



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Umwelt BAFU**

## Anhang 1

Revitalisierung Fliessgewässer - Strategische Planung  
Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Stand 2023

---

# **Verfahren zur Priorisierung der Beseitigung künstlicher Fischwanderhindernisse in Fliessgewässersystemen**

---

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

### **Arbeitsgruppe**

Peter Reichert (Wasser-Agenda 21, <https://peterreichert.github.io>)

Isabelle Ambord (BAFU)

Kuno von Wattenwyl (Kt.Schwyz)

Sandro Schläppi (Kt. Bern)

Manuel Pompini (Kt. Fribourg)

Werner Dönni (Fischwerk, <https://fischwerk.ch>)

Gregor Thomas (BAFU)

Rosi Siber (Eawag)

Nele Schuwirth (Eawag).

### **Support durch Eawag**

Rosi Siber (Eawag, GIS Support)

Ambuj Srivastava (Eawag)

### **Konsultierte ExpertInnen**

Jakob Brodersen (Eawag)

Conor Waldock

Bernhard Wegscheider (Eawag – Uni Bern)

Pascal Vonlanthen und Nicole Egloff (Aquabios, <https://aquabios.ch>)

Armin Peter (FishConsulting, <https://fishconsulting.ch>)

Christian Hossli (Aqua Viva, <https://aquaviva.ch>)

Eva Baier (Fischwanderung, <https://fischwanderung.ch>)

Christine Weber (Eawag)

Stefan Vollenweider (Wasser-Agenda 21, <https://wa21.ch>)

### **PDF-Download**

[www.bafu.admin.ch/uv-1208-d](http://www.bafu.admin.ch/uv-1208-d)

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
1. Einleitung und Ziele	8
2. Konzept	10
3. Methodenbeschreibung	12
3.1 Festlegung der Gebiete, innerhalb welcher priorisiert werden soll	13
3.2 Fragmentierungsanalyse	13
3.2.1 Datenanforderungen	13
3.2.2 Netzwerkanalyse	14
3.2.3 Beispiel	14
3.3 Identifikation von Revitalisierungsvarianten	15
3.3.1 Vorgehen	15
3.3.2 Beispiel	17
3.4 Quantifizierung der Fragmentierung und Bewertung	17
3.4.1 Quantifizierung des Fragmentierungszustandes	18
3.4.2 Bewertung des Fragmentierungszustandes	24
3.4.3 Kostenschätzung	26
3.4.4 Beispiel	28
3.5 Einzugsgebietsübergreifende Analyse	29
3.5.1 Aggregation der Attribute	30
3.5.2 Beispiel	31
3.6 Vorauswahl von Revitalisierungsvarianten durch Vergleich von Nutzen und Kosten	33
3.7 Plausibilisierung mit Ortