Window vereinheitlicht. Dieses ist an die Grösse des 1.5km Buffers angepasst und summiert die einzelnen Landschaftsbewertungen, welche mittels Quantilen in die Klassen für einen geringen, mittleren oder grossen Wert für die Landschaft eingeteilt werden. Ausserdem gibt es Abschnitte ohne landschaftlichen Wert, diese werden der Klasse "keine" landschaftliche Bedeutung zugewiesen.

### Renaturierungseignung

Als letzter Schritt der Multikriterienanalyse wird nun das Modul Nutzen mit dem Landschaftsfilter kombiniert. Da die Gewässerräume des Nutzen-Filters dort enden, wo der Landschaftsbuffer beginnt, bedarf es einer raumübergreifenden Wertzuweisung. Dabei erhalten die Flussabschnitte diejenige Klasse der Landschaft zugewiesen, welche unmittelbar am Gewässerraum anliegt. So entsteht eine Kombination, welche eine Aussage erlaubt über die Renaturierungseignung der Gewässerabschnitte. Die Wertzuordnung der Klassen ist in der Tabelle 5 sichtbar.

**Tabelle 5:** Zuordnung der Werte bei der Kombination zur Renaturierungseignung

Landschaft	Nutzen				
	sehr gering	gering	mittel	gross	sehr gross
kein	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel
gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel	gross
mittel	sehr gering	gering	mittel	gross	sehr gross
gross	gering	mittel	gross	sehr gross	sehr gross

### 2.1.5 Weitere Filter

Neben den oben beschriebenen Modulen der Multikriterienanalyse gibt es noch zwei weitere, welche die Lokalisierung geeigneter Renaturierungsabschnitte erleichtern sollen. Dies sind einerseits die Durchgängigkeitsstörungen und andererseits die ökologische Eignung von Rohde et al. (2005).

#### **Durchgängigkeitsstörungen**

Das revidierte Gewässerschutzgesetz enthält die Vorgabe, dass ökologische Beeinträchtigungen, welche durch Wasserkraftnutzung entstehen, beseitigt werden müssen (GSchG Artikel 39a und 43a). Künstliche Durchgängigkeitsstörungen, welche oftmals mit der Wasserkraftnutzung einher gehen, beeinträchtigen die Fischwanderung und müssen daher entfernt oder so saniert werden, dass sie von Fischen überwunden werden können (Hefti, 2012). Die Durchgängigkeitsstörungen sollen laut der Strategischen Planung bei der Lokalisation geeigneter Renaturierungsabschnitte ebenfalls berücksichtigt werden (Göggel, 2012). Allerdings wird nicht weiter ausgeführt, wie dies gemacht werden soll.

Die Beurteilung zur Ökomorphologie auf Stufe S enthält eine Klassifikation für das Defizit der Durchgängigkeit. So sind Abstürze ab einer gewissen Höhe ein Problem, steile Sohlrampen sowie lange Verrohrungen (Göggel und Wagner, 2006). Göggel und Wagner (2006) teilen die Hindernisse in drei Klassen ein: Höhenunterschiede kleiner als 20cm sind von den meisten aquatischen Organismen überwindbar und daher kein Problem. Hindernisse von 20 - 70cm Höhe sind von gewissen Arten noch überwindbar und stellen daher eine mässig bis grosse Störung dar. Unüberwindbar sind Höhenunterschiede von über 70cm. Diese führen zu einem sehr starken Defizit in der Durchgängigkeit der Fliessgewässer (Göggel und Wagner, 2006).

Für den Filter der Durchgängigkeitsstörungen in der gesamten Schweiz werden die Ökomorphologiedatensätze zu den Bauwerken (Sohlrampen, Stau-, Streich-, Tirolerwehr und Talsperren) und Abstürzen (künstliche sowie natürliche) verwendet. Die Hindernisse werden gemäss ihrer Höhe den Klassen überwindbar oder unüberwindbar zugeteilt. Mit einem Moving Window mit Kantenlänge 1.5km werden die Störungen in einem Gewässersystem aufsummiert. Die Summen werden mit Quantilen in Werte von 1 (sehr wenige Störungen) bis 5 (sehr viele Hindernisse) eingeteilt.

#### **Ökologische Eignung**

Wie in Tabelle 4 zu sehen ist, werden die in der BAFU Wegleitung unter "Weitere Kriterien" genannten Punkte in dieser Multikriterienanalyse nicht mit einbezogen. Dies einerseits, weil GIS-Datensätze für zum Beispiel einen naturnahen Geschiebehaushalt nicht national vorhan-

den sind. Andererseits gibt es eine schweizweite Untersuchung, welche ähnliche und weitere Kriterien berücksichtigt hat. In dieser Untersuchung von Rohde et al. (2005) wurden diverse Werte zur Hydrologie (Wasserentnahme, Schwall und Sunk, Dämme), Erosion des Flussbettes, Wasserqualität (Chemie, Prozent an Landwirtschaftsflächen am Ufer), Vernetzung (Distanz zu vorhandenen Auen, Distanz zu Kiesgruben, Künstliche Migrationsbarrieren) und Biodiversität (Anteil an gewissen Pflanzen- und Tierarten) in einer Multikriterienanalyse im GIS kombiniert. Mit diesem Modell soll eine Aussage möglich sein, wo eine Renaturierung den grössten ökologischen Nutzen hat (Rohde et al., 2005). Diese Karte wird nicht in die Multikriterienanalyse eingebaut, sondern soll eine weitere Entscheidungshilfe sein zur Festlegung geeigneter Standorte für Revitalisierungen (siehe Abbildung 2) .

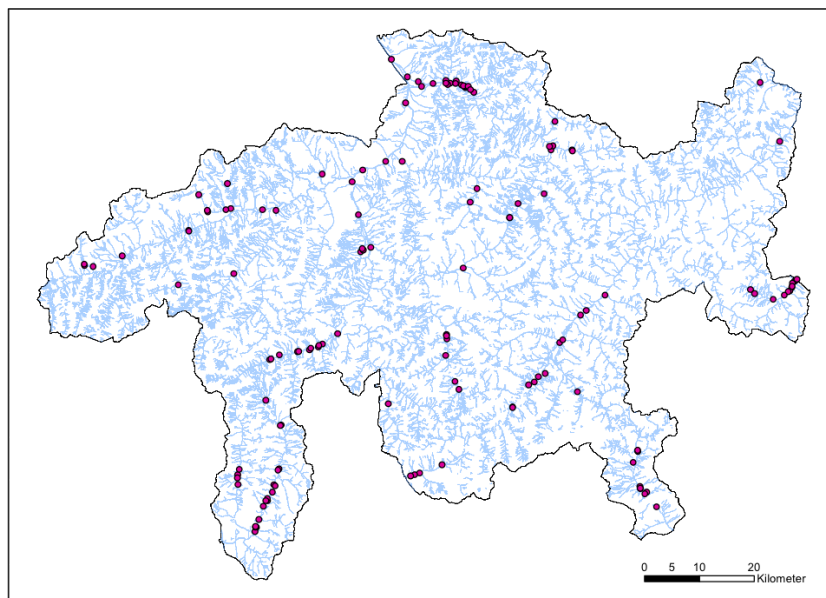
### 2.2 Plausibilitätsprüfung

Nach der GIS-Multikriterienanalyse sieht die Strategische Planung des BAFU eine Plausibilisierung der Ergebnisse durch Experten vor. Dabei sollen die Fachleute das ökologische Potenzial und die landschaftliche Bedeutung der Gewässer sowie die Vernetzung beurteilen, weitere relevante Grundlagen, welche in der GIS-Analyse nicht enthalten waren berücksichtigen und grossräumig planen (Göggel, 2012). Ausserdem sollen die Experten überprüfen, ob die Gewässerabschnitte durch die GIS-Analyse richtig eingeordnet wurden, also ob der Nutzen im richtigen Verhältnis zum Aufwand steht (Göggel, 2012).

Für diese Arbeit wurden zwei unterschiedliche Varianten für eine Plausibilisierung der Ergebnisse der GIS-Multikriterienanalyse gewählt. Zum einen soll die Lage von aktuellen und realisierten Renaturierungen mit den Eignungen für die entsprechenden Flussabschnitte der Module verglichen werden. Diese Variante der Plausibilisierung ist ein Vergleich zwischen Planung und tatsächlicher Umsetzung und ist deshalb nicht eine strikte Plausibilisierung. Eine tatsächliche Plausibilisierung erfolgte mit einem kantonalen Experten.

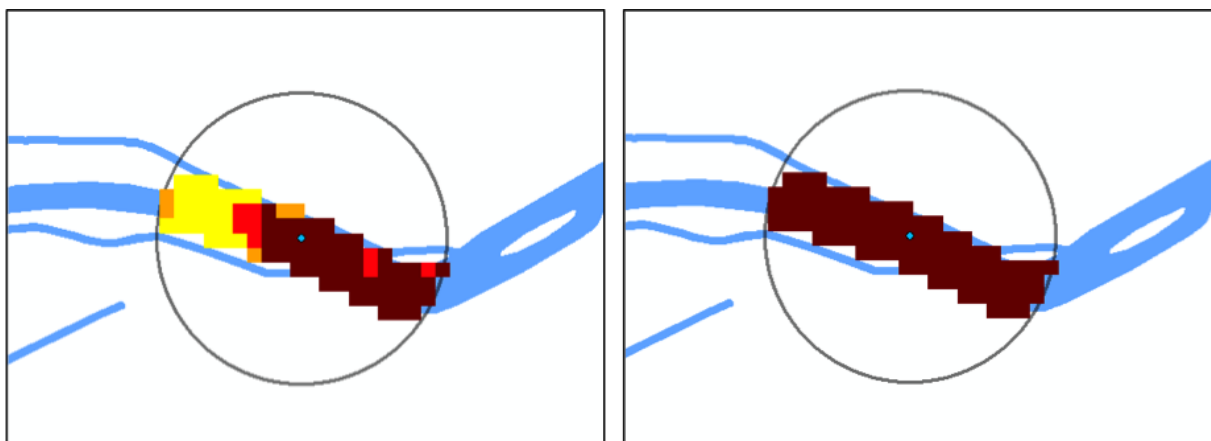
#### 2.2.1 Renaturierungen im Kanton Graubünden

Der Kanton Graubünden hat seine Renaturierungen der letzten etwa 20 Jahre in einem GIS Layer erfasst. Dabei sind alle Massnahmen von einem Schwellenabbau bis zu gros-



**Abbildung 4:** Übersicht aller Renaturierungen im Kanton Graubünden (Punkte) mit dem Gewässernetz. Datenquellen: Renaturierungen des Kanton GR, Gewässernetz und geografische Umriss: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

sen Aufweitungen als Punkte erfasst (Abbildung 4). Nun sollen an diesen Stellen die von der Multikriterienanalyse ermittelten Werte überlagert werden, um zu testen, ob die realen Renaturierungen in Abschnitten liegen, die auch von der Multikriterienanalyse vorgeschlagen werden. Wie in Abbildung 4 ersichtlich, ist das Bündner Gewässernetz einiges umfangreicher als die in der Arbeit berücksichtigten Flüsse (siehe Abbildung 3), daher fallen einige Renaturierungen für diesen Vergleich weg. Von den 139 im Datensatz erfassten Revitalisierungsmassnahmen wurden 111 für die Analyse berücksichtigt. Die Punkte werden mit einem 250m Buffer zu Kreisen vergrössert, da dies die durchschnittliche Länge einer Massnahme im Kanton Graubünden ist (berechnet mit den Angaben auf <http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/ajf/projekte/ArtenundLebensraumschutz/Seiten/Lebensraumschutz.aspx> (2012), abgerufen am 17.12.2012). Schliesslich werden die Kreise à 250m mit der Karte für die Renaturierungseignung verschnitten, aber auch für einige der anderen Module. Abbildung 5 zeigt das Vorgehen für die Karte zur Renaturierungseignung.



**Abbildung 5:** Realisierte Renaturierungen (blauer Punkt) erhalten die häufigste Modulklasse in einem Umkreis à 250m zugeordnet. Links: Abschnitt der Karte Renaturierungseignung im 250m Buffer. Rechts: Der ganze Abschnitt und somit die in ihm liegende Renaturierung, erhält die Klasse des häufigsten Wertes zugeordnet. Datenquellen: Renaturierungen des Kanton GR und Gewässernetz: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

Zuerst werden die Karten auf die durchschnittliche Renaturierungslänge von 250m zugeschnitten. Dann wird ermittelt, welche Klasse der jeweiligen Karte in diesem Abschnitt am häufigsten ist und dieser Wert wird dann dem ganzen Abschnitt zugeteilt. Mit dieser Vereinfachung werden die Abbildungen 12 und 13 erstellt.

### 2.2.2 Einschätzung eines kantonalen Experten

Für eine Beurteilung der Ergebnisse durch einen Experten hat sich freundlicherweise Marco Baumann zur Verfügung gestellt. Marco Baumann ist der Leiter der Abteilung Wasserwirtschaft und Wasserbau des Amtes für Umwelt des Kantons Thurgau. Daher ist er vertraut mit den Gewässern des Kantons sowie der Revitalisierungsplanung.

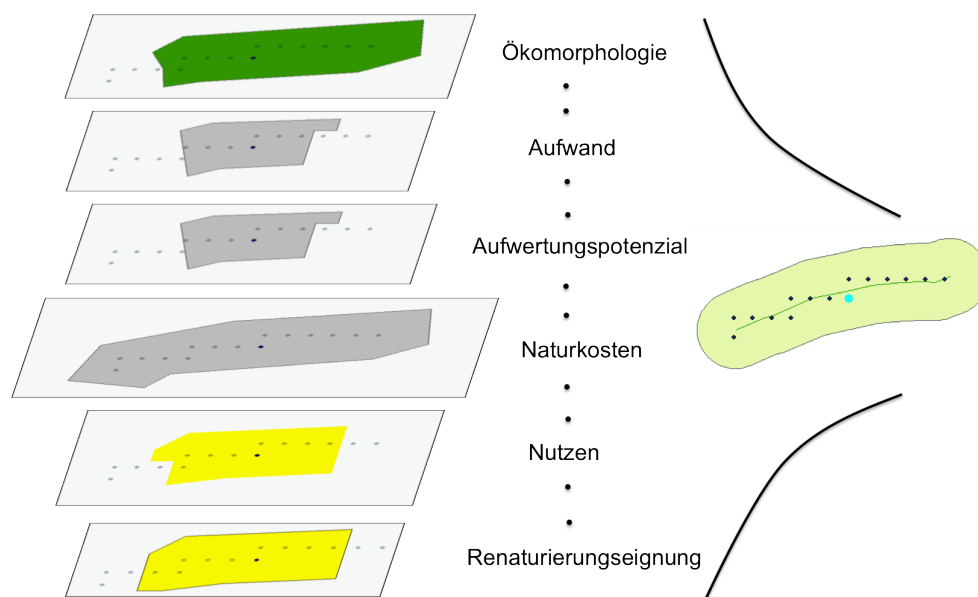
Für diese Einschätzung der Ergebnisse wurden die Karten auf den Thurgau zugeschnitten und um einige kantonale Datensätze ergänzt. Die Zusammensetzung des Moduls Aufwand wurde unverändert für den Thurgau übernommen. Es wurden also keine zusätzlichen kantonalen Datensätze mit Informationen zu Anlagen im Gewässerraum in den Filter Aufwand integriert. Bei dem Modul Naturkosten werden neu Naturschutzgebiete (grosse Kosten) und geschützte Ortsbilder (wertvoll: mittlere und sehr wertvoll: grosse Kosten) in die Analyse mit einbezogen. Der Landschaftsfilter wird um Vorrang- und Vernetzungsflächen (mittlerer und grosser Wert) und Naturschutzgebiete (grosser landschaftlicher Wert) erweitert. Einige Flächen der gesamtschweizerischen Untersuchung kommen im Thurgau nicht vor oder liegen nicht in einem der Gewässerräume oder im Landschaftsbuffer (Nasenlaichgebiete, Auenwälder, Moorlandschaften, Pärke und Smaragdgebiete).

Die Plausibilisierung durch das Expertengespräch fand im Februar 2013 statt. Ziel dabei ist eine halbquantitative Gegenüberstellung der Ergebnisse der Multikriterienanalyse und dem Expertenwissen, um einen Eindruck über die Funktionalität der Analyse zu gewinnen. Dazu wurde ein Modul der Multikriterienanalyse nach dem andern besprochen. Dabei war wichtig, welche Daten berücksichtigt wurden und wie die Filter miteinander kombiniert wurden. Der Experte konnte jedes Modul auf seine Nützlichkeit bewerten und mit seiner eigenen Einschätzung des Kantons vergleichen. Die beiden Ergebniskarten (Aufwertungspotenzial und Renaturierungseignung) wurden ausführlicher besprochen. Zusätzlich wurden einzelne als für Revitalisierungen geeignete ausgewiesene Gewässerabschnitte der Multikriterienanalyse in Übersichtskarten des Kantons, aber auch auf lokaler Gewässerebene diskutiert. Ausserdem wurde über die angewendete Multikriterienanalyse gesprochen, die Planungslage des Kantons und es wurden Verbesserungsvorschläge angebracht.

## 2.3 Lokalisation der räumlichen Renaturierungs-Hotspots der Schweiz

### Technischer Exkurs: Erfassung aller Modulresultate (Filter) der GIS-gestützten Multikriterienanalyse

Um bei den Resultaten die Zusammensetzung der verschiedenen Modulbewertungen auswerten zu können, sind gewisse Vereinfachungen nötig. Der Flusslauf wird dazu als Punkte mit 12.5m Abstand dargestellt. Diese Punkte erhalten von jedem Filter (Ökomorphologie, Aufwand, Aufwertungspotenzial, Naturkosten, Nutzen und Renaturierungseignung) ausser der Landschaft die Fläche und den Wert desjenigen Polygons zugewiesen, in dem er sich befindet. Dies ist schematisch dargestellt in Abbildung 6.



**Abbildung 6:** Zusammenfassung aller Modulresultate in Punkten. Der markierte Punkt erhält die Flächengrößen und Werte aller Filter, welcher er berührt, zugeteilt. Das Bild ganz rechts zeigt den Buffer mit dem Flusslauf und den Punkten, welche diesen darstellen sollen. Datenquellen: Ökomorphologie Stufe F, BAFU, 3003 Bern

Wie in der Abbildung ersichtlich, kann so für jeden Punkt ermittelt werden, aus was für Flächen der einzelnen Module er zusammengesetzt ist. Diese Informationen werden für die Grafiken in Abbildung 23 verwendet.

Da die Punkte in der Mitte der Gewässerräume liegen, kann es sein, dass kleine Flächen, welche am Rand liegen und somit keinen Punkt berühren, wegfallen.

### 2.3.1 Geeignete Renaturierungsabschnitte

Sowohl ökonomisch als ökologisch ist es sinnvoll, dass die Revitalisierungsabschnitte so lange wie möglich sind. Um diese Strecken in den Ergebnissen der Multikriterienanalyse lokalisieren zu können, muss mit einem Schwellenwert für die Minimallänge gearbeitet werden. Für diesen Wert wird die durchschnittliche Länge aller Aufweitungsbeispiele auf der Internetseite Integrales Gewässermanagement ([http://www.rivermanagement.ch/aufweitungen/aufw\\_b1.php](http://www.rivermanagement.ch/aufweitungen/aufw_b1.php) (2008), abgerufen am 14.1.2013) berechnet, woraus sich eine durchschnittliche Länge von 1.6km ergibt. Diese Länge ist bedingt durch einige gestaffelte Projekte etwas überdimensioniert und wird für die weitere Verwendung halbiert auf 800m.

Die Minimallänge von 800m reicht noch nicht aus, damit ein Flussabschnitt für eine Revitalisierung geeignet ist. Dazu muss das Gewässer zugleich auch erwünschte Werte in den Ergebniskarten der Module Aufwertungspotenzial und Renaturierungseignung erreichen. Für das Aufwertungspotenzial bedeutet dies, dass nur Flussabschnitte mit einem grossen Potenzial berücksichtigt werden. Bei der Renaturierungseignung muss eine grosse oder sehr grosse Eignung erreicht werden. Ergebnisse dieser Selektion nach den geeignetsten Flussabschnitten für eine Revitalisierung sind in den Abbildungen 17, 18 sowie 20 dargestellt. Diese geeigneten Abschnitte entstehen aus den Kombinationen der verschiedenen Module der Multikriterienanalyse. Um diese Zusammensetzung der verschiedenen Filter aufgliedern zu können, wird mit den im technischen Exkurs beschriebenen Punkten gearbeitet.

Mit den räumlich lokalisierten Abschnitten lässt sich eine quantitative Aussage über die Verteilung pro Kanton treffen. Dies ist insofern relevant, da jeder Kanton zur Revitalisierung der Fliessgewässer innerhalb seiner Grenzen verpflichtet ist. Der kantonale Vergleich zeigt somit auf, ob jeder Kanton der Bundesforderung Folge leisten kann. Diese Auszählung wird nur für den 50m Gewässerraum gemacht. Abschnitte, welche sich über Kantonsgrenzen hinaus erstrecken, werden bei jedem betroffenen Kanton dazugezählt, insgesamt also doppelt. Das Ergebnis dazu wird im Abschnitt 3.3.4 beschrieben.

### 2.3.2 Einzugsgebiete

Die Renaturierungsplanung soll nicht auf einzelne Gewässerabschnitte beschränkt bleiben, sondern die Einzugsgebiete mit einbeziehen (Göggel, 2012). Für hydrologische und wasserbauliche Planungen in der Schweiz sind Einzugsgebiete der Bezugsraum (BAFU, 2010). Für die gesamte Schweiz wurde ein Datensatz des BAFU mit allen Einzugsgebieten<sup>9</sup> verwendet. Für

---

<sup>9</sup>Definition Einzugsgebiet des BAFU: "Als Einzugsgebiet eines Punktes gilt dasjenige Gebiet, das bei kompletter Versiegelung der Geländeoberfläche nach dem Auffüllen aller bestehenden Senken durch diesen Punkt entwässert." BAFU (2010), Seite 4



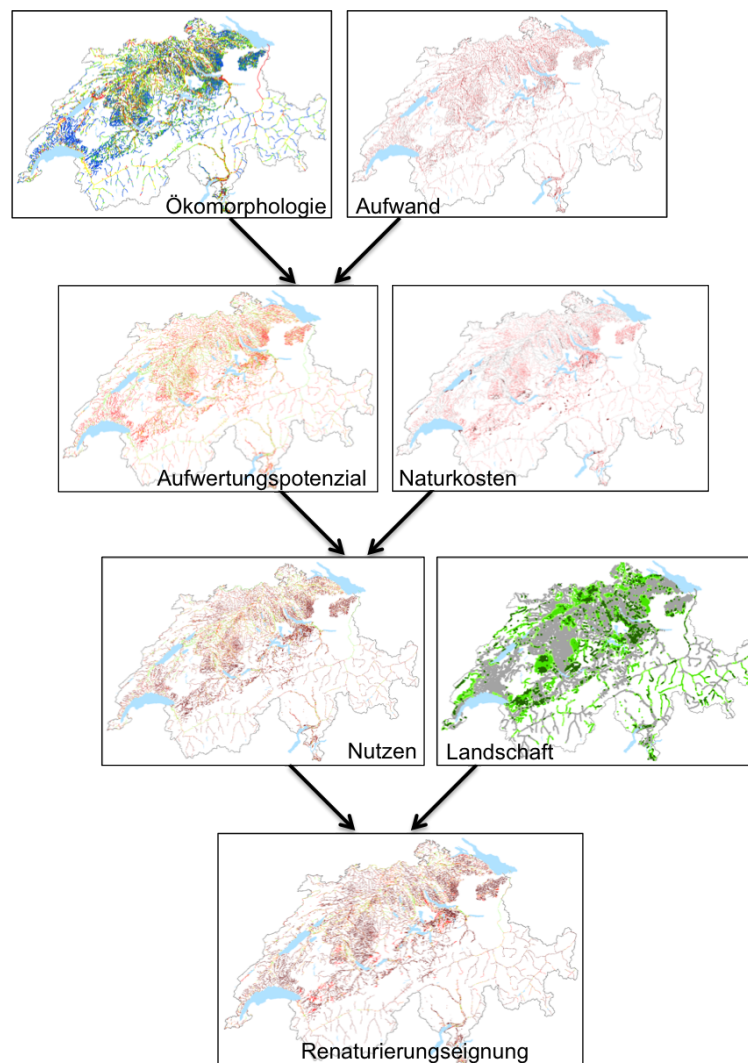
die Auswertung werden die Ergebnisse des Modells auf diese Einzugsgebiete hochgerechnet. Die Einzugsgebiete erhalten denjenigen Wert zugeteilt, welcher im Gebiet am häufigsten vorkommt. Dies ist das gleiche Vorgehen wie es in der Abbildung 5 für die Buffer der Bündner Renaturierungen dargestellt ist. Statt nur der Abschnitt erhält jedoch das gesamte Einzugsgebiet den gleichen Wert.

Mit den am besten für eine Renaturierung geeigneten Abschnitten wird ebenfalls ein Vergleich auf Ebene der Einzugsgebiete gezogen. Mit den Abschnitten werden die betroffenen Einzugsgebiete ausgewählt und in Kartenform dargestellt.

## 3 Resultate

### 3.1 Räumlich umgesetzte Multikriterienanalyse für die gesamte Schweiz

Die Multikriterienanalyse wurde wie in Unterkapitel 2.1 beschrieben entwickelt. Dabei entstanden für die diversen Module verschiedene Karten für alle Gewässerräume und Kombinationen mit den unterschiedlichen Aufwands-Varianten. Einige davon, nämlich die Module, welche in Abbildung 7 aufgelistet sind, sind für den 50m Gewässerraum im Anhang ab Seite 73 in Kartenform angefügt.

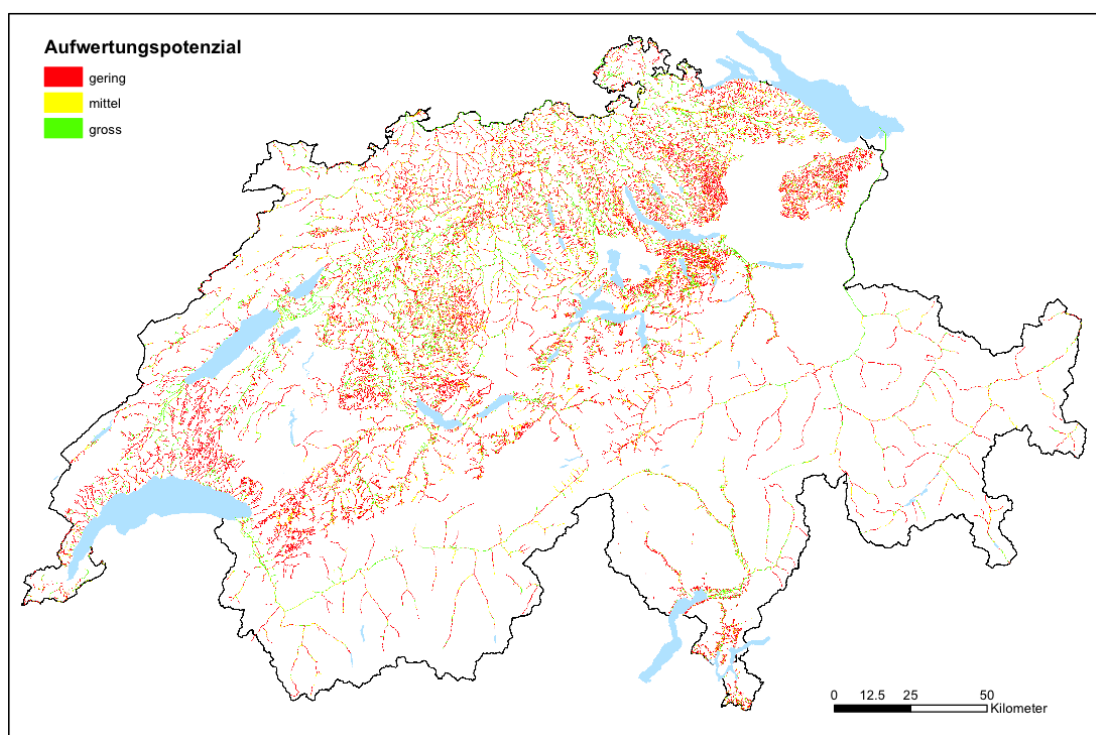


**Abbildung 7:** GIS-gestützte Multikriterienanalyse. Die einzelnen Module sind zur Verdeutlichung in Kartenform dargestellt. Ausgehend von der Ökomorphologie werden die erstellten Module im Laufe der Multikriterienanalyse miteinander kombiniert.

Die beiden Hauptergebnis-Karten (Aufwertungspotenzial und Renaturierungseignung) werden in den beiden folgenden Abschnitten genauer beschrieben.

### 3.1.1 Aufwertungspotenzial

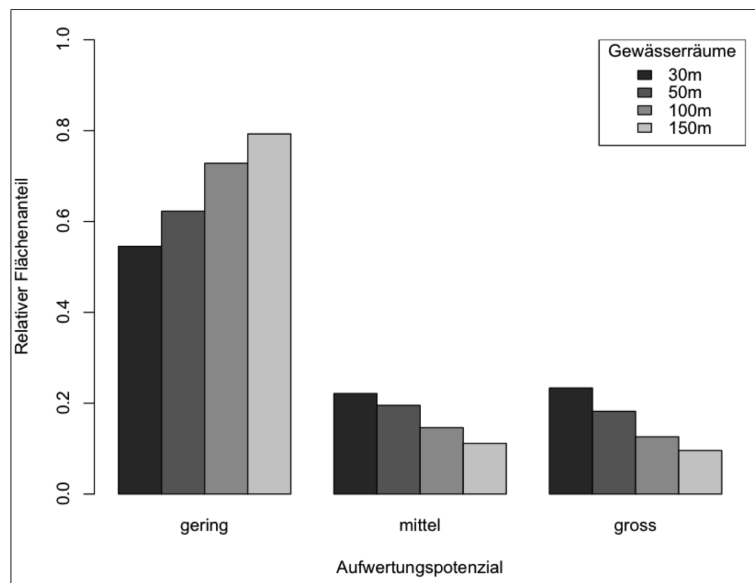
Das Aufwertungspotenzial, welches aus den Modulen Ökomorphologie und Aufwand für Verlegungen von Anlagen besteht, ist in drei Klassen von einem geringen bis grossen Potenzial eingeteilt. Das Ergebnis für die gesamte Schweiz ist in Abbildung 8 ersichtlich.



**Abbildung 8:** Aufwertungspotenzial der gesamten Schweiz im 50m Gewässerraum. Geografische Umriss: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

Ein grosses Aufwertungspotenzial besitzen oftmals die Hauptströme, wobei die Zuflüsse eher ein geringeres Potenzial besitzen. Gebiete mit einem auffällig hohen Anteil an Flüssen mit geringem Potenzial sind die Kantone Appenzell, der Osten des Kantons Zürich, die Zuflüsse zum Genfer See, die Waadt mit Ausnahme der südlichen Zuflüsse des Neuenburgersees etc.

Der Einfluss der Buffergrössen für die Berechnung des Gewässerraumes hat einen ziemlich grossen Einfluss auf das Aufwertungspotenzial der Fliessgewässer, wie die Abbildung 9 zeigt. Diese Grafik verdeutlicht, dass mit vergrössertem Gewässerraum vermehrt Abschnitte in ein geringes Aufwertungspotenzial eingestuft werden. Die Gewässer in den Klassen mit mittlerem



**Abbildung 9:** Einfluss der Buffergrösse (Breite des Gewässerraums) auf das Aufwertungspotenzial: Flächenanteil pro Klasse des Aufwertungspotenzials am gesamten Gewässerraum für jeden Buffer.

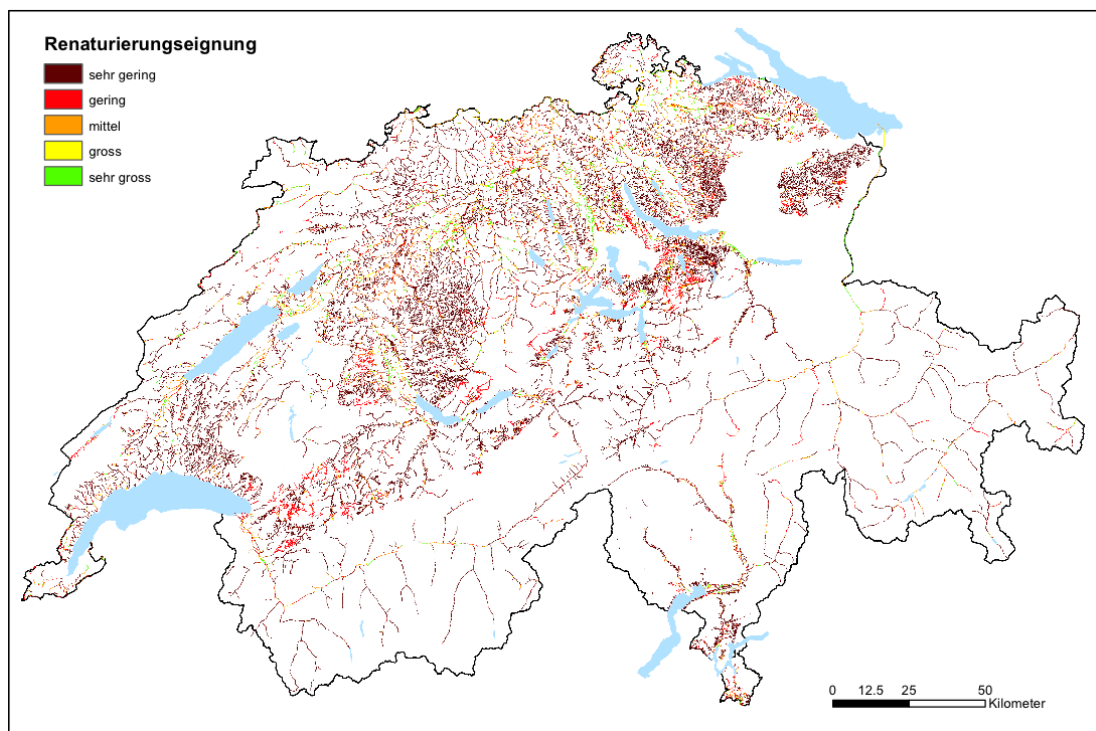
und grossem Potenzial nehmen mit zunehmenden Flächenverbrauch ab. Da die Ökomorphologieklassifizierung der Fliessgewässer vom Gewässerraum unabhängig ist, entsteht diese sichtbare Veränderung der Anteile der Potenzialklassen am gesamten Gewässerraum durch einen zunehmenden Aufwand bei einem breiteren Raumbedarf.

### 3.1.2 Renaturierungseignung

Die Abbildung 10 zeigt eine Karte des Moduls Renaturierungseignung, welches das Endergebnis der Multikriterienanalyse dargestellt.

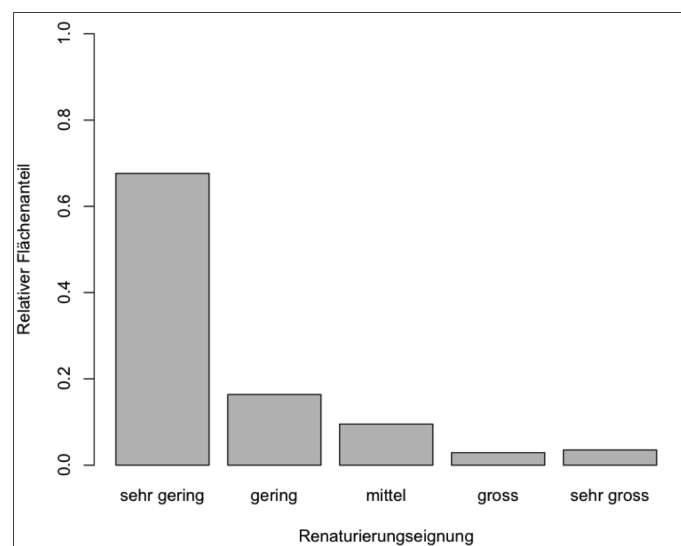
Verglichen mit der Abbildung 8 erreichen weit weniger Gewässer die Klasse mit der besten Eignung für eine Revitalisierung, welche sowohl im Modul Aufwertungspotenzial wie auch im Modul Renaturierungseignung mit grün gekennzeichnet ist. Auch die Hauptströme sind weniger klar als geeignet zu erkennen, sie wurden verstärkt in weniger gut geeignete Klassen eingeteilt. Sichtbar ist dies zum Beispiel an der Rhone im Kanton Wallis.

Analysiert man den Flächenanteil der einzelnen Klassen der Renaturierungseignung am gesamten Gewässerraum ergibt sich eine Verteilung wie in Abbildung 11. Der totale Flächenanteil der Klasse mit dem sehr geringen Wert ist mit 68% der gesamten Gewässerraumfläche deutlich am grössten. Mit zunehmender Revitalisierungseignung nimmt der Anteil an der Gesamtfläche des Gewässerraums ab. Die Klasse mit einer sehr grossen Renaturierungseignung macht nur gerade 3.5% des totalen Gewässerraumes aus. In der Grafik sind die Flächenanteile des 50m



**Abbildung 10:** Renaturierungseignung für die gesamte Schweiz im 50m Gewässerraum. Geografische Umriss: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

Gewässerraumes abgebildet. Für die anderen Gewässerräume sind die Anteile ähnlich zwischen den Klassen der Renaturierungseignung aufgeteilt. Ein direkter Vergleich ist jedoch wegen der Klassifizierung durch Quantile nicht zulässig.



**Abbildung 11:** Flächenanteil pro Klasse der Renaturierungseignung an der Gesamtfläche des 50m Gewässerraums

### 3.2 Plausibilitätsprüfung auf regionaler Ebene

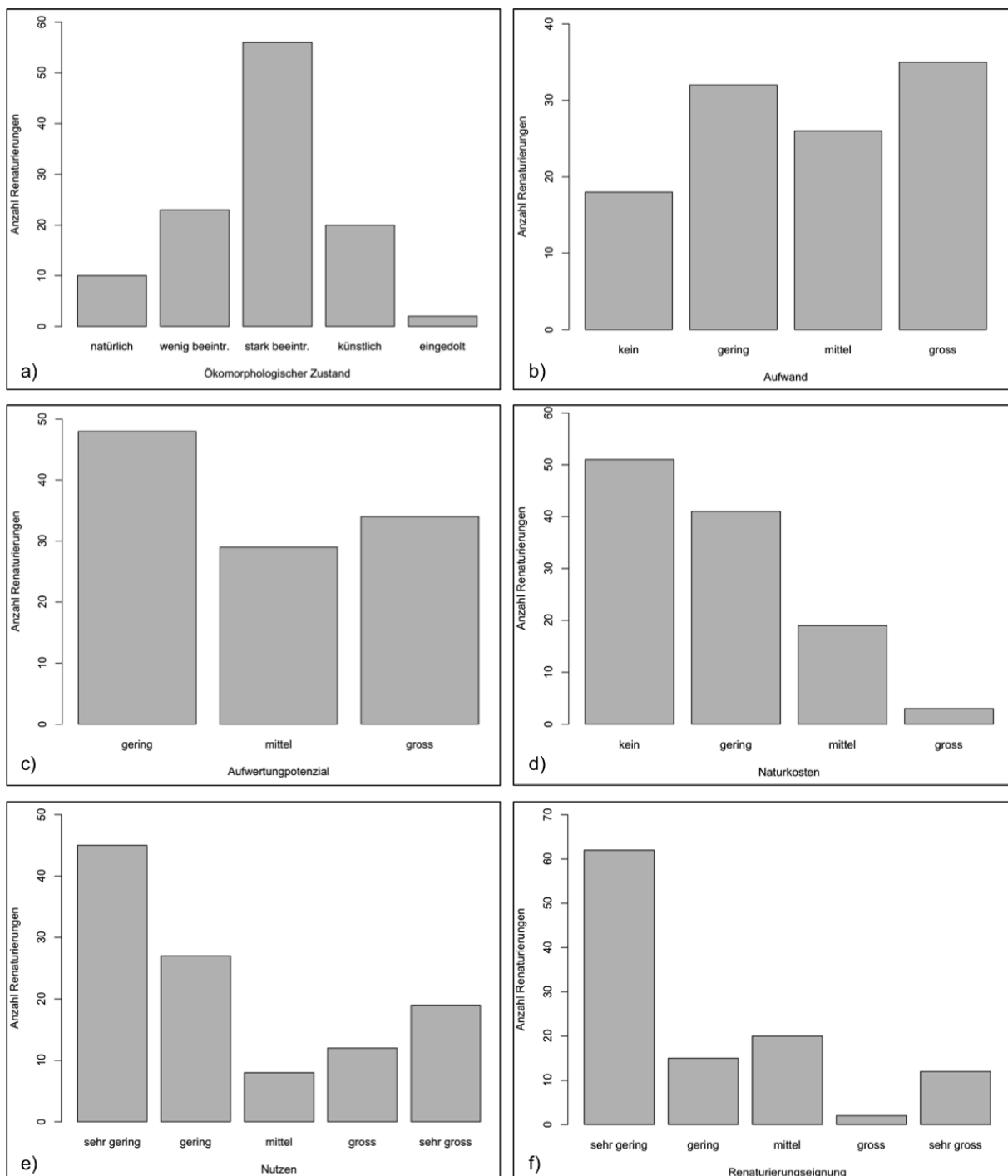
In diesem Unterkapitel folgt nun die Einschätzung zu der Plausibilität der Ergebnisse der angewandten Multikriterienanalyse. Die Fragestellung dazu lautet: Wie plausibel sind die Resultate gemäss der Einschätzung eines kantonalen Experten und wie wird die Lage realisierter Renaturierungen in der Multikriterienanalyse bewertet?

Wie schon im Methodikteil (Unterkapitel 2.2) ist auch dieses Unterkapitel in zwei Abschnitte gegliedert, nämlich (1) den Vergleich zwischen realisierten Renaturierungen in Graubünden und den Resultaten der Multikriterienanalyse und (2) die Einschätzung der Resultate durch einen kantonalen Experten.

#### 3.2.1 Renaturierungen im Kanton Graubünden

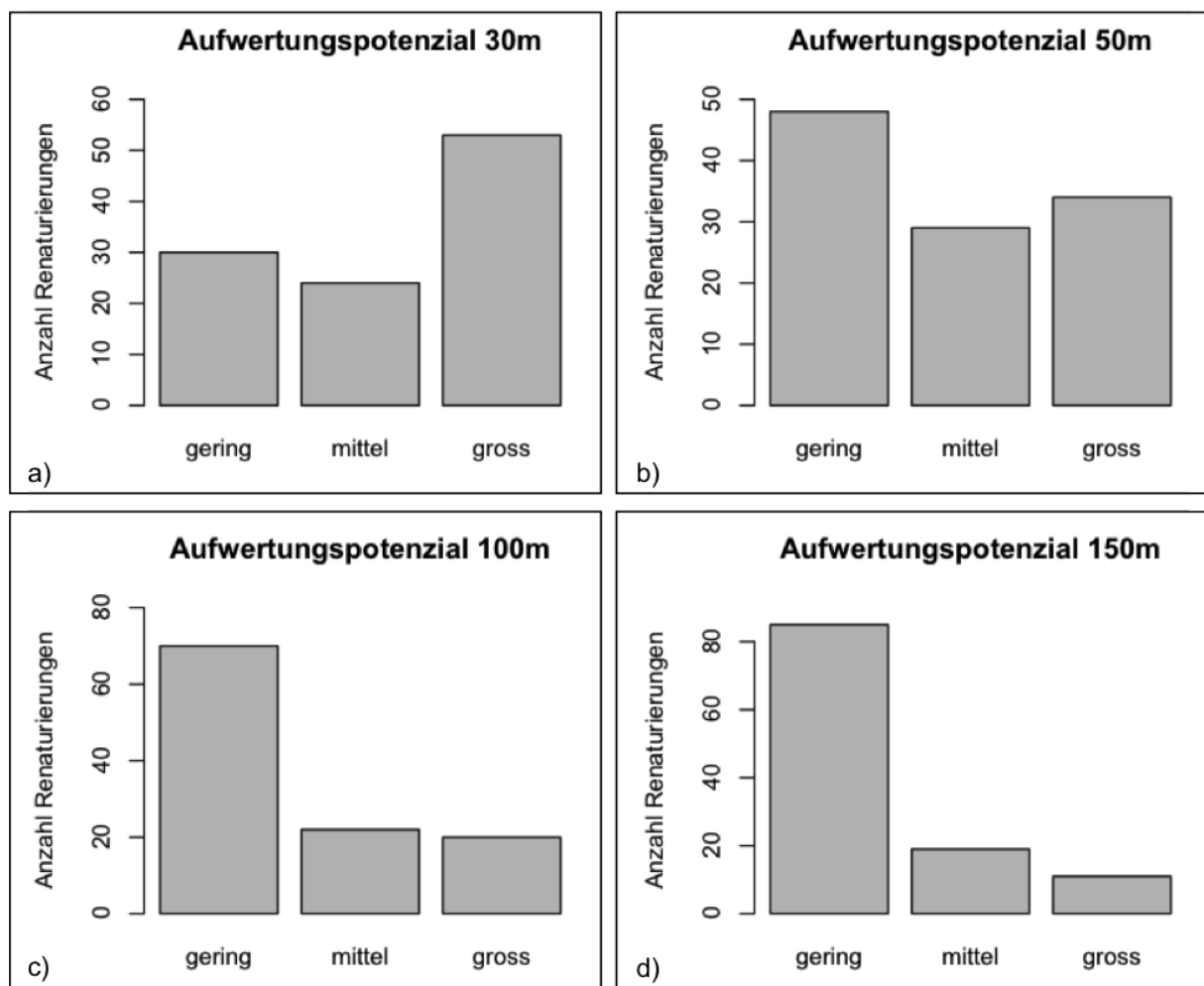
Der Vergleich mit den realisierten Revitalisierungen des Kantons Graubünden wurde an 111 Objekten durchgeführt. Dabei ist interessant, wie die Flussabschnitte, an welchen tatsächliche Renaturierungen liegen, von der Multikriterienanalyse bewertet werden.

Jedem 250m Abschnitt einer realisierten Renaturierung wurde die am meisten vorkommende Klasse jedes Filters der Multikriterienanalyse zugeordnet und als Häufigkeitsdarstellung wiedergegeben (Abbildung 12). Für die Ökomorphologie bedeutet dies, dass am meisten Renaturierungen an einem Abschnitt mit einer starken Beeinträchtigung liegen (Abbildung 12a). Das stimmt somit mit dem Ziel überein, dort zu renaturieren wo es nötig ist. Betrachtet man jedoch den Aufwand (Abbildung 12b), welcher durch die Verlegung von Anlagen zustande kommt, befinden sich die wenigsten Revitalisierungen an Flussabschnitten, für welche im Modul kein Aufwand ausgegeben wird. Tatsächlich liegen die meisten Renaturierungen an Flussabschnitten, welche voraussichtlich den grössten Aufwand verursachen. Daher liegen auch am meisten Renaturierungen an Abschnitten mit einem geringen Aufwertungspotenzial (Abbildung 12c). Die Abbildung 12d zu den Naturkosten zeigt wieder eine erwartete Verteilung. Je grösser die Naturkosten werden, desto weniger wurde an solchen Abschnitten renaturiert. Dass so viele Renaturierungen jedoch an Stellen mit geringem Potenzial liegen, zeigt sich auch bei der Kombination der Module Aufwertungspotenzial und Naturkosten, also dem Nutzen (Abbildung 12e). Die Mehrheit aller Renaturierungen liegt an Gewässerabschnitten mit sehr geringem oder geringem Nutzen. Betrachtet man die Abbildung 12f zum Endergebnis der Multikriterienanalyse, dem Modul Renaturierungseignung, liegen die meisten Revitalisierungen an einem Flussabschnitt, welcher von dem Modul als sehr gering geeignet eingestuft wird. Von den 111 Renaturierungen liegen nur 14 an einem Gewässerabschnitt mit grosser oder sehr grosser Renaturierungseignung. Insgesamt 77 liegen jedoch an Strecken mit sehr geringer oder geringer Eignung.



**Abbildung 12:** Anzahl Renaturierungen pro Klassen der verschiedenen Module der Multikriterienanalyse für den 50m Gewässerraum. a) Ökomorphologischer Zustand b) Verlegungsaufwand c) Aufwertungspotenzial d) Naturkosten e) Nutzen f) Renaturierungseignung

Bei diesem Vergleich zwischen der Lage der Renaturierungen und der Bewertung durch die Multikriterienanalyse spielt allerdings der untersuchte Gewässerraum eine grosse Rolle. Einerseits verändert sich die Anzahl Renaturierungen, welche in den Vergleich mit einbezogen werden (30m: 107, 50m: 111, 100m: 112, 150m: 115). Andererseits sind je nach Gewässerraumbreite auch unterschiedliche Flächen und Anlagen der Kriterien der Module betroffen, was zum Beispiel den Aufwand stark verändern kann. Die Grafiken in Abbildung 12 sind alle für den 50m Gewässerraum. Betrachtet man das Aufwertungspotenzial über alle Gewässerraumbreiten (30m, 50m, 100m und 150m), verändern sich die Resultate zum Teil beträchtlich (Abbildung 13).



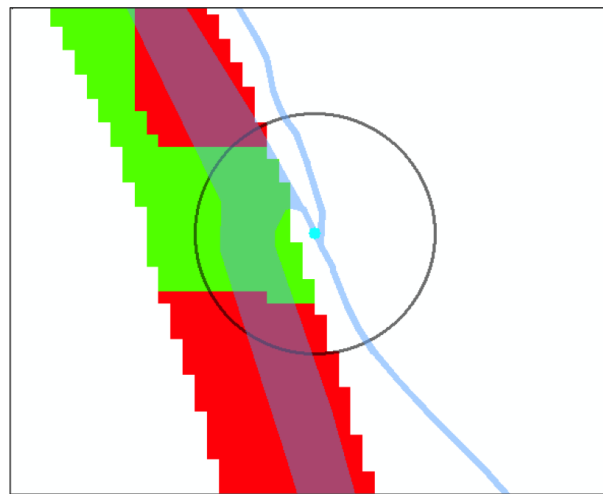
**Abbildung 13:** Anzahl Renaturierungen pro Klassen des Aufwertungspotenzials für die verschiedenen Gewässerräume. a) 30m Gewässerraum b) 50m Gewässerraum c) 100m Gewässerraum d) 150m Gewässerraum.

Betrachtet man in Abbildung 13a die Verteilung der Renaturierungen im 30m Gewässerraum, so



liegen die Revitalisierungen am zahlreichsten an Gewässerabschnitten, welche vom Modul mit einem grossen Potenzial gekennzeichnet werden (53 Renaturierungen). Für den 30m Gewässerraum würden also die Eignungen der Multikriterienanalyse und die tatsächlichen Orte von Revitalisierungen übereinstimmen. Je grösser der Gewässerraum wird, desto schlechter wird die Übereinstimmung.

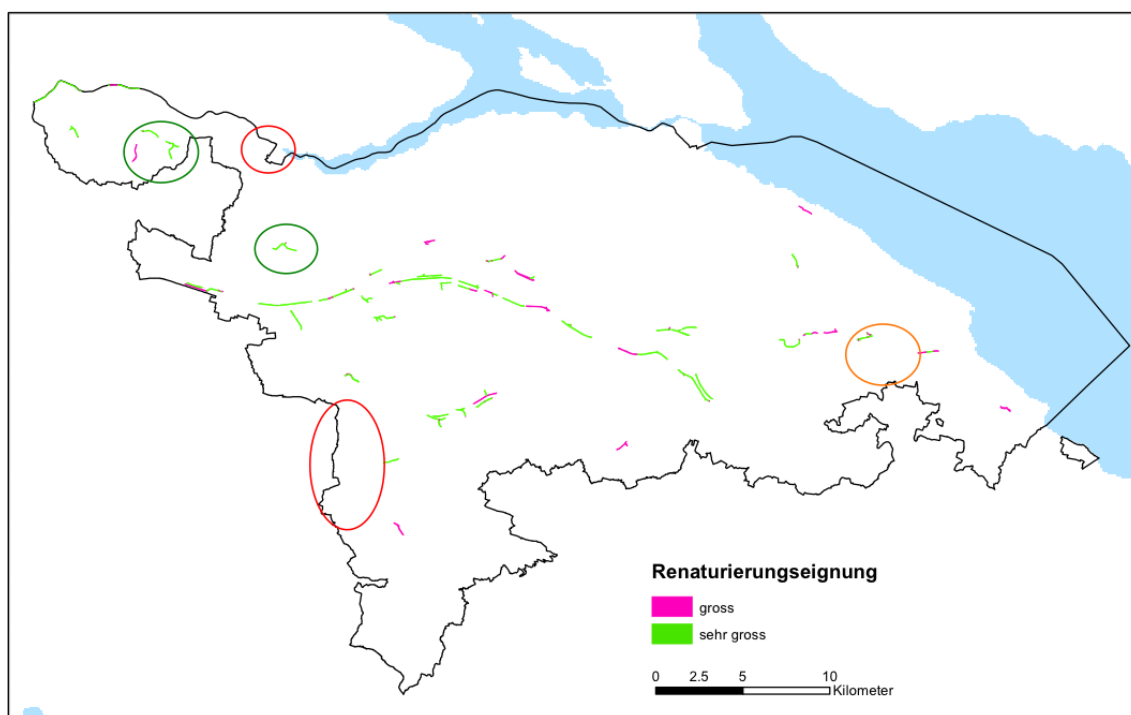
Um den passendsten Gewässerraum für die Gewässersysteme im Kanton Graubünden wählen zu können, wurde der Mittelwert der Breite der ökomorphologisch erhobenen Flüsse des Kantons berechnet. Dieser liegt bei 17m. Somit fallen viele Gewässer in die Bereiche der 30m oder 50m Gewässerräume, wodurch deren Ergebnisse für diesen Vergleich am ehesten relevant sind. Der 150m Gewässerraum scheint für diesen Vergleich zu überdimensioniert und ungenau, da von den 12 Renaturierungen, welche beim 150m Gewässerraum an einem Abschnitt mit grossem Potenzial liegen (Abbildung 13d), nur 6 tatsächlich am Fluss, zu welchem der untersuchte Gewässerraum gehört, lokalisiert sind. Die restlichen befinden sich an einem anderen Gewässer, welches sich mit dem Gewässerraum schneidet oder sie gelangen durch den 250m Buffer der Renaturierung gerade noch in die Auswertung. Zur Veranschaulichung dazu die folgende Abbildung:



**Abbildung 14:** Überschneidungen mit dem 150m Gewässerraum. Die Renaturierung liegt an einem Nebenfluss, da der Buffer um diese jedoch in den Gewässerraum des Hauptstroms hineinreicht und die Mehrzahl der Rasterzellen einen grossen Wert haben, erhält die Renaturierung ein grosses Aufwertungspotenzial zugeteilt. Datenquellen: Renaturierungen des Kanton GR und Gewässernetz: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

### 3.2.2 Einschätzung eines kantonalen Experten

Die Einschätzung der Ergebnisse der Multikriterienanalyse durch Marco Baumann sieht sehr viel positiver aus als die GIS-gestützte Überlagerung bei den Revitalisierungsstrecken des Kantons Graubünden. Marco Baumann hat die Resultate der Multikriterienanalyse mit seiner eigenen Einschätzung der Zustände der Gewässer und Revitalisierungsmöglichkeiten im Kanton Thurgau verglichen. So hat er bei der vollständigen Karte zur Renaturierungseignung für den Kanton Thurgau von ungefähr 15 besprochenen Gebieten lediglich zwei anders eingeschätzt. Bei den für eine Revitalisierung geeigneten Flussabschnitten (gross/sehr grosse Renaturierungseignung und mind. 800m lang) gibt es Übereinstimmungen mit der kantonalen Planung (Abbildung 15). Insgesamt hat der Kanton Thurgau im Rahmen dieser Revitalisierungsplanung fünf



**Abbildung 15:** Vergleich der geeigneten Abschnitte des Modells mit den tatsächlich geplanten Gebieten des Kantons. Grüne Kreise: Übereinstimmung, orange Kreis: nur teilweise Übereinstimmung und rote Kreise: keine Übereinstimmung. Die Klasse grosse Renaturierungseignung ist zwecks besserer Sichtbarkeit pink statt gelb. Geografische Umrisse: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

Gebiete ausgeschieden. Zwei Gebiete stimmen überein (grüne Kreise in der Abbildung). Bei einem Gebiet im Osten des Kantons (orange Kreis) wurde der geplante Abschnitt nur vom Modul Aufwertungspotenzial, aber nicht mehr bei der Renaturierungseignung angezeigt. Die beiden roten Kreise sind Orte, an welchen der Kanton Revitalisierungen plant, die jedoch von der Multikriterienanalyse nicht als geeignet ausgeschieden wurden. Der grössere der roten Kreise ist

ausserdem eines der oben erwähnten Gebiete, bei dem die Modulbewertung schlechter ausfiel als vom Experten eingeschätzt. Wie solch ein geeigneter Flussabschnitt in natura aussehen kann zeigt die Abbildung 16.

Wie in der Abbildung 15 gut zu sehen ist, hat die Thur über beinahe ihre gesamte Länge eine sehr gute Eignung. Dies stimmt wiederum mit der kantonalen Experteneinschätzung überein. Der Kanton Thurgau renaturiert schon seit Jahren verschiedenste Abschnitte der Thur und hat auch für die Zukunft weitere Projekte geplant. Somit zeigt sich an der gesamten Thur eine weitere Übereinstimmung mit der kantonalen Planung.

Gerade an der Thur zeigt sich jedoch auch ein grosser Kritikpunkt von Marco Baumann, nämlich die in der Multikriterienanalyse nicht flexibel gehandhabten Breiten für die Gewässerräume. Es wurden zwar verschiedene Bufferbreiten berechnet, aber nicht individuell an die Breite der Flüsse angepasst. So sind 50m für kleine Bäche ein viel zu grosser Gewässerraum, für die Thur ist er jedoch einiges zu klein, für sie würde der 150m Gewässerraum eher zur Anwendung kommen. Je nach Flussbreite muss also der passende Gewässerraum ausgewählt werden. Für den 150m Gewässerraum besitzt die Thur jedoch immer noch sehr viele von der Multikriterienanalyse ausgeschiedene gut geeignete Flussabschnitte.

Eine Anregung von Marco Baumann ist die Kategorisierung der Landschaft in die drei Kategorien Wald, Siedlungsgebiet und landwirtschaftliche Fläche. Dies soll nicht ein weiterer Filter sein, sondern die Planung und Einschätzung der Lage vereinfachen.



**Abbildung 16:** Dieser Bachabschnitt wurde von der an den Thurgau angepassten Multikriterienanalyse als für eine Revitalisierung geeignet ausgeschieden und ist ein Seitenkanal der Thur bei Niederneunforn. Foto: Jasmin Kägi

### 3.3 Räumliche Renaturierungs-Hotspots für die gesamte Schweiz

In diesem Kapitel sollen die Resultate der erstellten Karten ausgewertet werden. Die Fragestellung dazu lautet: Wo befinden sich räumliche Renaturierungs-Hotspots? In der räumlichen Betrachtung ist sowohl die Lage der für Revitalisierungen geeigneter Flussabschnitte interessant, aber auch welche Aussagen auf Ebene der Einzugsgebiete gemacht werden können.

#### 3.3.1 Geeignete Renaturierungsabschnitte

Wie im Methodik Teil auf Seite 26 beschrieben, sollen die gesuchten Gewässerabschnitte mindestens 800m lang sein und durch die Multikriterienanalyse als gut geeignet für eine Renaturierung bewertet werden. Im folgenden werden die besten Abschnitte für die Module Aufwertungspotenzial und Renaturierungseignung beschrieben.

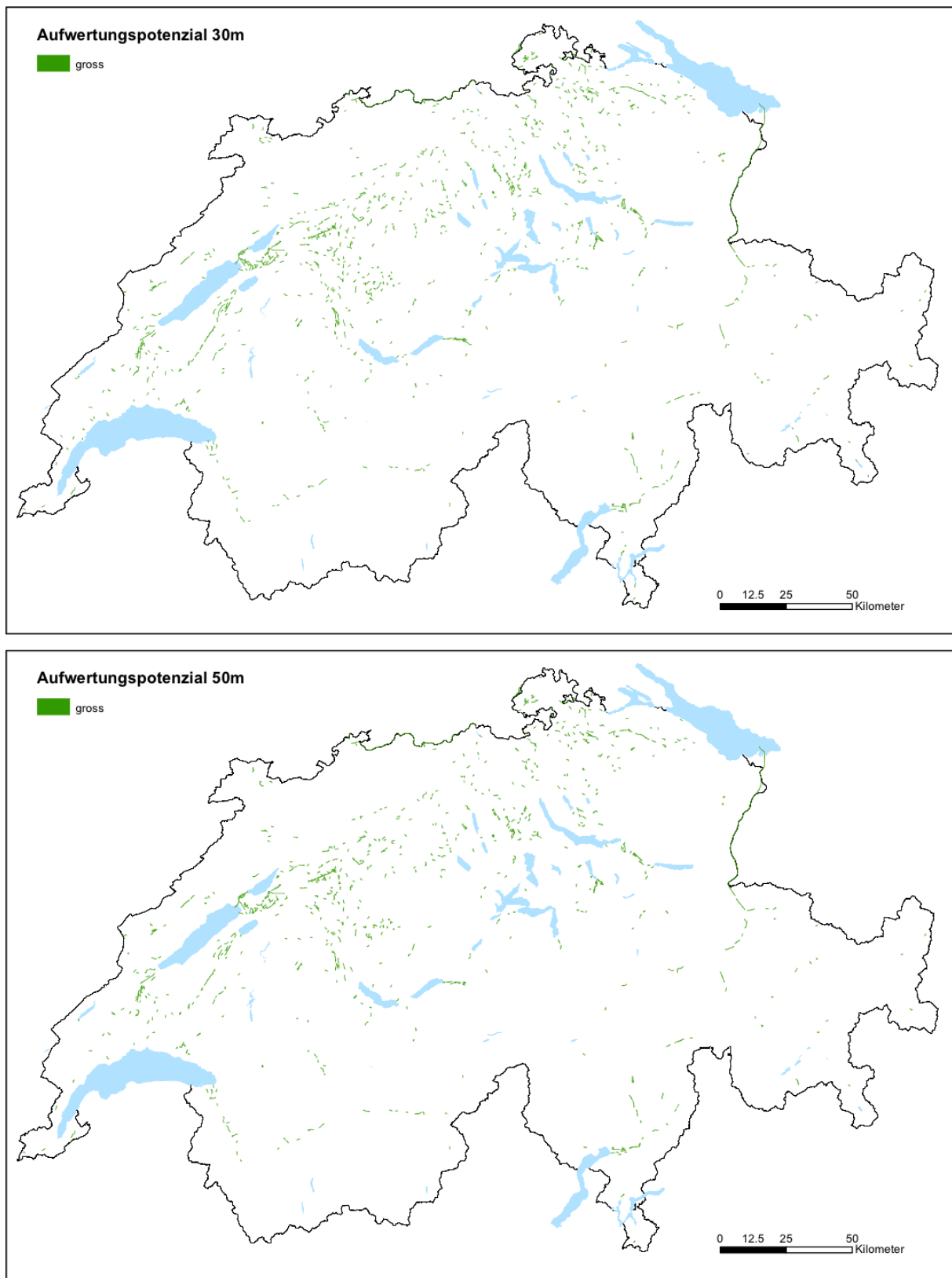
#### Aufwertungspotenzial für die gesamte Schweiz

Für die Suche nach geeigneten Abschnitten werden vom Aufwertungspotenzial nur Gewässerabschnitte mit einem grossen Potenzial berücksichtigt. Die am besten geeigneten Strecken sind für alle vier Gewässerräume in den Abbildungen 17 & 18 dargestellt. Wie in den Abbildungen gut zu sehen ist, sind geeignete Abschnitte im Mittelland viel häufiger als in den restlichen Regionen der Schweiz. In den Alpen und südlich davon liegen sie nur noch in Tälern. Die Anzahl der geeigneten Flussabschnitte für Revitalisierungen sinkt mit zunehmender Breite des berücksichtigten Gewässerraums. Beim 30m Gewässerraum sind 974 Abschnitte für eine Renaturierung geeignet, beim fünf Mal breiteren 150m Gewässerraum sind es etwas weniger als die Hälfte, nämlich 417.

Der 30m Gewässerraum ist für kleine Bäche angemessen. Wie man in den Karten der Abbildung 17 erkennen kann, sind grosse Gewässer bei den 30m und 50m Abschnitten ebenfalls als geeignet gekennzeichnet. Diese Flüsse (zum Beispiel die Rhône) sind jedoch so breit, dass die kleineren Gewässerräume noch im Flussbett enden. Daher bekommen diese Flüsse einen kleinen Aufwand zugeteilt, da im Fluss selber kaum Anlagen betroffen sind und die Bauten am Ufer nicht in die Erhebung mit einbezogen werden. Die kleinen Gewässerräume zeichnen also ein zu positives Bild.

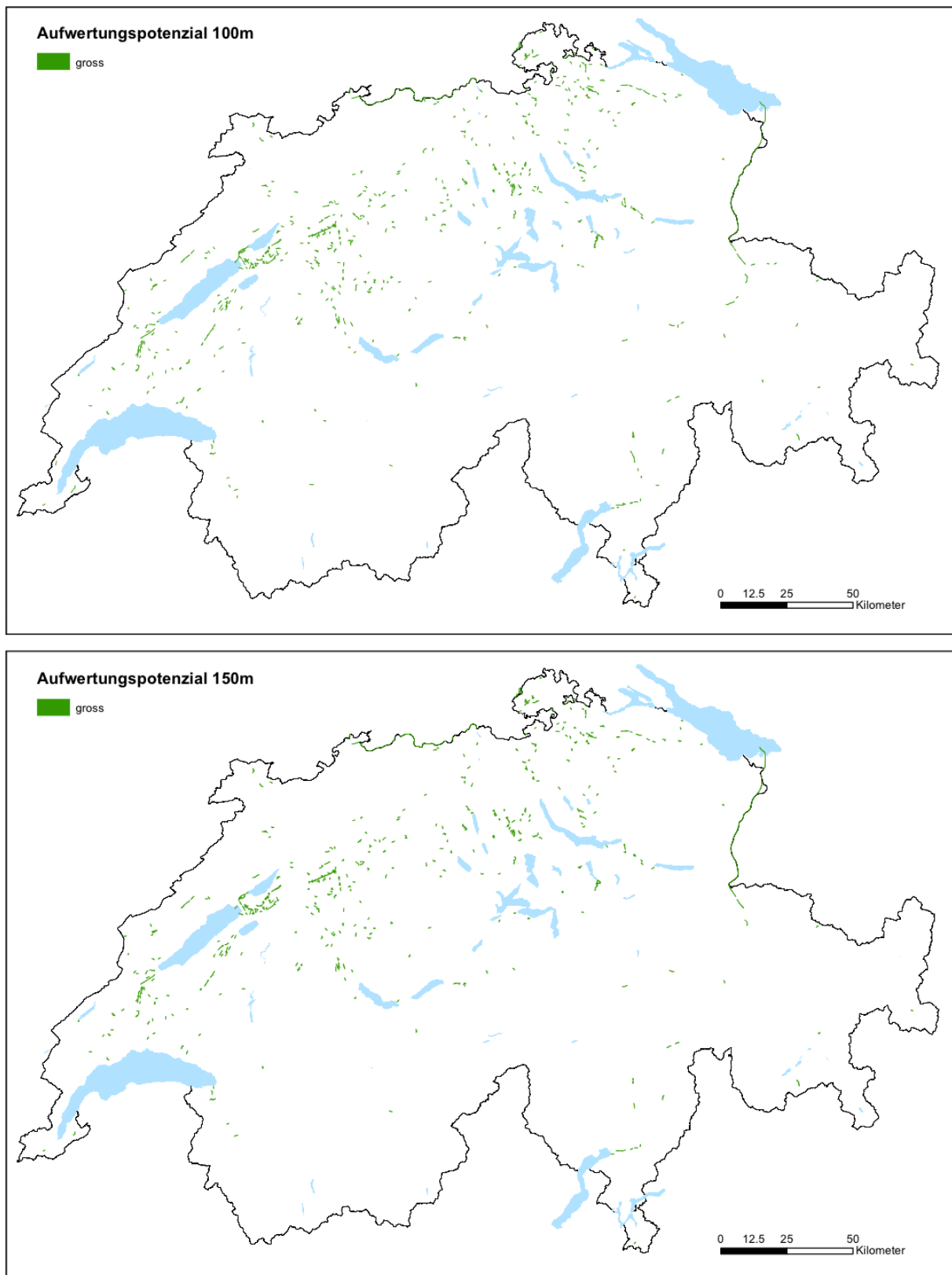
Für grosse, breite Flüsse müssen somit die 100m und 150m Gewässerräume berücksichtigt werden. So sieht man in den Karten der Abbildungen 18 zum Beispiel, dass die Thur auch bei den grossen Gewässerräumen noch viele geeignete Abschnitte hat.

Der Rhein ist aus dieser Analyse auszuschliessen. Er hat eine zu grosse Dimension um in einen der verwendeten Gewässerräume zu passen.



**Abbildung 17:** Geeignete Flussabschnitte für die 30m und 50m Gewässerräume. Geografische Umrisse: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

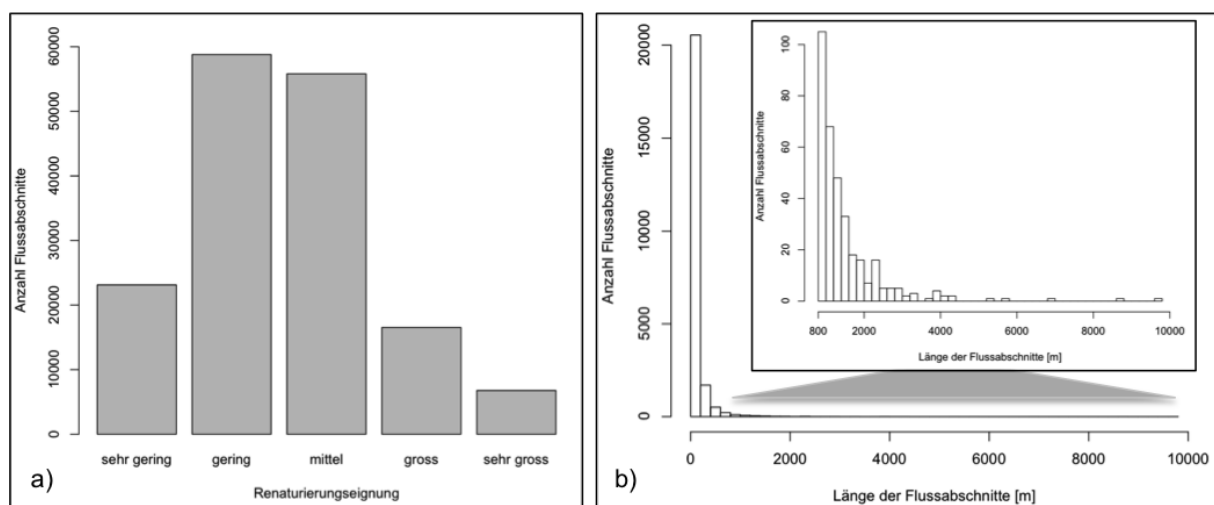
### 3 Resultate



**Abbildung 18:** Geeignete Flussabschnitte für die 100m und 150m Gewässerräume. Geografische Umriss: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

### Renaturierungseignung für die gesamte Schweiz

Die für die Revitalisierungsplanung relevanteste Frage ist die Lage der geeigneten Flussabschnitte im Modul Renaturierungseignung, dem Endergebnis der Multikriterienanalyse. Vergleicht man die *Anzahl Flussabschnitte* pro Klasse der Renaturierungseignung, so erhält die Mehrzahl aller Flussabschnitte einen geringen oder mittleren Wert zugewiesen (Abbildung 19a). Den *grössten Flächenanteil* am gesamten Gewässerraum hat jedoch die Klasse mit der sehr geringen Eignung (siehe Abbildung 11, Seite 31). Für die Lokalisierung der für eine Revitalisierung geeignetsten Flussabschnitte sind nur die in den Gewässerräumen seltesten Flächen relevant, diejenigen Gewässerabschnitte mit einer grossen oder sehr grossen Renaturierungseignung (Abbildung 19a). Betrachtet man die Länge nur dieser geeigneten Abschnitte, ergibt sich eine Verteilung wie in Abbildung 19b. Die meisten Flussabschnitte mit einer grossen oder sehr grossen Renaturierungseignung sind kürzer als 200m. Selektiert man diese geeigneten Abschnitte mit dem Schwellenwert für die Mindestlänge von 800m, so zeigt die Häufigkeitsverteilung das gleiche Bild: die kürzesten Flussabschnitte sind die zahlreichsten (Abbildung 19b, kleines Bild). Der längste für eine Revitalisierung geeignete Flussabschnitt erreicht mit Hauptstrom und Seitenarmen eine Länge von beinahe 10km. Mehr zu diesem Flusstück folgt im Abschnitt auf Seite 43.

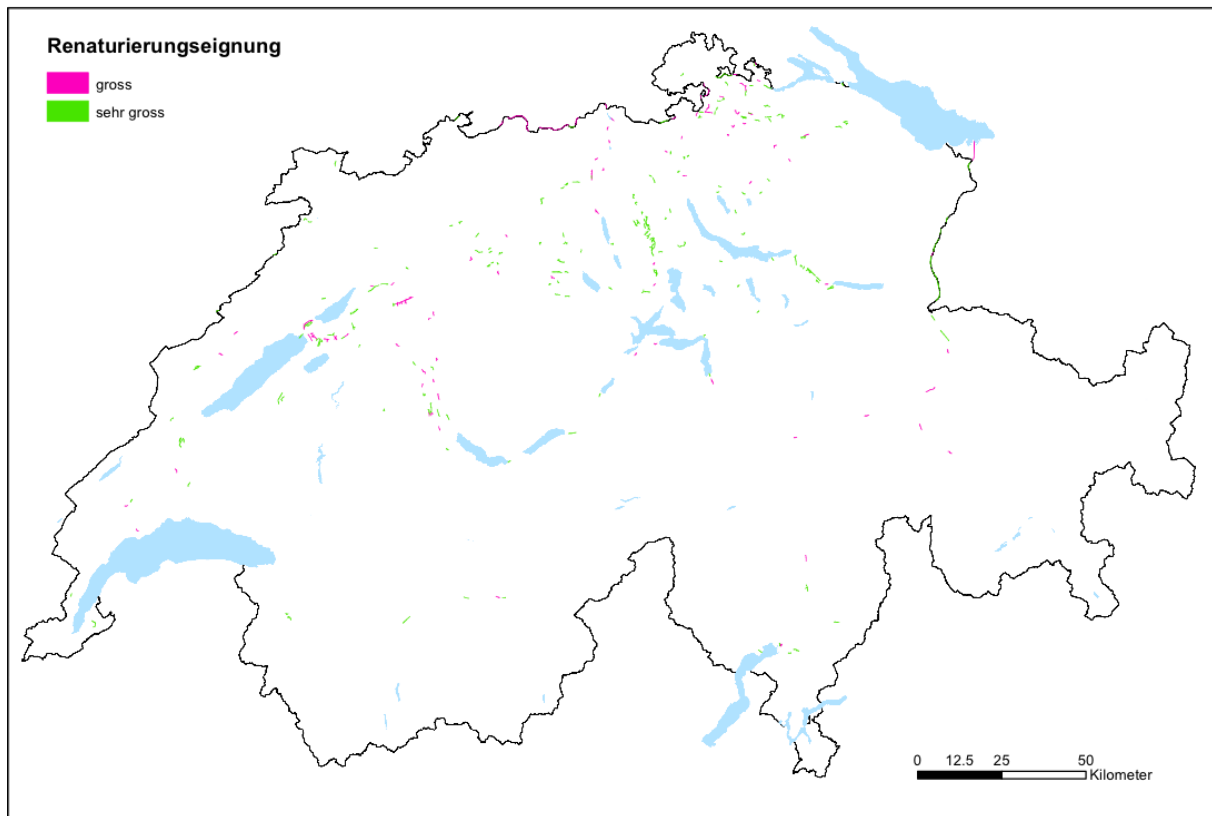


**Abbildung 19:** a) Renaturierungseignung im 50m Gewässerraum für die ganze Schweiz. Häufigkeit der Flussabschnitte pro Klasse. b) Grosse und sehr grosse Renaturierungseignung im 50m Gewässerraum für die gesamte Schweiz. Anzahl Abschnitte gegen die Länge dieser Flussstrecken. Kleines Bild: Längenverteilung der geeigneten Flussabschnitte ab der Mindestlänge 800m.

Wie schon mehrmals erwähnt liegt der Schwellenwert für geeignete Renaturierungsabschnitte bei einer Mindestlänge von 800m. Für die Karte mit der Renaturierungseignung werden nur den Klassen gross oder sehr gross zugeteilte Flussabschnitte in der Suche nach Abschnitten berücksich-

sichtigt.

Das Ergebnis dieser Selektion ist für den 50m Gewässerraum in Abbildung 20 dargestellt. Insgesamt sind dies 989 geeignete Flussabschnitte.



**Abbildung 20:** Abschnitte von gut oder sehr gut geeigneten Flussstücken mit einer Mindestlänge von 800m für den 50m Gewässerraum. Grosse Werte sind zwecks besserer Sichtbarkeit pink statt gelb. Datenquellen: Geografische Umrisse: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

Im Mittelland sind geeignete Flussstücke häufiger als in den Berggebieten. Viele mögliche Revitalisierungsabschnitte liegen im Zürcher Weinland, beim Reusskanal (und der Kanal selbst), im Norden vom Kanton Bern sowie parallel zu Aare nordwestlich des Thunersees und zwischen dem Bieler-, Neuenburger- und Murtensee. Auch für diese Abbildung gilt, wie weiter oben schon für das Aufwertungspotenzial, dass die grossen Flüsse wie der Rhein, die Reuss, die Rhône und die Aare klar zu erkennen sind, da der 50m Gewässerraum oftmals kleiner ist als die tatsächliche Gewässerbreite und somit die Bewertung durch die Multikriterienanalyse zu gut ausfällt.



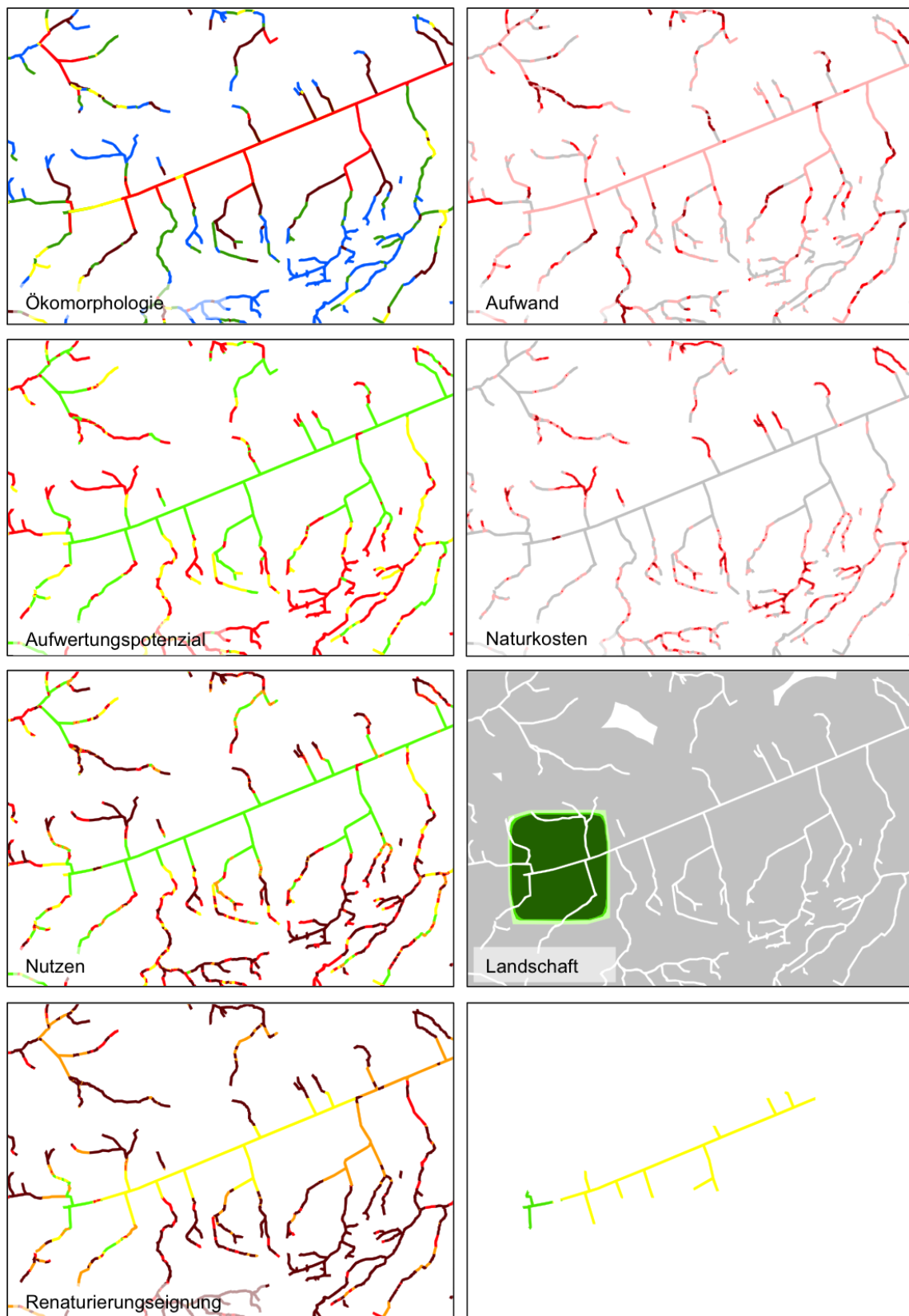
### Klassifizierung des längsten für eine Revitalisierung geeigneten Flussabschnittes in den Modulen der Multikriterienanalyse

Der grösste für eine Revitalisierung geeignete Flussabschnitt liegt nördlich von Bern und erstreckt sich bis in den Kanton Solothurn. Der Gewässerabschnitt liegt in einer Ebene und ist umgeben von Ackerflächen (Abbildung 21). Entlang beider Seiten des Hauptbaches führen Flurstrassen. Am westlichen Ende des Abschnittes liegt ein Flachmoor, am östlichen wird er begrenzt durch eine Abwasserreinigungsanlage.

Verfolgt man den grössten Abschnitt durch die verschiedenen Module der Multikriterienanalyse, so entsteht die Abbildung 22. Der Flussabschnitt wird in der Ökomorphologieerhebung als "künstlich/naturfern" bewertet. Der Verlegungsaufwand allfälliger Anlagen wäre gering, sodass der Gewässerabschnitt bei der Kombination der beiden Module ein grosses Aufwertungspotenzial zugeteilt bekommt. Naturkosten würde eine allfällige Renaturierung nicht generieren, daher wird der Abschnitt für den Nutzen in die Klasse sehr gross eingeteilt. Ein landschaftlicher Wert in der Umgebung des Gewässers ist jedoch keiner vorhanden, daher ist die Bewertung im letzten Modul Renaturierungseignung gross. Unten rechts in der Abbildung 22 ist der geeignete Abschnitt dargestellt.



**Abbildung 21:** Satellitenbild der Landschaft, in welcher der grösste geeignete Flussabschnitt liegt. Dessen Verlauf ist in gelb dargestellt. (Datenquellen: <http://maps.google.ch> (2013), abgerufen am 1.4.2013)

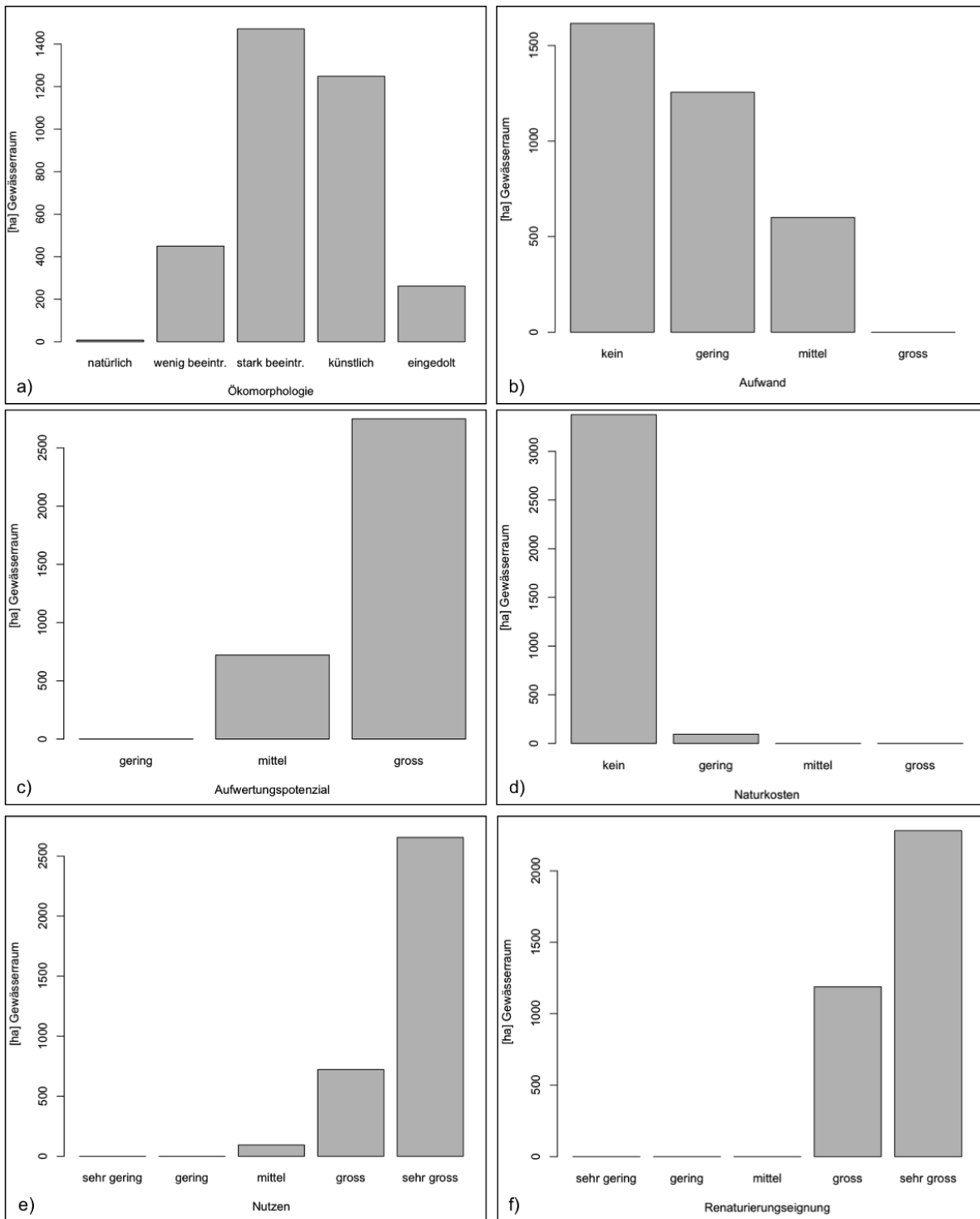


**Abbildung 22:** Zusammensetzung des grössten geeigneten Abschnittes (unten rechts in gelb) für die Renaturierungseignung. Datenquellen: Ökomorphologie Stufe F, BAFU, 3003 Bern

### Klassifizierung aller für eine Revitalisierung geeigneter Flussabschnitte in den Modulen der Multikriterienanalyse

Nun interessiert nicht nur, wie die Multikriterienanalyse einen einzelnen Flussabschnitt Schritt für Schritt bewertet, sondern wie die Bewertung für die Gesamtheit aller geeigneten Strecken abläuft. Diese Analyse ist wichtig, da durch die vielen Kombinationen von Filtern nicht unmittelbar klar ist, welches die Ursache für eine grosse bzw. geringe Renaturierungseignung ist. So kann ein tiefes Aufwertungspotenzial verschiedene Gründe haben: eine natürliche Ökomorphologie oder einen hohen Aufwand. Die entsprechende Auswertung für alle geeigneten Flussabschnitte des 50m Gewässerraums ist in der Abbildung 23 dargestellt. Diese Grafiken werden mit der im technischen Exkurs auf Seite 25 beschriebenen Vereinfachung erstellt und auf die Fläche des Gewässerraumes der geeigneten Gewässerabschnitte hochgerechnet.

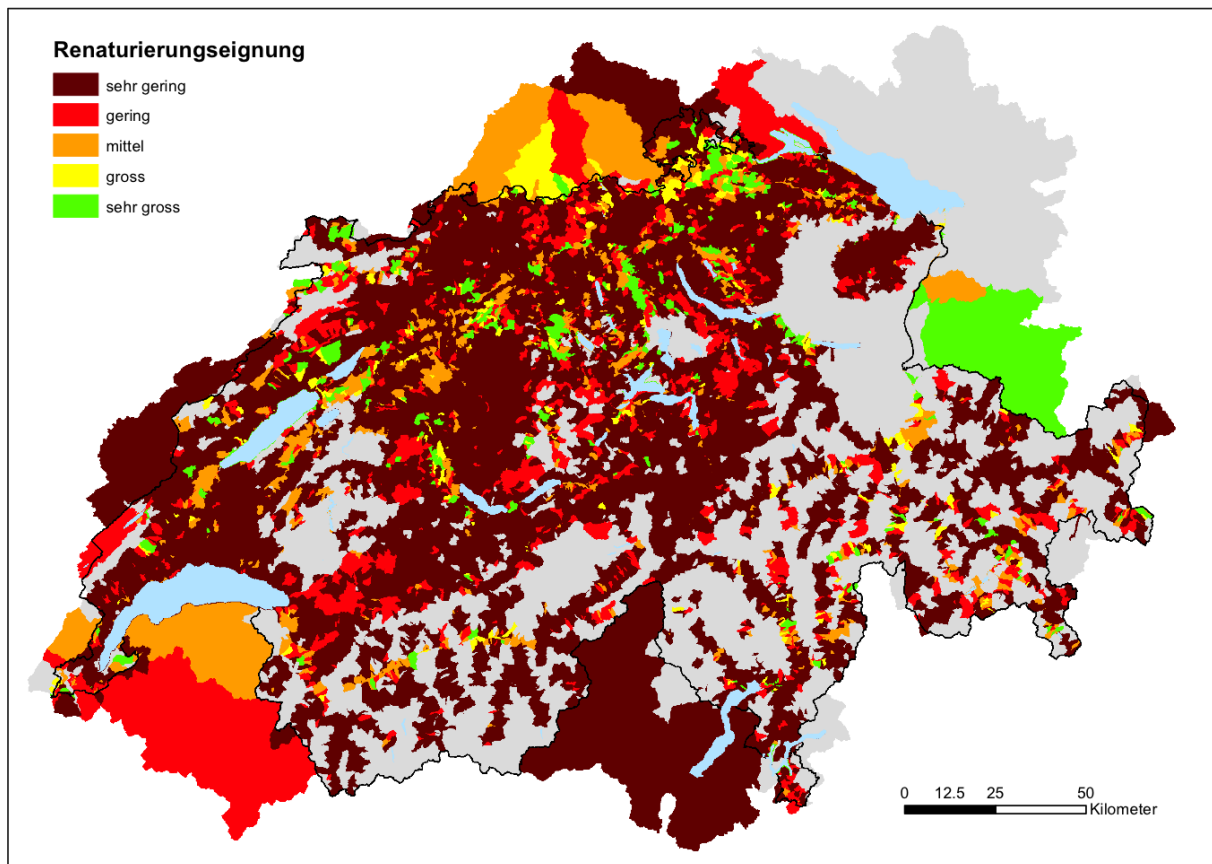
Wie man in der Abbildung 23a sehen kann, haben die geeigneten Flussabschnitte ursprünglich eine Ökomorphologiebewertung von wenig beeinträchtigt bis eingedolt. Die wenigen Abschnitte, welche eine hohe ökomorphologische Qualität haben, sind technisch bedingte Ungenauigkeiten und bei der GIS-Überlagerung entstanden. Abschnitte mit einer starken Beeinträchtigung oder einem künstlichen Zustand sind am häufigsten. Die geeigneten Flussabschnitte entstehen aus den Aufwandsklassen kein, gering und mittel (Abbildung 23b). Einen grossen Aufwand verursacht keiner der Abschnitte. Für das Aufwertungspotenzial, die Kombination aus den vorangehenden Modulen Ökomorphologie und Aufwand, bedeutet dies, dass die meisten Flussabschnitte ein grosses Potenzial haben, gefolgt von einem mittleren. Keiner der Gewässerabschnitte ist in der Klasse für ein geringes Potenzial eingestuft (Abbildung 23c). Wie die Abbildung d zeigt ist die Flächenverteilung bei den Naturkosten sehr deutlich. Mehr als 97% der Gesamtfläche der geeigneten Flussabschnitte liegt in Gebieten ohne Naturkosten, die restlichen in Abschnitten mit geringen Kosten. Flächen mit mittleren oder grossen Kosten werden nicht zu geeigneten Revitalisierungsabschnitten. Die Verteilung der Abschnitte für das Modul Nutzen ist in der Abbildung 23e dargestellt. Der grösste Flächenanteil besitzt einen sehr grossem Nutzen, gefolgt von der Klasse grosser Nutzen und einigen Abschnitten mit mittleren Werten. Von den Abschnitten mit einer mittleren Bewertung für den Nutzen erreichen einige durch die Kombination mit dem Modul Landschaft eine höhere Renaturierungseignung. Dies zeigt der Vergleich zwischen den Grafiken e und f. Allerdings werden einige Flussabschnitte mit sehr grossem Nutzen durch die Kombination mit der Landschaft im Wert herabgestuft, von einem Flächenanteil von 77% auf 66% an der Gesamtfläche der geeigneten Abschnitte.



**Abbildung 23:** Berechnete Anteile an der Fläche des 50m Gewässerraumes der für eine Revitalisierung geeigneten Flussabschnitte, aufgeteilt auf die verschiedenen Klassen der Module der Multikriterienanalyse

### 3.3.2 Einzugsgebiete

Berechnet man pro Einzugsgebiet, welche Klasse des Moduls Renaturierungseignung am häufigsten vorkommt, ergibt dies die folgende Karte:



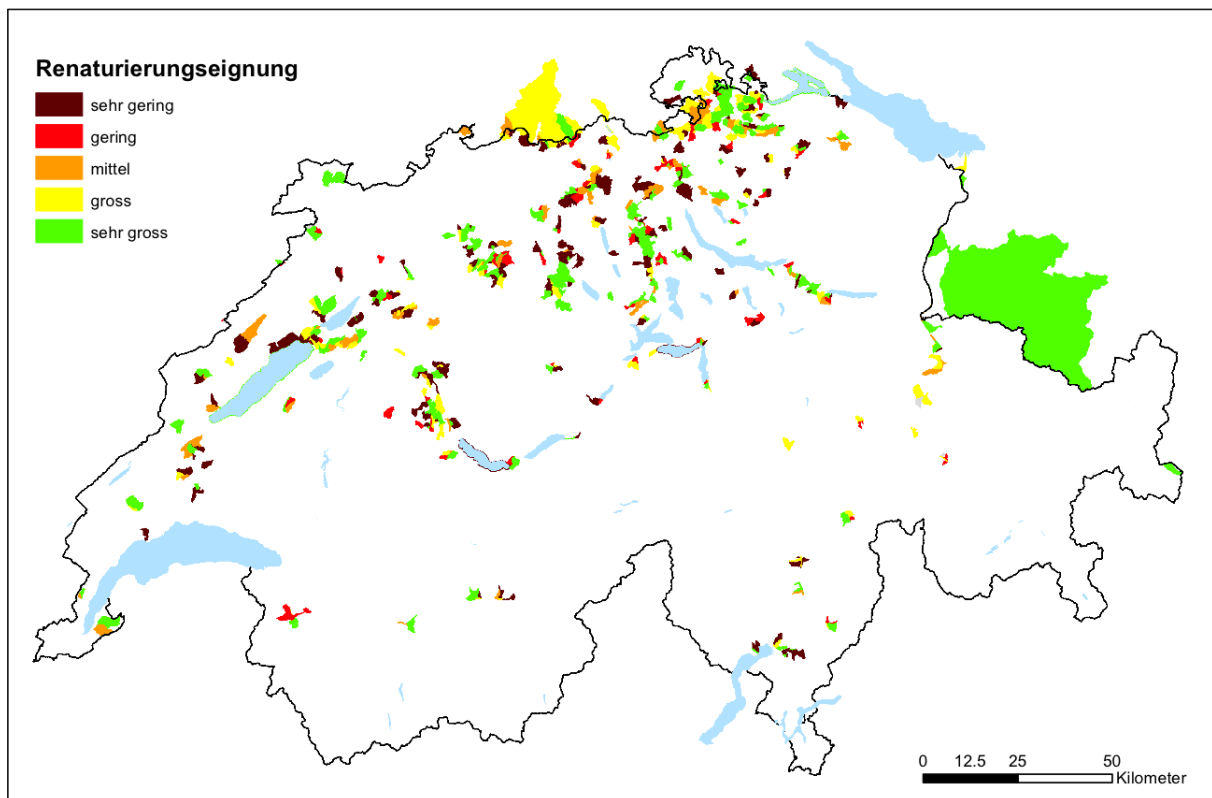
**Abbildung 24:** Renaturierungseignung auf Einzugsgebietsebene für den 50m Gewässerraum. Datenquellen: Einzugsgebietsgliederung Schweiz EZGG-CH, BAFU und geografische Umriss: swissTLM3D 1.0 ©2012, swisstopo (5704 000 000)

Einzugsgebiete, in welchen keine der in der Multikriterienanalyse berücksichtigten Gewässer liegen, sind in der Abbildung 24 grau. Die überwiegende Mehrheit aller Einzugsgebiete enthält am meisten Flussabschnitte mit sehr geringer Renaturierungseignung und ist daher in der Abbildung dunkelrot. Die Klassen gross oder sehr gross der Eignung werden insgesamt nur etwa 6% aller Einzugsgebiete zugeordnet. Diese stimmen mit den Regionen, in welchen die für Revitalisierungen geeigneten Flussabschnitte von Abbildung 20 vorkommen, überein.

Selektiert man nur diejenigen Einzugsgebiete, durch welche geeignete Abschnitte fliessen, ergibt dies die Abbildung 25. Wie man in der Karte sehen kann, ist nun die Mehrheit aller Einzugsgebiete (39%) sehr gut für eine Renaturierung geeignet. Doch auch in Einzugsgebieten mit einer Mehrheit an Flüssen mit sehr geringem Wert, gibt es Flächen, welche zu den am bes-

ten geeigneten Abschnitten gehören. Diese Einzugsgebiete sind sogar am zweit häufigsten mit 21%.

In Abbildung 25 wird die Lage der Renaturierungs-Hotspots noch einmal verdeutlicht. Sie sind eindeutig häufiger im Mittelland als in den restlichen Regionen der Schweiz. In den höheren Lagen kommen sie nur noch in den Tälern vor. Die für Revitalisierungen geeigneten Flussabschnitte sind sehr häufig im Zürcher Weinland, beim Reusskanal, im Kanton Bern im Norden und nordwestlich des Thunersees und zwischen Bieler- und Neuenburgersee.



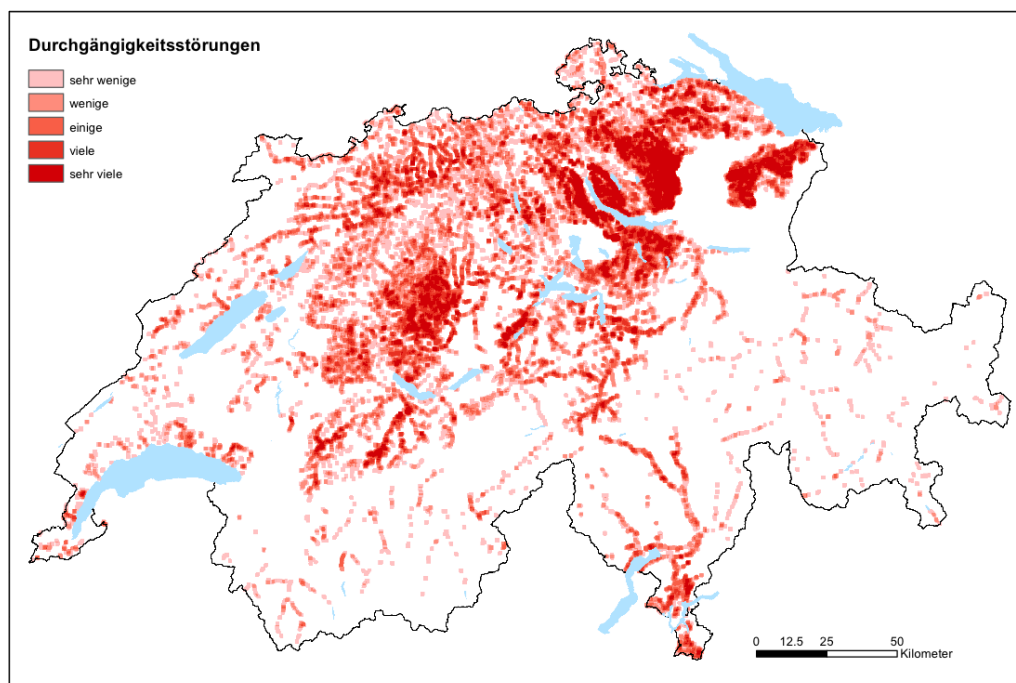
**Abbildung 25:** Einzugsgebiete, in welchen die geeignetsten Flussabschnitte für eine Revitalisierung liegen für den 50m Gewässerraum. Datenquellen: Einzugsgebietsgliederung Schweiz EZGG-CH, BAFU und geografische Umriss: swissTLM3D 1.0 ©2012, swisstopo (5704 000 000)

### 3.3.3 Weitere Karten

Die Karten zu den Durchgängigkeitsstörungen und der ökologischen Eignung sollen die Entscheidungsfindung für geeignete Renaturierungsabschnitte erleichtern. Allerdings werden sie nicht weiter in die Methode eingebunden als über eine Kenntnisnahme der geeigneten oder ungeeigneten Gebieten.

#### Durchgängigkeitsstörung

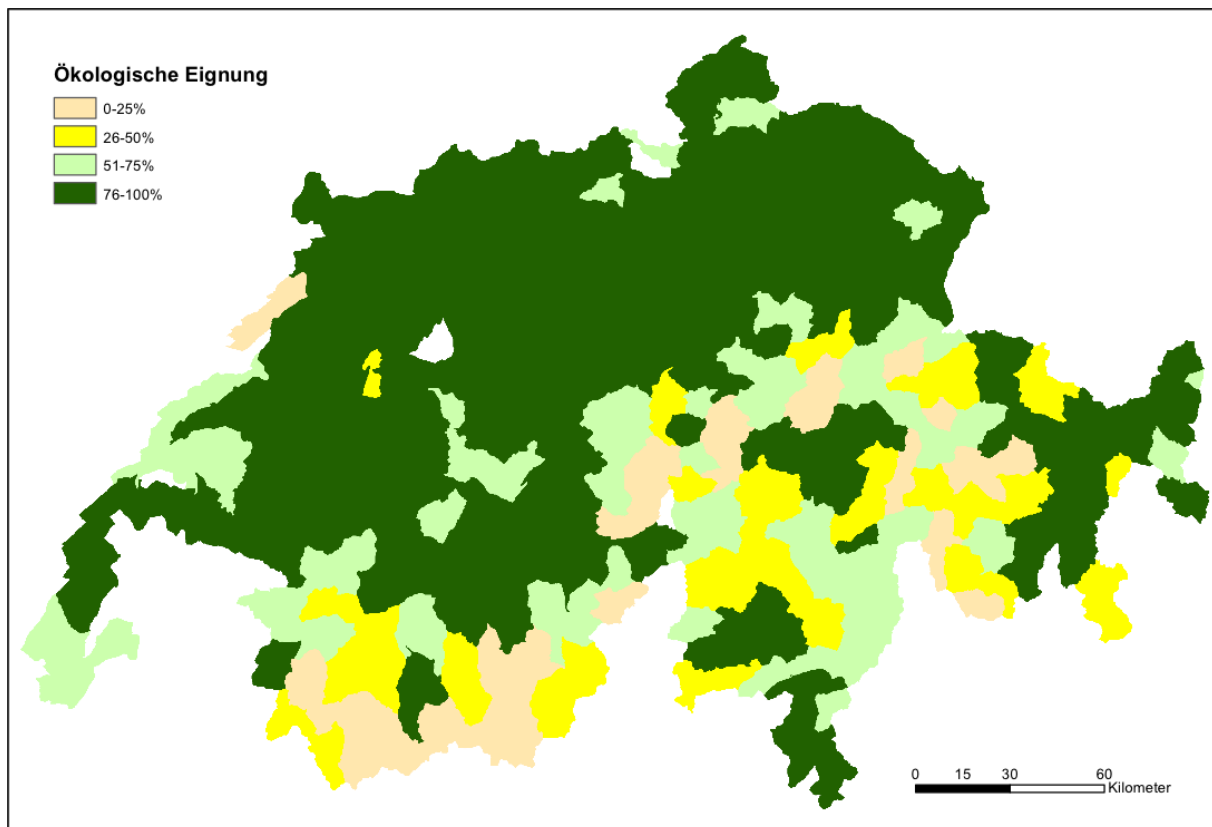
Wie in der Methodik beschrieben, werden die beiden Klassen zu den Hindernissen (überwindbar und unüberwindbar) summiert und in fünf Gruppen eingeteilt. Das Ergebnis ist in der Abbildung 26 dargestellt. Da für diese Karte wieder die Ökomorphologiedaten die Grundlage bilden, sind die Kantone St. Gallen und Zug nicht in die Untersuchung mit einbezogen. Gebiete mit sehr dicht gelegenen Durchgängigkeitsstörungen sind die Kantone Appenzell, Zürich, im Norden von Schwyz und Osten von Bern. Von den Kantonen, in welchen nur die Flüsse in den Tälern in der Analyse berücksichtigt werden (GR, TI, VS) hat der Tessin sichtbar mehr Störungen entlang der Gewässer als die anderen beiden Bergkantone. Gebiete mit vielen Störungen haben einen grossen Handlungsbedarf, allerdings besteht dort die Gefahr, dass eine allfällige Renaturierung isoliert wäre und gewünschte Arten diese nicht erreichen könnten.



**Abbildung 26:** Überwindbare und unüberwindbare Durchgängigkeitsstörungen summiert für die gesamte Schweiz. Datenquellen: Geografische Umrisse: swissTLM3D 1.0 ©2012, swisstopo (5704 000 000)

### Ökologische Eignung

Die Methode von Rohde et al. (2005) wird für diese Arbeit nicht weiter verändert. In der Karte in Abbildung 27 ist der Anteil der Fliessgewässer pro Einzugsgebiet angegeben, welcher ökologisch für eine Renaturierung geeignet ist. Im Mittelland haben also die meisten Gewässer eine sehr hohe ökologische Eignung für Renaturierungen. In den Berggebieten sinkt diese Eignung. Die räumliche Auflösung dieser Untersuchung ist jedoch sehr grob. Es werden sehr grosse Einzugsgebiete gewählt. Daher ist diese Karte nur als weitere Ergänzung zu den Ergebnissen der Multikriterienanalyse gedacht.

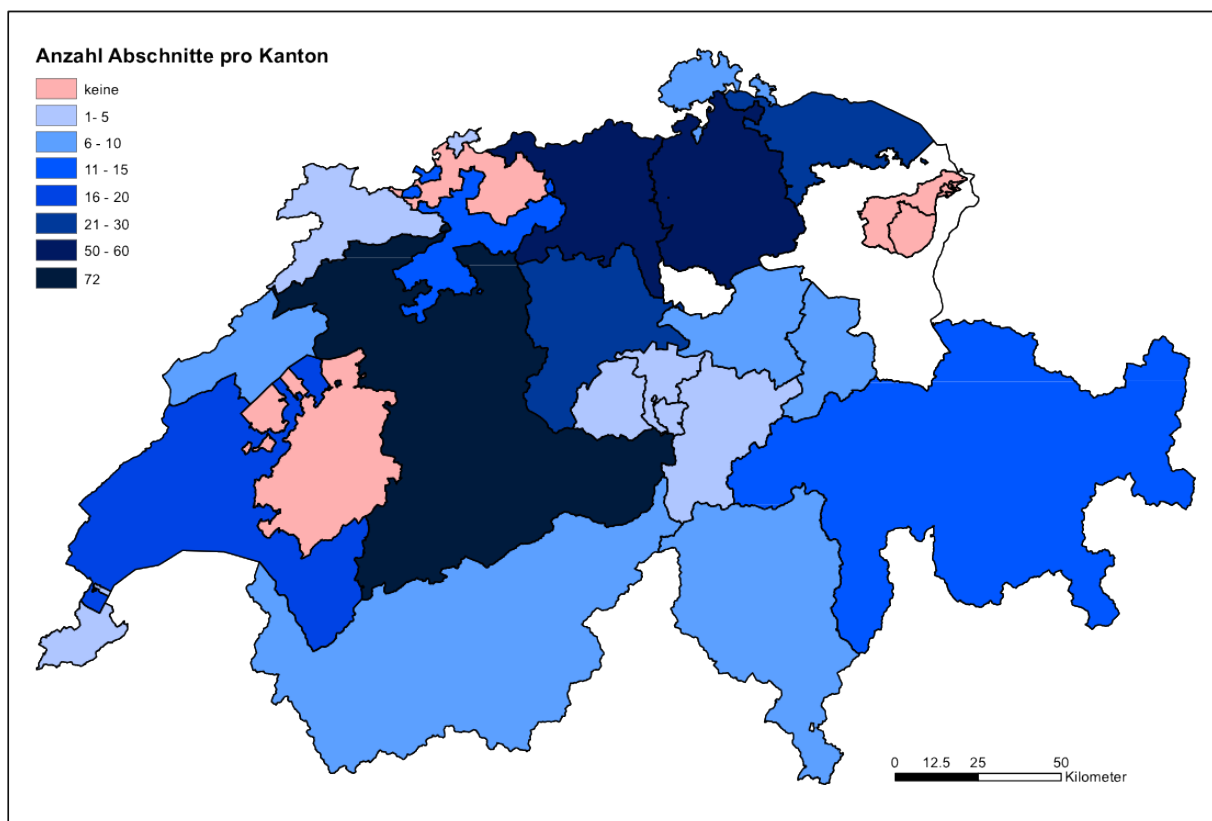


**Abbildung 27:** Prozentuale ökologische Eignung der Fliessgewässer pro Einzugsgebiet. Datenquelle: Rohde et al. (2005)



### 3.3.4 Kantonale Verteilung der geeigneten Renaturierungsabschnitte

Betrachtet man, in welchen Kantonen die am besten geeigneten Flussabschnitte für eine Revitalisierung liegen, so erhält man die Abbildung 28. In den beiden Kantonen Appenzell, dem Baselland und Fribourg liegt kein geeigneter Renaturierungsabschnitt. Mit 72 Abschnitten hat der Kanton Bern am meisten. Ebenfalls sehr viele hat der Aargau (50) und Zürich (59). Der Thurgau, Luzern, die Waadt, Graubünden und Solothurn haben zwischen 26 und 11 Abschnitte. Weniger als 10 geeignete Flussabschnitte liegen in Schwyz, Wallis, Tessin, Schaffhausen, Glarus, Neuenburg, Jura, Uri, Nidwalden und Genf. Die Kantone Obwalden und Baselstadt enthalten je nur einen geeigneten Revitalisierungsabschnitt. Zu St. Gallen und Zug lässt sich nichts sagen, da sie in der Untersuchung nicht berücksichtigt werden. Im Anhang A.7 auf Seite 80 ist die genaue Anzahl der geeigneten Flussabschnitte pro Kanton in Tabellenform dargestellt.



**Abbildung 28:** Kantonale Verteilung der für eine Revitalisierung geeigneter Flussabschnitte. Datenquellen: Geografische Umrisse: swissTLM3D 1.0 ©2012, swisstopo (5704 000 000)

## 4 Diskussion

Die Diskussion ist nach den drei Fragestellungen dieser Arbeit gegliedert. Der erste Abschnitt behandelt die Fragestellung: "Wie lassen sich für Renaturierungen geeignete Flussabschnitte finden und wo liegen diese?" und führt zu einer *technischen Diskussion der Multikriterienanalyse*. Der zweite Abschnitt behandelt die *Plausibilität der Ergebnisse* auf Kantonsebene und bezieht die bis jetzt gängige Praxis bei Revitalisierungen sowie andere Lösungsansätze aus der Literatur mit ein. Im letzten Abschnitt wird die Frage nach den *Renaturierungs-Hotspots* diskutiert und in Bezug zu den Anforderungen und Zielen des Bundes gesetzt.

*Technische Diskussion* Mit der in dieser Arbeit angewandten Multikriterienanalyse lassen sich geeignete Flussabschnitte für Renaturierungen finden. Die Grundzüge der Analyse stammen aus der Vollzugshilfe zur Revitalisierung der Gewässer vom BAFU. Es wurden jedoch einige Veränderungen und Ergänzungen vorgenommen.

- **Gewässerräume:** Die gewählten Gewässerräume sind unflexibel und nicht an die tatsächliche oder natürliche Gewässerbreite angepasst. Dies verursacht Schwierigkeiten beim Interpretieren von Karten für einen Gewässerraum. Für ein Gewässer mit einer bestimmten Breite muss die Karte zum jeweils passenden Gewässerraum gewählt werden.
- **Klassenzuteilung der Module:** Während dem GIS-Prozess werden die verschiedenen Kategorien der Module in einem Datensatz zusammengefasst. Um die dabei entstandenen Summen in die jeweiligen Klassen der Module einteilen zu können, wird mit Quantilen gearbeitet. Diese Funktion teilt jeder Klasse gleich grosse Flächenanteile zu. Da diese Klassifizierung bei jedem Gewässerraum auf einer anderen Grundlage beruht, können die Resultate der verschiedenen Buffer nicht miteinander verglichen werden.  
Durch diese Zuordnung wird neben der Bewertung auch die Häufigkeit der Kategorien wichtig. Hat es in einem Gewässerraum kleine, vereinzelte Flächen, werden diese durch die Funktion Quantile in die Klassen mit geringen Werten eingeteilt, auch wenn die isolierten Flächen wertvoll wären.
- **Naturkosten:** Das Modul Naturkosten ist in der Multikriterienanalyse des BAFU nicht vorgesehen. Er wird jedoch als nötig und sinnvoll erachtet, um berücksichtigen zu können, dass gewisse Naturwerte durch eine Revitalisierung auch negativ beeinträchtigt oder zerstört werden können. Mit diesem Filter soll zum Beispiel verhindert werden, dass Gewässer an Mooren, wel-

che in der Schweiz auf Verfassungsebene stark geschützt sind, als geeignet ausgeschieden werden. Dies wurde auch von Willy Müller in einem der Vorgespräche angesprochen. So scheidet die BAFU-Methode teilweise Entwässerungskanäle von Mooren als für Renaturierungen geeignet aus. Mit diesem Filter kann der von der Strategischen Planung vorgesehenen Plausibilisierung durch Experten in diesem Bereich vorgegriffen werden (Göggel, 2012).

- **Anzahl Klassen der Module:** Eine Änderung zur Strategischen Planung des BAFU ist die Anzahl Klassen für die Module Landschaft und Renaturierungseignung. Die BAFU-Variante sieht weiterhin nur drei Werte für die Landschaft und somit auch für das Endergebnis vor ((Göggel, 2012), Original Zuordnung im Anhang auf Seite 68). Durch das Einführen von mehreren Klassen in dieser Multikriterienanalyse kann berücksichtigt werden, dass es Gebiete ohne landschaftlichen Wert gibt, welche in einer anderen Gruppe eingeteilt sind als solche mit wenig wertvollen Flächen (erhalten so den Wert "kein" statt "gering"). Dies führt dazu, dass die Karte mit dem Endergebnis Renaturierungseignung fünf Eignungsklassen hat statt nur drei.

*Plausibilitätsprüfung* Die Prüfung auf regionaler Ebene liefert unterschiedliche Einschätzungen der Verwendbarkeit der Ergebnisse der Multikriterienanalyse.

Für den Kanton Graubünden stimmen die realisierten Renaturierungen und die Ergebnisse der Multikriterienanalyse nur für einige Module und Gewässerräume überein. Die Revitalisierungen liegen an ökomorphologisch stark beeinträchtigten Gewässern mit keinen oder geringen Naturkosten. Dies würde man auch so erwarten. Betrachtet man jedoch den Verlegungsaufwand, so liegen die Renaturierungen in Gebieten mit sehr grossen Aufwänden. Daher fällt die Bewertung für das Aufwertungspotenzial und auch die Renaturierungseignung der realisierten Renaturierungen schlecht aus. Vergleicht man jedoch die Aufwände über die vier Gewässerräume, so liegen beim 30m Gewässerraum am meisten Renaturierungen an Flussabschnitten mit keinem Aufwand. Je kleiner der Gewässerraum, desto eher liegen die Renaturierungen dort, wo man sie anhand der Resultate der Multikriterienanalyse erwarten würde. Die im Datensatz erfassten Renaturierungen sind nicht immer Aufweitungen, welche viel Raum brauchen. Es sind auch lokale Verbesserungen der Durchgängigkeit wie Fischtreppe oder Schwellenabbauten erfasst, durch welche die Breite des Gewässers nicht verändert wird und somit ein grosser Gewässerraum keine Rolle spielt.

Dass so viele tatsächliche Renaturierungen an Gewässerabschnitten liegen, welche von der Multikriterienanalyse mit hohen Aufwänden bewertet werden, wirft die Frage auf, ob die Kosten wirklich ein so wichtiger Faktor sind wie von der BAFU Vorgabe vorgesehen. Scheinbar gibt es auch in Gebieten mit sehr hohen Aufwänden Möglichkeiten, Revitalisierungen durchzuführen.

Mehr zu solchen möglichen Auslösern später bei den Konflikten und Synergien von Renaturierungsprojekten.

Die Plausibilitätsprüfung durch Marco Baumann als kantonaler Experte zeigt die gute Verwendbarkeit der Multikriterienanalyse. Die Beurteilung der Renaturierungseignung der Gewässer durch die Analyse und durch den Experten stimmt für den Thurgau weitgehend überein. Daher ist anzunehmen, dass die Resultate für Kantone mit einer vergleichbaren Datengrundlage wie der Thurgau auch ähnlich gut zutreffen.

Die Gesamtschweizer Multikriterienanalyse musste für die Beurteilung durch den Experten nur mit wenigen kantonalen Datensätzen ergänzt werden (Abschnitt 2.2.2, Seite 24). Durch diese individuelle Anpassung der Module an einen Kanton wurde das im Resultatteil 3.2.2 auf Seite 36 beschriebene gute Ergebnis für den TG erreicht. Doch auch von der Gesamtschweizer Multikriterienanalyse wurden die beiden in Abbildung 15 grün umkreisten Abschnitte, welche vom Kanton geplante Projekte sind, auch schon als geeignete Abschnitte lokalisiert. Im Anhang A.6 auf Seite 79 werden die geeigneten Abschnitte der Gesamtschweizer Multikriterienanalyse der Thurgauer Analyse gegenübergestellt. Dies lässt darauf schliessen, dass Kantone die in dieser Arbeit entwickelten Resultate mit geringen Anpassungen verwenden könnten.

Die in dieser Arbeit verwendete Multikriterienanalyse liegt mit der Abwägung zwischen ökologischem Nutzen und verhältnismässigen Aufwand wohl sehr nahe an der Planungsrealität: sehr stark verbaute Gewässer werden als ungeeignet ausgeschieden, da der Aufwand zu hoch wäre. Dies obwohl sie am stärksten beeinträchtigt sind und somit am stärksten einer Renaturierung bedürfen. Diese explizite Berücksichtigung des Aufwandes in der vorliegenden Multikriterienanalyse ist wohl der relevanteste Unterschied zu Rohde et al. (2005). Weitere Unterschiede zu Rohde et al. (2005) betreffen die sozio-ökonomischen Kriterien und soziale Aspekte, welche die Renaturierungseignung wesentlich bestimmen. Sie umfassen Hochwasserschutz (Indikator Schutzdefizit), existierende Infrastruktur (Distanz zwischen Infrastruktur und Fluss), Erholungsgebiete (Distanz zu Wohngebieten) und die öffentliche Meinung zu Umweltprojekten (ökologisch oder technokratisch). Auch Rohde et al. (2005) versuchen Gebiete zu identifizieren, in welchen gute Umweltbedingungen eine Revitalisierung begünstigen, damit der ökologische Nutzen nicht ausbleibt (Rohde et al., 2005). In der BAFU Anleitung wird dies mit dem ökologischen Potenzial und dem landschaftlichen Wert berücksichtigt. Rohde et al. (2005) verwenden dazu wohl die expliziteren Kriterien, indem zum Beispiel die Wasserqualität, die Distanz zu einer Kiesgrube oder auch der Anteil lokal vorkommender Tier und Pflanzenarten mit Gewässerbezug in der Mutlikriterienanalyse berücksichtigt werden.

*Renaturierungs-Hotspots* Mit der in dieser Arbeit angewandten Multikriterienanalyse lassen sich gut oder sehr gut geeignete Flussabschnitte mit einer Mindestlänge von 800m für eine Revitalisierung finden. Da diese vorwiegend im Mittelland liegen, stimmen die Gebiete mit dem

grössten Renaturierungspotenzial mit denjenigen der grössten Defizite überein (Abbildung 20 vs. Abbildung 1). Die geeigneten Flussabschnitte erreichen eine Gesamtlänge von 1220km (für den 50m Gewässerraum). Dies ist etwas weniger als ein Drittel der zu renaturierenden 4000km Fliessgewässer (Göggel, 2012). Somit könnte die Forderung des Bundes durch die Resultate der Gesamtschweizer Multikriterienanalyse nicht erfüllt werden. In der Auswertung fehlen allerdings noch die Kantone St. Gallen und Zug, welche ebenfalls einige Renaturierungs-Meter beisteuern können. Ausserdem wurde die Selektion nach geeigneten Flussabschnitten mit der Länge von 800 Metern gemacht. Es wären jedoch auch kürzere Revitalisierungen möglich. So hat Marco Baumann eine realistische Wunschlänge einer Renaturierung mit 500 - 800m angegeben. Kürzt man die Mindestlänge auf 500m, sind insgesamt schon mehr als 1600km für Renaturierungen geeignet. Mit einer Kombination aus grossen und noch kürzeren Aufwertungen wäre das Ziel erreichbar. Ausserdem gilt das 4000km Ziel für einen Planungszeitraum von 80 Jahren (Göggel, 2012), es können sich mit der Zeit also noch neue für eine Revitalisierung geeignete Gewässerabschnitte ergeben.

Da der Bund die Planung allen Kantonen selber überlässt, kann die Methodik von Kanton zu Kanton sehr verschieden sein (Göggel, 2012). Der Bund vergibt die Höhe der Abgeltungen nach dem voraussichtlichen Nutzen für Natur und Landschaft der Revitalisierungen, dazu braucht es einige für alle Kantone geltende Anhaltspunkte (Göggel, 2012). Daher gibt es die folgenden Bundesvorgaben, um vergleichbare und faire Ergebnisse unter den Kantonen zu erzielen:

1. "Die Länge der Fliessgewässer, deren Revitalisierung einen hohen Nutzen für Natur und Landschaft (...) hat, darf nicht grösser sein als ein Viertel der Länge der Fliessgewässer in einem schlechten Zustand" (Göggel (2012), Seite 37). Mit den Begriffen dieser Arbeit bedeutet dies, dass die Klassen gross und sehr gross des Moduls Renaturierungseignung nur eine Gesamtlänge von einem Viertel der Länge der Ökomorphologiezustände stark beeinträchtigt, künstlich/naturfremd und eingedolt haben darf.
2. "Die Länge der Fliessgewässer, deren Revitalisierung einen mittleren Nutzen für Natur und Landschaft hat, darf nicht grösser sein als die Hälfte der Länge der Fliessgewässer in einem schlechten Zustand" (Göggel (2012), Seite 37).

Mit den Ergebnissen für die gesamte Schweiz wird die erste Forderung ziemlich genau erfüllt (Klassen grosse und sehr grosse Renaturierungseignung betragen 24,6% der Länge der Gewässer in schlechtem Zustand beim 50m Gewässerraum). Der Anteil der mittleren Eignung dürfte im Modul sogar noch einige Prozente höher sein (Mittlere Renaturierungseignung beträgt 44% statt 50% der Länge der Gewässer in schlechtem Zustand beim 50m Gewässerraum).

Betrachtet man die Verteilung der geeigneten Flussabschnitte in den Kantonen (Abbildung 28), so hat Bern eine besonders grosse Verantwortung. Der Kanton Bern besitzt schon seit fünfzehn

Jahren einen Renaturierungsfond, welcher bei Projekten bis zu 80% der Kosten finanziert (Renaturierungsfond, 2008). Der Kanton verfügt somit über ein Instrument, mit welchem er in den ersten 11 Jahren schon 507 Projekte mit insgesamt 33,2 Millionen Franken umgesetzt hat (<http://www.vol.be.ch/vol/de/index/natur/fischerei/renaturierungsfonds/grundlagen.html> (2013), abgerufen am 17.3.2013). Der Kanton ist also schon seit einiger Zeit sehr aktiv in der Renaturierung seiner Gewässer. Über solch einen Fond verfügt nebst dem Kanton Bern nur noch Genf (Zaugg et al., 2004). Und auch Genf hat mit diesem Instrument, welchem jährlich um die 6 Mio. Franken zur Verfügung stehen, von 1998 bis 2008 annähernd 20km Fliessgewässer revitalisiert mit einem Aufwand von 45 Millionen Franken (<http://etat.geneve.ch/dt/eau/renaturation-878-5114.html> (2013), abgerufen am 18.3.2013). Durch die Erfolge dieser beiden Kantone ist daher anzunehmen, dass sobald die Finanzierung geregelt ist, viele Projekte umgesetzt werden. Da die Finanzierung im Falle des Revitalisierungsprogramms grösstenteils der Bund übernimmt, dürften wohl viele Projekte eingereicht werden und sich somit der Zustand der Schweizer Fliessgewässer laufend verbessern.

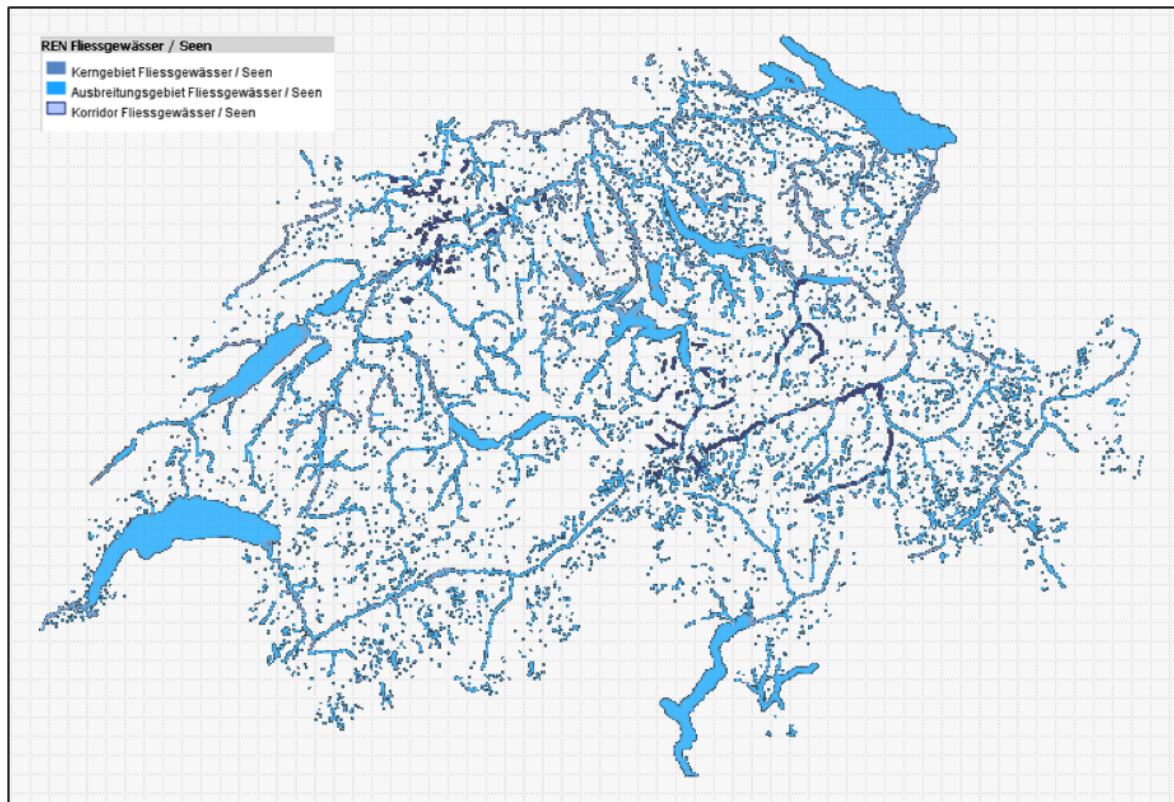
Die Planung der Revitalisierungen ist mit dem Lokalisieren geeigneter Abschnitte mit einem guten Verhältnis zwischen Nutzen für Natur und Landschaft und Aufwand jedoch noch nicht abgeschlossen. Synergien oder Konflikte mit anderen gewässerrelevanten Massnahmen oder Planungen können Projekte fördern oder verunmöglichen (Göggel, 2012). Gerade mit dem Hochwasserschutz bietet sich eine Synergie an, müssen doch Schutzprojekte ähnliche Anforderungen wie Revitalisierungsprojekte erfüllen (WBG (1991), Artikel 4, Absatz 2 und BAFU (2011e)). Hochwasserprojekte waren bis anhin der grösste Treiber für Revitalisierungen, denn ein natürlicher Fluss mit mehr Platz erhöht auch den Hochwasserschutz (Angelone et al., 2012). Liegen in einem Gewässerbereich ein ökologisches Defizit sowie ein Schutzdefizit vor, handelt es sich in erster Linie um ein Hochwasserschutzprojekt (BAFU, 2011e).

Weitere Synergien sind möglich bei der Sanierung der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung, der Erholungsnutzung, Gewässerentwicklungskonzepten etc., durch welche auch nicht optimal geeignete Flussabschnitte mögliche Revitalisierungsstandorte werden können (Göggel, 2012). Solche Synergien können eine Erklärung für die vielen Bündner Renaturierungen an von der Analyse eigentlich als schlecht geeignet klassifizierten Flussabschnitten sein. Mögliche Konfliktfelder, welche eine Renaturierung verunmöglichen können, sind eine zu grosse Beanspruchung von Landwirtschaftsland, die Wasserkraftnutzung, der Hochwasserschutz etc. (Göggel, 2012).

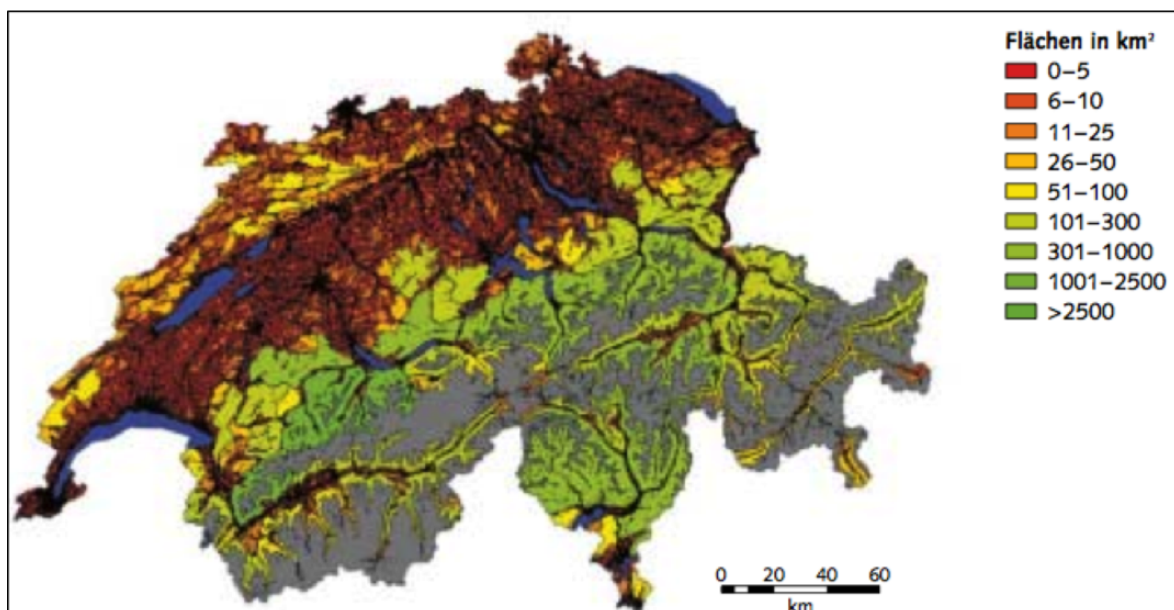
Bei der Planung der Revitalisierungen der beeinträchtigten Fliessgewässer beschränkt sich die Rolle des Bundes auf die Gesetzgebung, Prüfung der Projekte und Ausschüttung von Geldern. Die Rolle der Planung und Umsetzung liegt jedoch bei den Kantonen (Zaugg et al., 2004). Daher ist eine Gesamtschweizer Übersicht, wie sie in dieser Arbeit erstellt wird, nicht vorgese-

hen. Die Betrachtung der geeignetsten Renaturierungsgebiete über die gesamte Schweiz würde jedoch eine Einordnung in andere Bundesprogramme ermöglichen, wie zum Beispiel in das national ökologische Netzwerk (REN). Das REN zeigt wichtige Vernetzungsachsen zwischen Lebensräumen auf und kann so als Richtschnur bei nationalen, kantonalen und regionalen Planungen dienen (BUWAL, 2003). Als Übersicht wird dabei ein ökologisches Gesamtnetzwerk erstellt, welches aus den spezifischen Netzwerken Wald (in tiefen und höheren Lagen), extensiv genutzten Landwirtschaftsgebiete, Trockenwiesen, aquatische Lebensräume und Feuchtgebiete besteht (Berthoud et al., 2004). Gerade mit der Vernetzungssituation des Netzwerks der aquatischen Lebensräume bietet sich ein Vergleich an (Abbildung 29). Die Gewässer im Mittelland haben ein beachtliches Potenzial als Netzwerke, sind jedoch stark fragmentiert und können somit ihrer möglichen Funktion als Kern- und Ausbreitungsgebiete nicht nachkommen (Berthoud et al., 2004). Da die meisten in dieser Arbeit gefundenen geeigneten Revitalisierungsabschnitte im Mittelland liegen, zeigt der Vergleich zwischen dem REN und den hier gefundenen Abschnitten das grosse Vernetzungspotenzial durch Renaturierungen auf.

Es lohnt sich auch ein Vergleich mit der Landschaftszerschneidung, welche von Jaeger et al. (2007) ermittelt wurde. Die stärksten zerschnittenen Gebiete sind das Mittelland und der Jura (Abbildung 30). Wird die Zerschneidungskarte mit dem grossräumigen Vernetzungssystem überlagert, können in der gesamten Schweiz Konfliktpunkte aufgezeigt werden (Jaeger et al., 2007). Die revitalisierten Flussabschnitte würden an den Flächengrössen, aus welcher die Zerschneidungskarte zusammengesetzt ist, technisch nichts verändern. Doch die wieder natürlichen Gewässer können für Flora und Fauna neue Vernetzungskorridore sein und so die "biologische Zerschneidungskarte" verbessern. Das Revitalisierungsprogramm der nächsten Jahre bietet somit eine günstige Gelegenheit zur grossflächigen Verbesserung der Vernetzung. Geeignete Renaturierungsabschnitte in stark zerschnittenen Gebieten mit Potential als Korridor müssten daher absolute Priorität haben und könnten vom Bund gezielt koordiniert und gefördert werden.



**Abbildung 29:** Die Karte zeigt das spezifische Netzwerk Fließgewässer und Seen des nationalen ökologischen Netzwerks (REN). Daten: BAFU Web-GIS (<http://map.bafu.admin.ch> (2011), abgerufen am 25.3.2013)



**Abbildung 30:** Zerschneidungskarte der Schweiz mit den durchschnittlichen Flächengrößen. Datenquelle: (Jaeger et al., 2007), Seite 17



## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die verwendete Multikriterienanalyse ermöglicht die Lokalisierung von für Revitalisierungen geeigneten Flussabschnitten in der gesamten Schweiz. Geeignet sind Abschnitte, die eine grosse ökologische Aufwertung bei einem verhältnismässigem Aufwand ermöglichen. Dazu werden die vom BAFU vorgesehen Module Ökomorphologie, Aufwand und landschaftlicher Wert in einer Multikriterienanalyse kombiniert. Eine nützliche Ergänzung zu der Vorlage des Bundes ist das Modul Naturkosten. Dieses berücksichtigt den möglichen Verlust an wertvollen Naturflächen und hilft somit Konflikte mit dem Naturschutz zu vermeiden. Ein Schwachpunkt der Methode sind die unflexiblen Gewässerräume. Je nach Breite des Fliessgewässers müssen die Resultate der jeweils passenden Gewässerräume gewählt werden.

Die Plausibilitätsprüfung durch den kantonalen Experten Marco Baumann zeigt grosse Übereinstimmungen zwischen den Resultaten der Multikriterienanalyse und der Experteneinschätzung. Die Expertenbeurteilung lässt auf eine gute Verwendbarkeit der Multikriterienanalyse und der Resultate für die Revitalisierungsplanung schliessen.

Die für eine Revitalisierung geeignetsten Flussabschnitte mit einer Mindestlänge von 800m befinden sich vorwiegend im Schweizer Mittelland. Die Abschnitte sind im Kanton Bern am zahlreichsten, gefolgt von Aargau und Zürich. Es gibt jedoch auch Kantone, in welchen von der Multikriterienanalyse zu den festgesetzten Bestimmungen keine Flussabschnitte lokalisiert werden. Das Ziel von 4000km zu revitalisierenden Fliessgewässern könnte mit den in der Analyse lokalisierten Abschnitten noch nicht erfüllt werden.

Nachdem die am besten geeigneten Flussabschnitte im Bezug auf Aufwand und ökologischem Nutzen mit der vorliegenden Multikriterienanalyse lokalisiert wurden, entstehen viele weitere interessante Fragen: Wie gross ist der Verbrauch an Landwirtschaftsland durch diese möglichen Projekte? Sind Fruchtfolgeflächen oder Bauland betroffen? Gibt es Konflikte mit dem Hochwasserschutz oder Grundwasserschutz zonen? Liegen mögliche Revitalisierungen in Regionen, wo sie einen grossen Nutzen für die Erholung der Bevölkerung haben könnten, oder wo die Erholungsnutzung einer Renaturierung entgegen steht?

Wie von Marco Baumann angeregt, wäre eine Einteilung der Umgebung der geeigneten Flussabschnitte in die drei Kategorien Wald, Siedlungsgebiet und Landwirtschaftsland vermutlich zweckdienlich. Diese drei Kategorien beeinflussen den zur Verfügung stehenden Raum für das Gewässer unterschiedlich und sind mit verschiedenen grossen Hürden in der Projektrealisation verbunden.

Sehr interessant wäre auch der Vergleich der in den nächsten Jahren von den Kantonen eingereichten Revitalisierungsplanungen und den Ergebnissen dieser Multikriterienanalyse. Für die Kantone Graubünden und Thurgau wurde diese Analyse in der vorliegenden Arbeit ansatzweise

durchgeführt. Es wäre aber wichtig, diese Analyse für alle Kantone durchzuführen und abzuklären, in welchen von der Multikriterienanalyse als geeignet bezeichneten Abschnitten tatsächlich Revitalisierungen geplant sind. Die vorliegende Analyse wurde für die gesamte Schweiz mit einer einheitlichen Bewertung vorgenommen, ohne kantonale Interessen oder Planungen zu berücksichtigen. Es ist daher anzunehmen, dass die kantonalen Bewertungen in einem gewissen Masse von der gesamtschweizerischen Analyse abweichen. Die Stärke dieser Abweichung wäre eine interessante Frage.

Die Schweizweite Multikriterienanalyse hat den Vorteil, dass die Gebiete mit Revitalisierungspotenzial in andere Bundesprogramme wie zum Beispiel das REN eingeordnet werden können. Durch diesen Vergleich auf Ebene der gesamten Schweiz könnten Revitalisierungen dort gefördert werden, wo sie zum Beispiel der Vernetzung besonders dienen. Mit einer Übersicht von gut geeigneten Revitalisierungsgebieten der gesamten Schweiz könnte das BAFU somit Projekte in den angesprochenen Gebieten besser koordinieren und fördern.

## 6 Dank

Am Ende meiner Masterarbeit möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während diesem halben Jahr unterstützt haben.

Bei Felix möchte ich mich für die gute Betreuung und das sehr interessante Thema meiner Masterarbeit bedanken.

Auch Matthias möchte ich für seine Betreuung und Verbesserungsvorschläge danken.

Marco Baumann möchte ich für seine Bereitwilligkeit danken, mit der er sich die Zeit genommen hat um mich in zwei Gesprächen zu beraten und die Resultate meiner Arbeit zu bewerten.

Auch bei Willy Müller möchte ich mich für die ehrlichen Worte in unserem Gespräch bedanken.

Sigrun Rohde danke ich für die Daten ihrer Arbeit, welche sie mir freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat.

Meinen Eltern danke ich für ihre Unterstützung und Geduld und die kritischen Anmerkungen bei der Lektüre meiner diversen Versionen und Texten.

Julia danke ich für die Korrektur meiner englischen Zusammenfassung.

Bei der WSL Gruppe möchte ich mich für die vielen kurzweiligen Pausen bedanken und Rico, Sina, Roger und Nica für die Beantwortung aller meiner "Wie würdest du ..?" "Was meinst du..?" - Fragen.

## 7 Literaturverzeichnis

- Angelone, S., Fäh, R., Peter, A., Scheidegger, C., und Schleiss, A. (2012). Flussrevitalisierungen: eine Übersicht. *Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie*, Umwelt-Wissen, Seiten 1-8. Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- BAFU (2010). *EZGG-CH. Einzugsgebietsgliederung Schweiz. Produktdokumentation*. Bundesamt für Umwelt. 24 Seiten.
- BAFU (2011a). *Datenbeschrieb Aeschenpopulationen von nationaler Bedeutung*. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften. Version 1.0, 6 Seiten.
- BAFU (2011b). *Datenbeschrieb Nasenlaichgebiete 1995-2004*. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Arten, Ökosysteme, Landschaften. Version 1.0, 5 Seiten.
- BAFU (2011c). *Datenbeschrieb Smaragd-Gebiete*. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Artenmanagement, Neuchâtel. Version 1.0, 6 Seiten.
- BAFU (2011d). *Erläuternder Bericht. Parlamentarische Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer (07.492) - Änderung der Gewässerschutz-, Wasserbau-, Energie- und Fischereiverordnung. Versickerung von Abwasser - Änderung der Gewässerschutzverordnung. Anpassung der Fischnamen - Änderung der Fischereiverordnung*. Bundesamt für Umwelt. 40 Seiten.
- BAFU (2011e). Fachspezifische Erläuterungen zur Programmvereinbarung im Bereich Revitalisierungen. *Handbuch Programmvereinbarungen im Umweltbereich, Seiten 1-33*.
- BAFU (2012a). *Datenbeschrieb Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung*. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Artenmanagement, Biel. Version 1.1, 6 Seiten.
- BAFU (2012b). *Datenbeschrieb Pärke von nationaler Bedeutung*. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Natur und Landschaft. Version 1.3, 5 Seiten.
- BAFU (2012c). *Faktenblatt Gewässerraum und Landwirtschaft*. Bundesamt für Umwelt.
- Berthoud, G., Lebeau, R. P., und Righetti, A. (2004). *Nationales ökologisches Netzwerk REN. Schlussbericht*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. Schriftenreihe Umwelt Nr. 373. 131 Seiten.
- Bundeskanzlei (2010). *Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) (Renaturierung) Änderung vom 11. Dezember 2009*.
- BUWAL (2003). *REN. Die Vision für einen landesweit vernetzten Lebensraum Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Faltblatt BUWAL informiert.

- GSchG (1991). *Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer. (Gewässerschutzgesetz, GSchG)*. Stand am 1. Januar 2011.
- GSchV (1998). *Gewässerschutzverordnung (GSchV)*. Stand am 1. August 2011.
- Göggel, W. (2012). Revitalisierung Fließgewässer. Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. *Bundesamt für Umwelt, Umwelt-Vollzug Nr 1208*. Bern.
- Göggel, W. und Wagner, T. (2006). Ökomorphologie Stufe S (systembezogen). Methoden zur Untersuchung und Beuteilung der Fließgewässer gemäss dem Modul-Stufen-Konzept. Bundesamt für Umwelt (BAFU). 72 Seiten.
- Haertel, S. und Lussi, S. (2011). Lebensadern der Landschaft. *umwelt 3*, Seiten 8-15. Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Hauser, A. (2011). Lebensadern der Landschaft. Einschub: Gewässer als Standortfaktor. *umwelt 3*, Seite 14. Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- Hefti, D. (2012). Wiederherstellung der Fischeinfuhr- und -abwanderung bei Wasserkraftwerken. Checkliste Best practice. *Umwelt-Wissen Nr.1210*, 79 Seiten. Bundesamt für Umwelt (BAFU).
- [http://de.wikipedia.org/wiki/Multi\\_Criteria\\_Analysis](http://de.wikipedia.org/wiki/Multi_Criteria_Analysis) (2013). Multi Criteria Analysis. Abgerufen am 27.3.2013.
- <http://etat.geneve.ch/dt/eau/renaturation-878-5114.html> (2013). Renaturation. Abgerufen am 18.3.2013.
- <http://map.bafu.admin.ch> (2011). Web-GIS des Bundesamtes für Umwelt BAFU. Abgerufen am 25.3.2013.
- <http://maps.google.ch> (2013). Google Maps. Abgerufen am 1.4.2013.
- <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/00s50000001r000000> (2013). ArcGIS Resources. ArcGIS-Hilfe 10.1. Abgerufen am 26.3.2013.
- <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#/na/009z000000r7000000/> (2012). ArcGIS Resources. ArcGIS-Hilfe 10.1. Funktionsweise von Focal Statistics. Abgerufen am 28.3.2013.
- <http://www.bafu.admin.ch/gis/02909/index.html?lang=de> (2006). GIS. Was sind Geo-Informationen-Systeme (GIS)? Abgerufen am 1.4.2013.

- <http://www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/11359/index.html?lang=de> (2011). Zusammenhänge bei der Renaturierung der Gewässer. Abgerufen am 9.3.2013.
- <http://www.bafu.admin.ch/umwelt/indikatoren/08525/08586/index.html?lang=de> (2011). Kernindikator Strukturen der Fliessgewässer. Abgerufen am 7.3.2013.
- <http://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/bvfd/ajf/projekte/ArtenundLebensraumschutz/Seiten/Lebensraumschutz.aspx> (2012). Inventar der Revitalisierungsprojekte im Kanton Graubünden. Abgerufen am 17.12.2012.
- [http://www.rivermanagement.ch/aufweitungen/aufw\\_b1.php](http://www.rivermanagement.ch/aufweitungen/aufw_b1.php) (2008). Integrales Gewässermanagement. Erkenntnisse aus dem Rohne-Thur Projekt. Abgerufen am 14.1.2013.
- <http://www.vol.be.ch/vol/de/index/natur/fischerei/renaturierungsfonds/grundlagen.html> (2013). Eine Auswahl realisierter Renaturierungsprojekte. Abgerufen am 17.3.2013.
- Hütte, M. und Niederhauser, P. (1998). *Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27, 51 Seiten.
- Jaeger, J., Bertiller, R., und Schwick, C. (2007). *Landschaftszerschneidung Schweiz: Zerschneidungsanalyse 1885-2002 und Folgerungen für die Verkehrs- und Raumplanung. Kurzfassung*. Bundesamt für Statistik (BFS), Neuchâtel. 36 Seiten.
- Liechti, P., Sieber, U., von Blücher, U., Willi, H. P., Bundi, U., Frutiger, A., Hütte, M., Peter, A., Göldi, C., Kupper, U., Meier, W., und Niederhauser, P. (1998). *Modul-Stufen-Konzept. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer in der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern. Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 26, 40 Seiten.
- Renaturierungsfond (2008). *Merkblatt Renaturierungsfond*. Fischereiinspektorat Kanton Bern, Münsingen.
- Rohde, S., Hostmann, M., Peter, A., und Ewald, K. (2005). Room for rivers: An integrative search strategy for floodplain restoration. *Landscape and urban planning. Elsevier*, (78). Seiten 50 - 70.
- swisstopo (2005). *Produkteflyer Vector25*. Bundesamt für Landestopografie. 4 Seiten.
- WBG (1991). *Bundesgesetz über den Wasserbau*. Stand am 1. Januar 2011.

Wirz, F. (2010). Wie die Volksinitiative "Lebendiges Wasser" den Gewässerschutz voranbrachte. *natur und Mensch* 2, Seiten 11-15.

Zaugg, M., Ejderyan, O., und Geiser, U. (2004). *Normen, Kontext und konkrete Praxis des kantonalen Wasserbaus. Resultate einer Umfrage zu den Rahmenbedingungen der kantonalen Ämter oder Fachstellen für Wasserbau bei der Umsetzung der eidgenössischen Wasserbaugesetzgebung*. Zürich. Schriftenreihe Humangeographie 19, 96 Seiten.

Zeh Weissmann, H., Könitzer, C., und Bertiller, A. (2009). *Strukturen der Fliessgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009*. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. Umwelt-Zustand Nr. 0926, 100 Seiten.

## 8 Daten

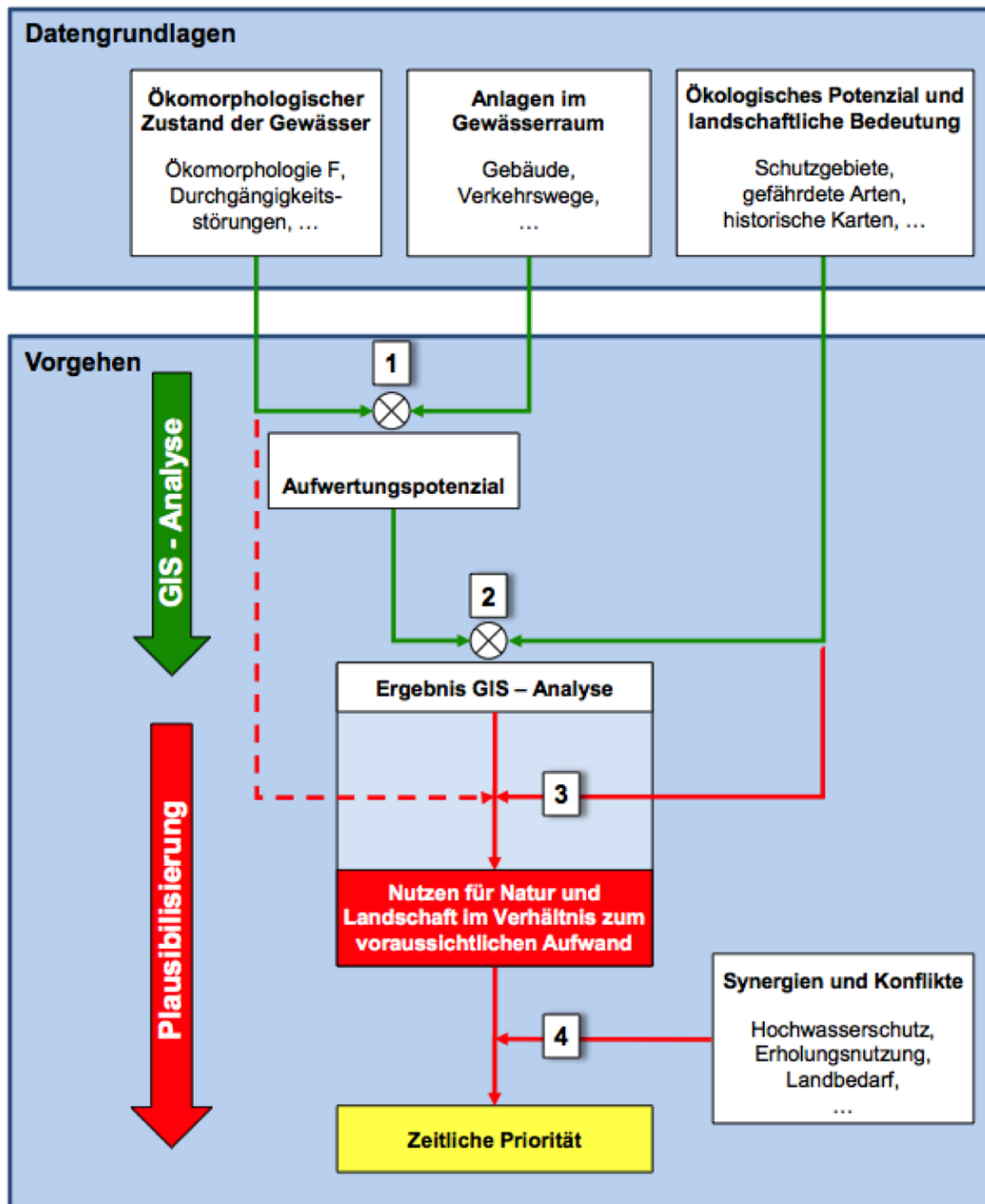
Aeschenpopulationen von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Arealstatistik 1992/97, Bundesamt für Statistik GEOSTAT  
Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Bundesinventar der Moorlandschaften von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Einzugsgebietgliederung Schweiz EZGG-CH, Bundesamt für Umwelt  
DHM25©2012, swisstopo (5704 000 000)  
Grenze Schweizer Nationalpark, BAFU, 3003 Bern  
Grundwasserschutzzonen, BAFU, 3003 Bern  
HydropowerPlant, Zentralen der Wasserkraftanlagen der Schweiz mit einer Leistung mind. 300 kW, Statistik der Wasserkraftanlagen Schweiz, Bundesamt für Energie  
Nasenlaichplätze, BAFU, 3003 Bern  
Ökomorphologie Stufe F (om\_abschnitte\_gwl25, om\_abstürze\_gwl25, om\_bauwerke\_gwl25), BAFU, 3003 Bern  
Pärke von nationaler Bedeutung, BAFU, 3003 Bern  
Pixelkarte 1:50'000, pixmaps©2011, swisstopo (5704 000 000)  
Richtplanangaben zu Altlasten der Kantone Aargau, Graubünden und Zürich  
Smaragd Gebiete, BAFU, 3003 Bern  
swissTLM3D 1.0 ©2012, swisstopo (5704 000 000)



# A Anhang

## A.1 Vorgehen gemäss Strategischer Planung

Die Abbildung zeigt den Ablauf der Strategischen Planung, welcher für diese Arbeit übernommen und modifiziert wurde.



**Abbildung 31:** Vorgehen bei der Revitalisierungsplanung gemäss der Strategischen Planung des BAFU. Quelle: Göggel (2012), Seite 31

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die Wertzuordnung wie sie ursprünglich von der Strategischen Planung des BAFU vorgesehen war. Quelle ist Göggel (2012), Seite 32 und 33.

**Tab. 3 > Aufwertungspotenzial: ökomorphologischer Zustand ⊗ Anlagen im Gewässerraum**

		Ökomorphologischer Zustand (gemäss Ökomorphologie Stufe F)			
		Natürlich/ naturmah	Wenig beeinträchtigt	Stark beeinträchtigt	Naturfremd / künstlich, eingedolt
Anlagen im Gewässerraum (bzw. Aufwand zu deren Entfernung)	Keine	Gering	Mittel	Gross	Gross
	Gering	Gering	Mittel	Gross	Gross
	Mittel	-	Gering	Mittel	Gross
	Gross	-	-	Gering	Gering

**Tab. 4 > Nutzen für Natur und Landschaft im Verhältnis zum voraussichtlichen Aufwand:  
Aufwertungspotenzial ⊗ ökologisches Potenzial und landschaftliche Bedeutung**

		Aufwertungspotenzial		
		Gering	Mittel	Gross
Ökologisches Potenzial und landschaftl. Bedeutung	Gering	Gering	Gering	Mittel
	Mittel	Gering	Mittel	Gross
	Gross	Mittel	Gross	Gross

## A.2 Berechnung des Gewässerraums gemäss Gewässerschutzverordnung

In wertvollen Gebieten wird die minimale Breite des Gewässerraums folgendermassen berechnet, gemäss GSchV (1998), Artikel 41a:

Natürliche Gerinnensohlebreite	Breite Gewässerraum
< 1m	11m
1 - 5m	6-fache Breite der Gerinnesohle plus 5m
> 5m	Breite der Gerinnesohle plus 30m

Dies betrifft: Biotope nationaler Bedeutung, kantonale Naturschutzgebiete, Moorlandschaften von besonderer Schönheit und nationaler Bedeutung, Wasser- und Zugvogelreservate von internationaler oder nationaler Bedeutung sowie Landschaften von nationaler Bedeutung und kantonalen Landschaftsschutzgebieten mit Gewässerbezug.

In den übrigen Gebieten wird der Gewässerraum folgendermassen festgesetzt:

Natürliche Gerinnensohlebreite	Breite Gewässerraum
< 2m	11m
2 - 15m	2,5-fache Breite der Gerinnesohle plus 7m

Solange der Gewässerraum nicht wie oben angegeben festgelegt ist, gelten die Übergangsbestimmungen der GSchV (1998), Seite 35:

Bestehende Gerinnensohlebreite	Einseitige Breite Gewässerraum
< 12m	8m
>12m	20m

Die folgenden Werte stammen aus BAFU (2011e):

Die natürliche Breite der Gerinnesohle muss bei verbauten Fliessgewässern mit einem Korrekturfaktor berechnet werden. Dieser beträgt bei eingeschränkter Breitenvariabilität das 1.5-fache der tatsächlichen Breite und bei fehlender Variabilität den Faktor 2.

Für Fliessgewässer mit einer natürlichen Gerinnesohlenbreite von >15m fehlen Grundlagen zur Bestimmung des Raumbedarfs, welche allgemeingültig wären.

## A.3 Datenübersicht

### A.3.1 Aufwand

**Tabelle 6:** Alle Kriterien für das Modul Aufwand mit den verwendeten Datensätzen, Einteilungen und Bewertungen für den Aufwand

Anlagen	Verwendeter Datensatz	Auswahl	Aufwand
Gebäude: - Wohn-, Gewerbe-, Industriegebäude - Kleine Einzelgebäude	TLM_GEBAEUDE_FOOTPRINT	>120m <sup>2</sup>	3
		<120m <sup>2</sup>	2
Siedlungs-, Gewerbe-, Industrieflächen ohne Gebäude	Arealstatistik 97	17, 19, 21, 32, 34, 68, 35, 67, 24	2
Strassen inkl. Brücken: - Autobahn, Autostr. 1.-Kl.Str. - 2.-3. Kl.Str., Quartierstr. - 4.-6.-Kl.Str., Wege	TLM_STRASSE	OBJECTART 2, 21, 8, 9	3
		10, 11	2
		15-18	1
Eisengahnlinien	TLM_EISENBAHN		3
Leitungen: - Transit-, Hauptleitungen  - Lokale Leitungen, Werkleitungen	Hochspannungsleitungen TLM_VERSORGUNGSBAUT_LIN Wasserleitungen mit TLM_FLIESSGEWAESSER Kein nationaler Datensatz	OBJECTART 1- 3	2 3
ARA	Arealstatistik 97	63	3
Kraftwerke, Ausgleichs- becken, Staustufe	Wasserkraftwerke mit HydropowerPlants Staufufen: om_bauwerke_gwl25 sowie TLM_STAUBAUTE	BAUWTYP 3 -6, 8 OBJECTART 0, 1	3 3
Grundwasserfassungen mit Grundwasserschutzzonen	GWS und GWS_2	Zonen 1 & 2	3
		restl. Zonen	2
Hochwasserdämme	Arealstatistik 97	93	2
Wildbachverbauungen	TLM_VERBAUUNG_MAUER	OBJECTART 0	2
Altlasten	Kein nationales Altlastenkataster Deponien mit Arealstatistik 97 und Richtpläne AR, GR, ZH	64	2
Kulturtechnische Anlagen	TLM_EINZELOBJEKT	OBJECTART 10	2

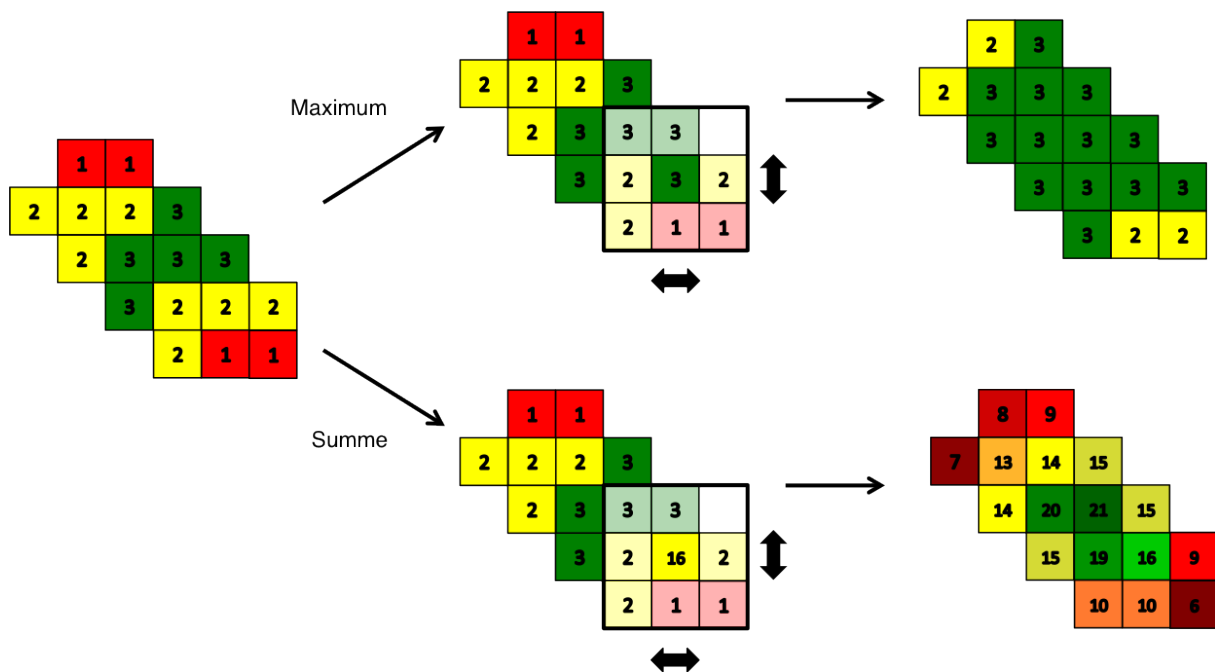
## A.3.2 Landschaftlicher Wert

**Tabelle 7:** Alle Kriterien für die Module Landschaft und Naturkosten mit den verwendeten Datensätzen, der Bewertung und der Gewichtung

	Datensatz	Naturkosten		Landschaft	
		Wert	Gewichtung	Wert	Gewichtung
<b>Bundesinventare</b>					
Aueninventar	au	-	-	3	1
Fischlaich-, Krebsgebiete	Nase	-	-	3	1
	Äschen			3	1
Flachmoor-, Hochmoorinventar	FM	3	1	3	1
	HM	3	1	3	1
Moorlandschaftsinventar	ML	2	1	2	0.01
BLN		-	-	3	0.01
Amphibienlaichgebiete	am_l & am_g	-	-	3	1
<b>Weitere Schutzgebiete und Lebensräume</b>					
Geschützte Gebiete gemäss SNP					
Kernzone Nationalpark, Naturerlebnispark, Schweizerischer Nationalpark	park_1	-	-	2	0.01
Kantonale Natur- und Landschaftsschutzgebiete					
Schutzwürdige Lebensräume gemäss NHG					
Smaragd-Gebiete		-	-	3	0.01
Besondere Fischlebensräume					
<b>Morphologie und Landschaft</b>					
Gebiete mit Potenzial für fluss- morphologische Entwicklung	DHM25 Neigung >6%	2	0.1	-	-
Natürliche oder naturnahe Gewässer nach Ökomorphologie Stufe F	in AufPot				
Seltene Gewässertypen					
Landschaftlicher Wert					
<b>Weitere Kriterien</b>					
Unbeeinflusster Abfluss	Rohde				
Naturnaher Geschiebehaushalt					
Lage im Gewässerhaushalt					
Mündungen					

## A.4 Technischer Exkurs: Funktionsweise eines Moving Windows

Während dem GIS-Prozess wird mehrfach mit dem Befehl Focal Statistics gearbeitet. Dieser Befehl vereinheitlicht die Rasterwerte in einem Moving Window. Wie die beiden verwendeten Funktionen *Maximum* und *Summe* funktionieren wird anhand der folgenden Abbildung erklärt:



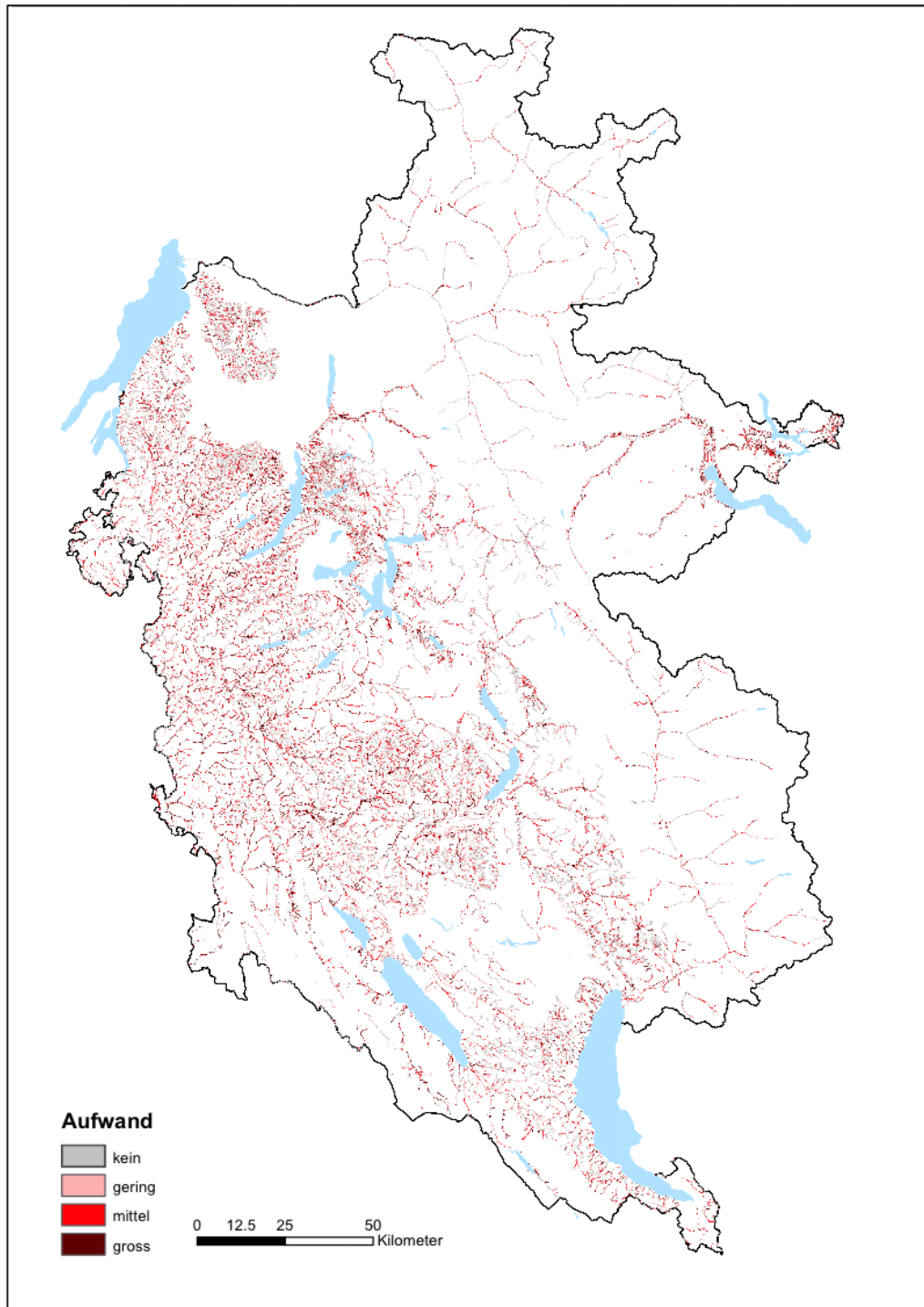
**Abbildung 32:** Funktionsweise der Befehle *Maximum* und *Summe* in einem Moving Window. Weitere Ausführungen im Text

Das Bild links zeigt einen kurzen Gewässerabschnitt, aufgeteilt in Rasterzellen. Jede Zelle besitzt einen bestimmten Wert. Mittlere Bilder: Das Moving Window, dargestellt als Quadrat mit dicker Aussenlinie, ist an die Breite des Gewässerraumes angepasst, in diesem Beispiel 3 auf 3 Zellen. Das Fenster verschiebt sich über das gesamte Raster. Für die Zelle in der Mitte des Moving Window wird ein Wert abhängig von den Nachbarzellen im Fenster berechnet. Bei der Funktion *Maximum* wird der Zelle in der Mitte der höchste Wert der Nachbarschaft im Moving Window zugeteilt. Siehe Beispiel Mitte oben: aus dem Wert 2 wird der Wert 3. Mit der Funktion *Summe* wird für jede Zelle der summierte Wert aller Nachbarzellen inklusive dem eigenen Zellwert berechnet (Mitte unten,  $3+3+2+2+1+1+2+2=16$ ). So wird für jede Zelle, je nach gewählter Funktion, ein neuer Wert berechnet. Die unterschiedlichen Ergebnisse sind in den rechten Bildern dargestellt.

Weitere Informationen auf: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.1/index.html#//na/009z000000r7000000/> (2012)

## A.5 Gesamtschweizer Karten der Module

Datenquellen: Geografische Umriss: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)



**Abbildung 33:** Aufwand für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum

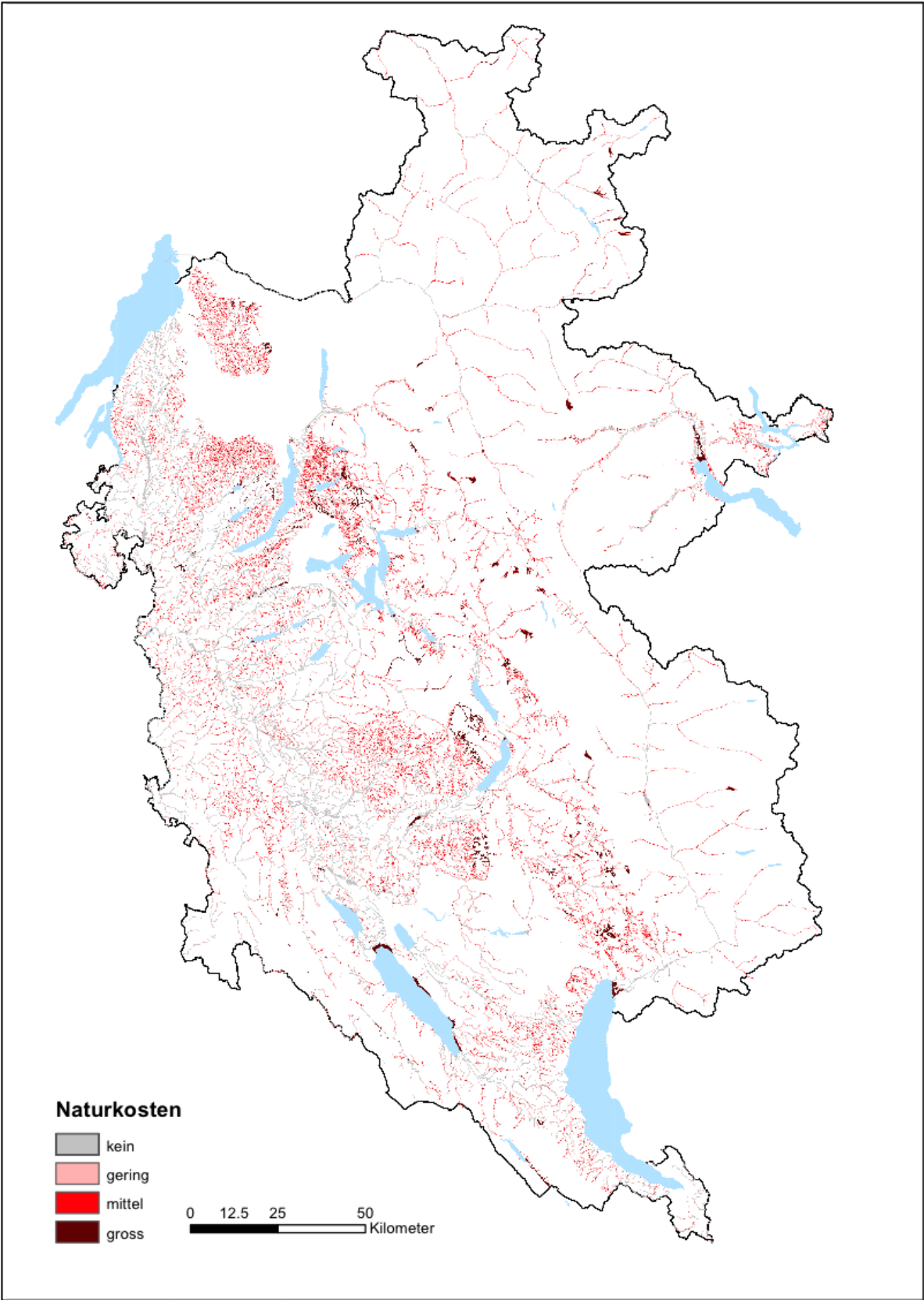


Abbildung 34: Naturkosten für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum



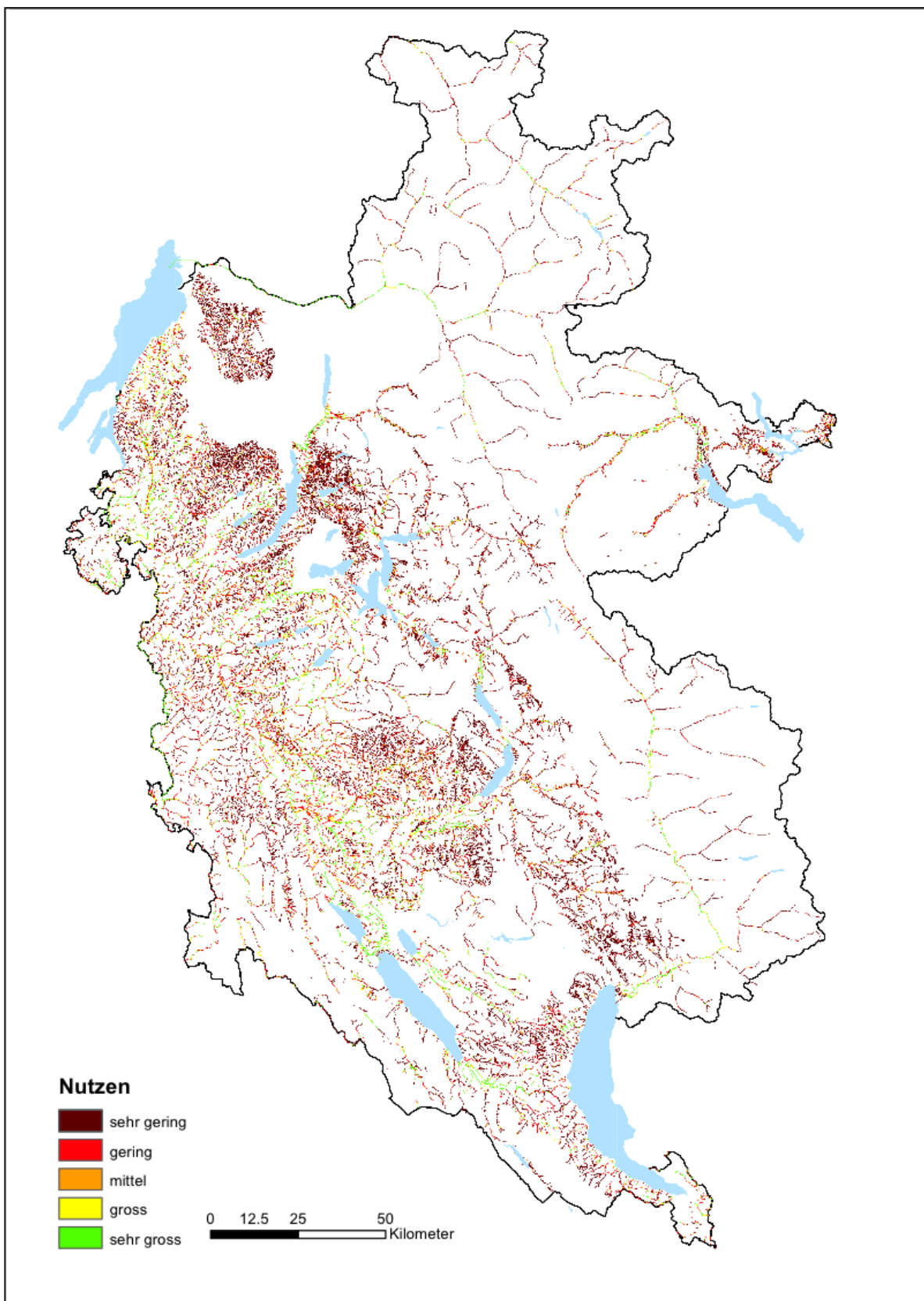


Abbildung 35: Nutzen für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum

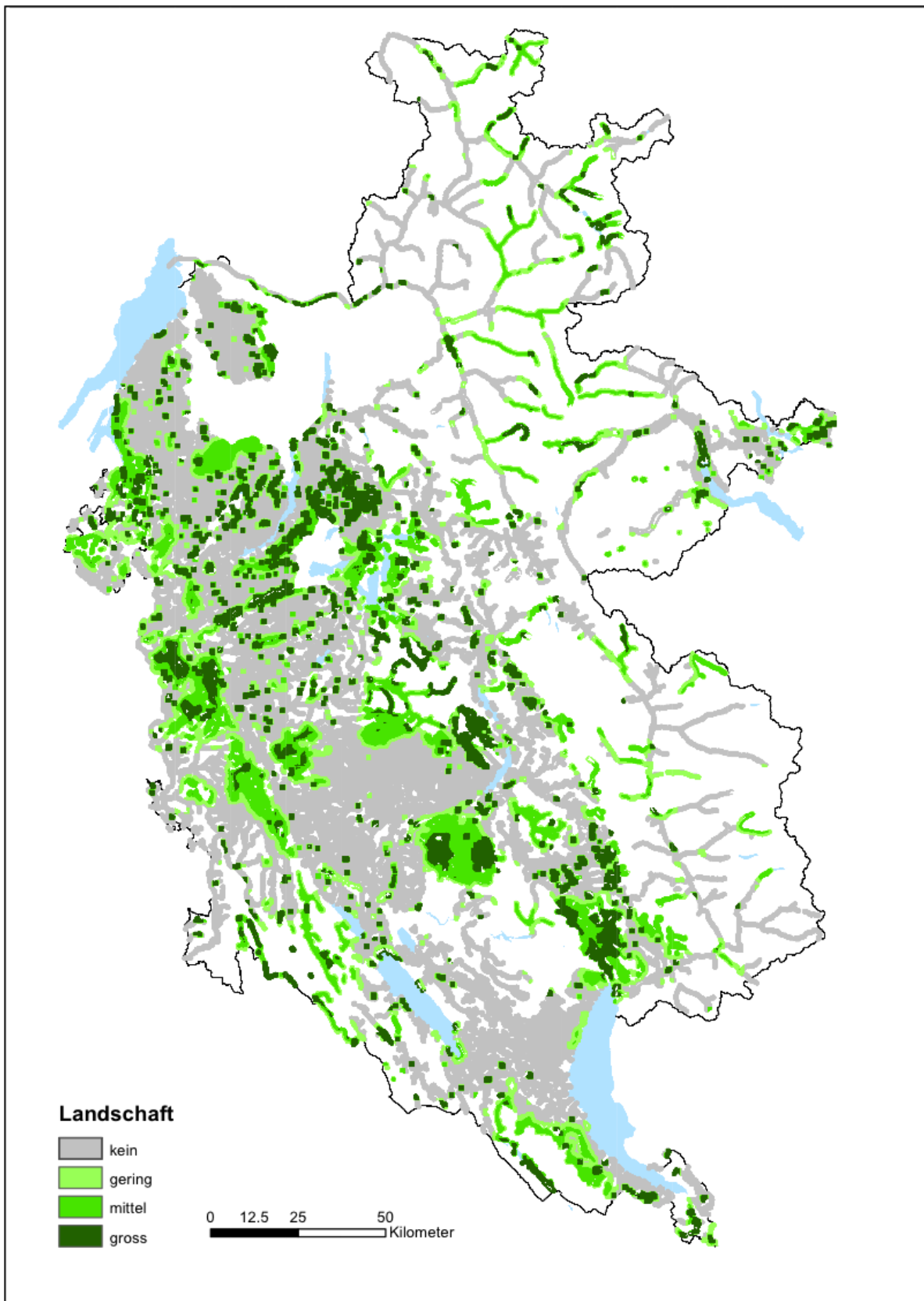


Abbildung 36: Landschaft für die ganze Schweiz im 50m Gewässerraum

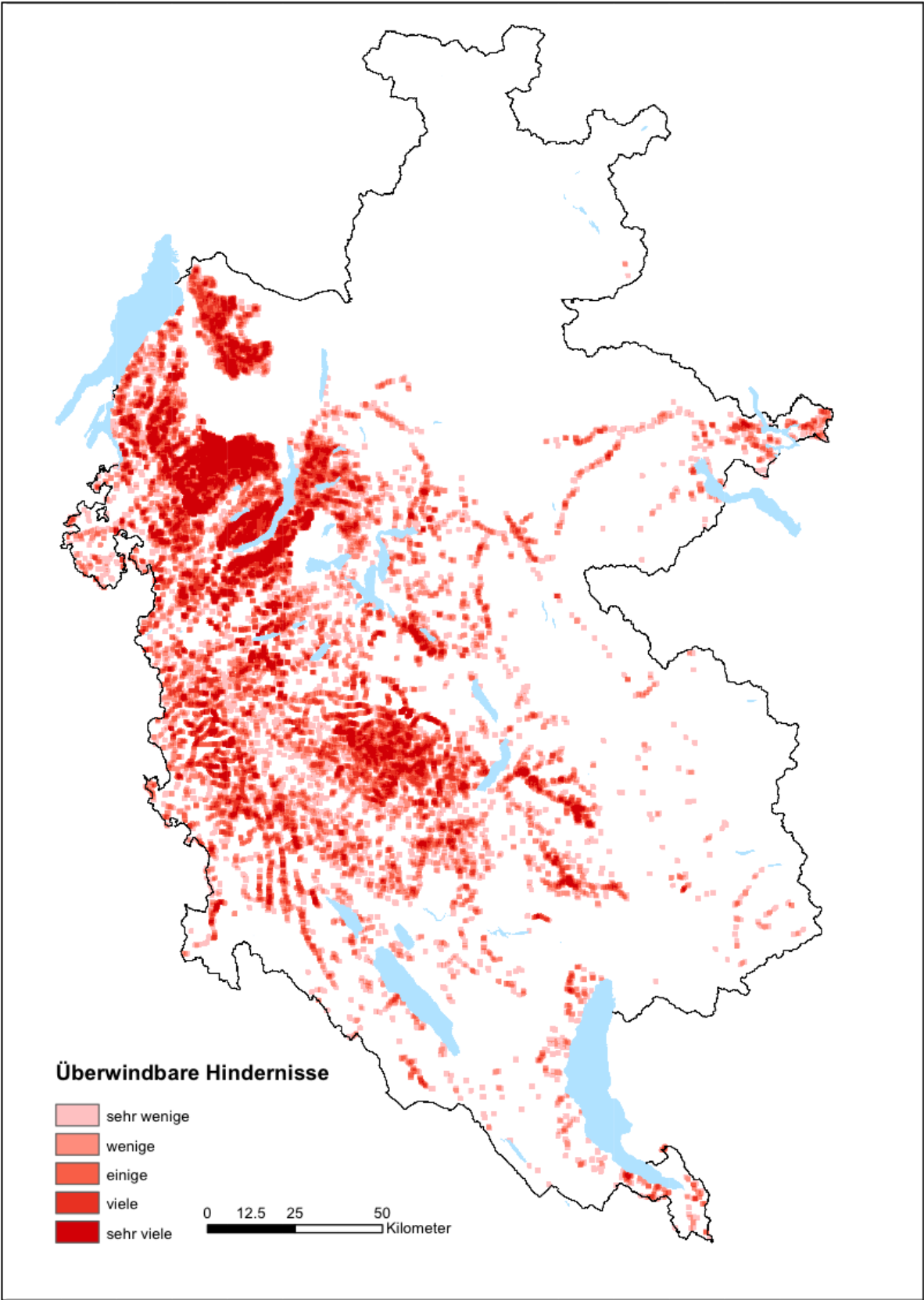


Abbildung 37: Überwindbare Durchgängigkeitsstörungen

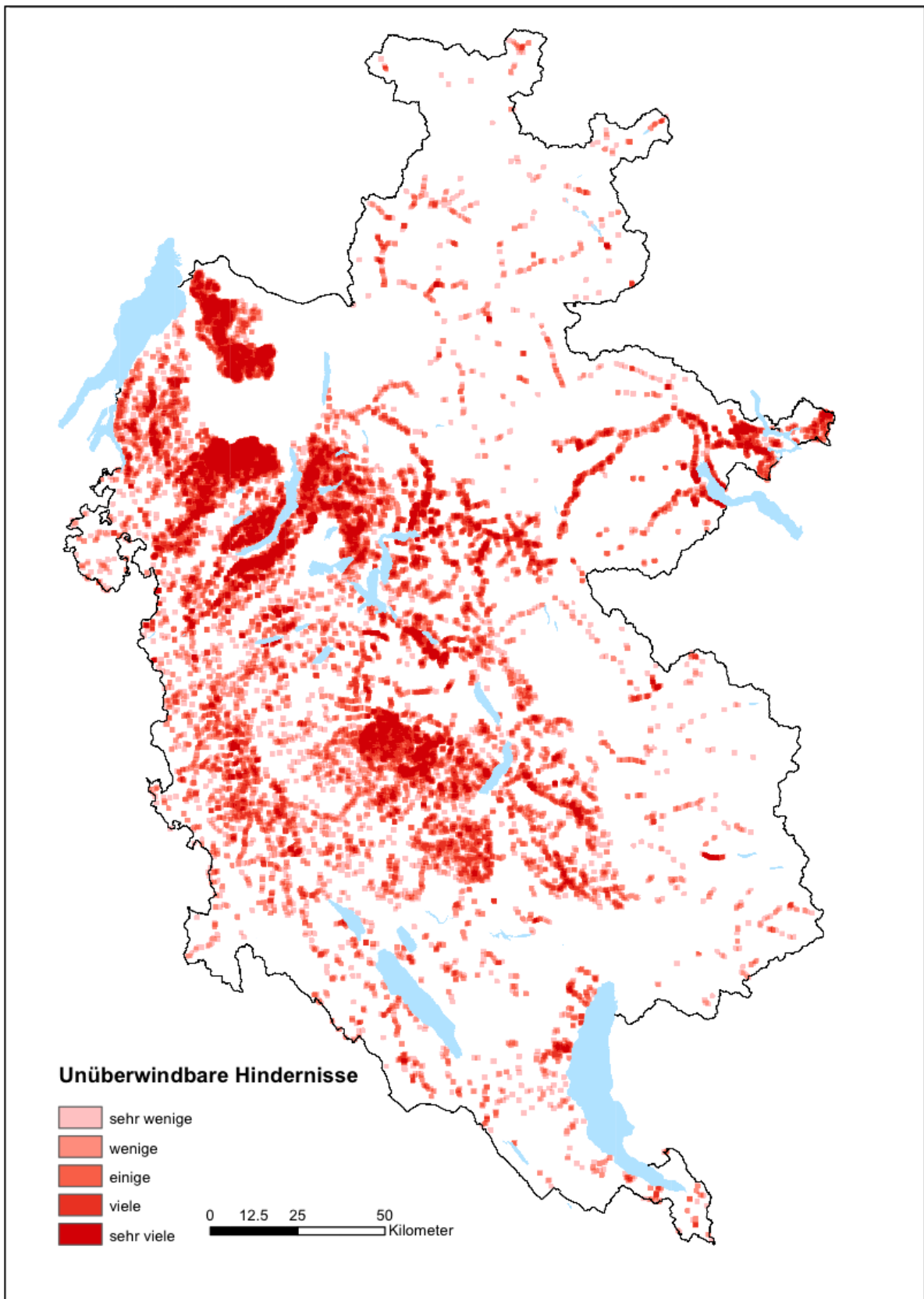
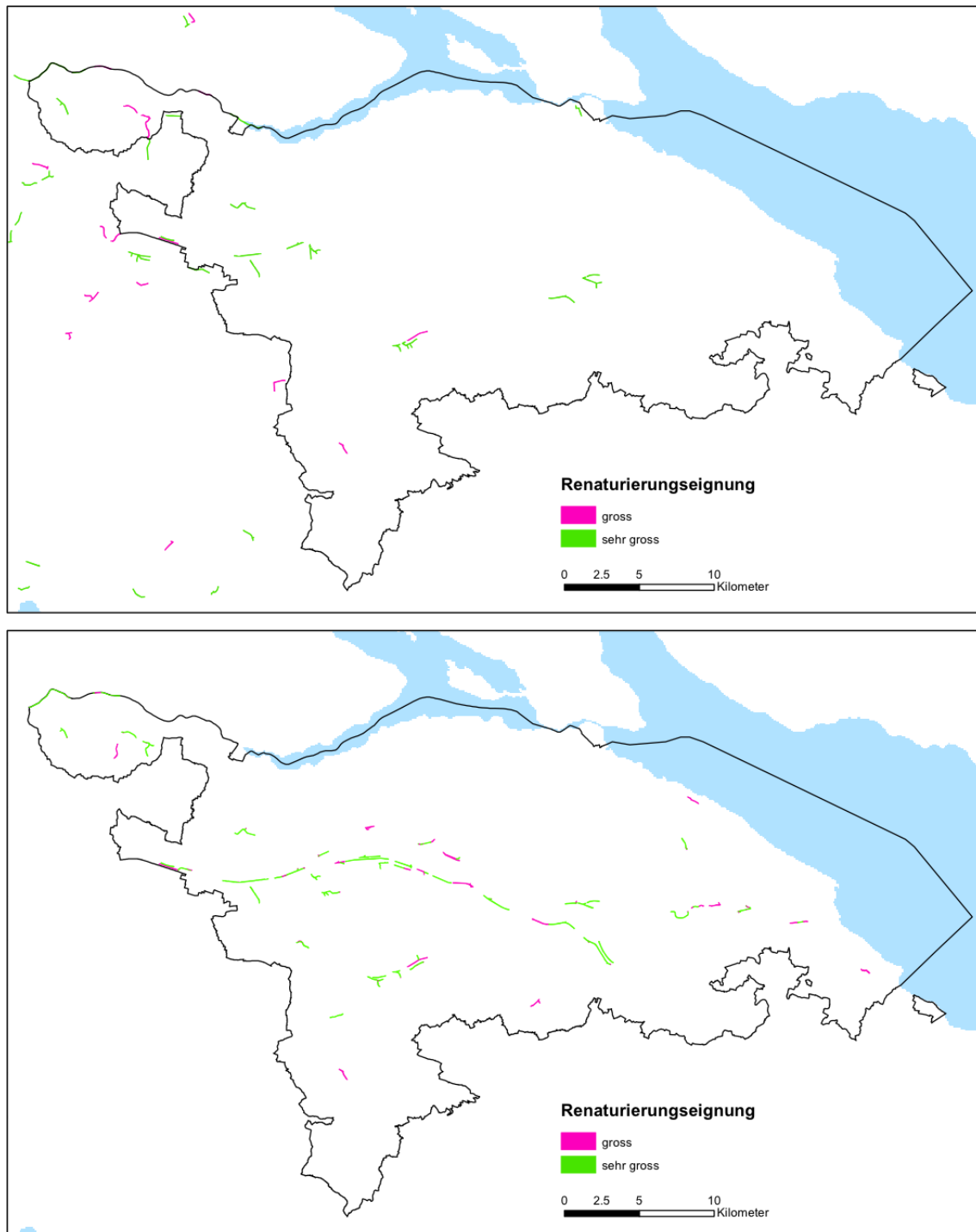


Abbildung 38: Unüberwindbare Durchgängigkeitsstörungen

## A.6 Geeignete Flussabschnitte im Thurgau

In diesen beiden Karten werden die geeigneten Abschnitte für den Thurgau verglichen.



**Abbildung 39:** Oben: Geeignete Flussabschnitte der Gesamtschweizer-Analyse. Unten: Geeignete Flussabschnitte der an den Thurgau angepassten Analyse. Datenquellen: Geografische Umrisse: swissTLM3D 1.0©2012, swisstopo (5704 000 000)

## A.7 Verteilung der geeigneten Flussabschnitte in den Kantonen

**Tabelle 8:** Anzahl geeigneter Flussabschnitte für eine Revitalisierung pro Kanton

Kanton	Anzahl Abschnitte
AI	0
AR	0
FR	0
BL	0
BS	1
OW	1
GE	2
NW	2
UR	2
JU	5
NE	7
GL	7
SH	7
TI	9
VS	9
SZ	9
SO	11
GR	12
VD	16
LU	23
TG	26
AG	50
ZH	59
BE	72
SG & ZG	In Untersuchung nicht berücksichtigt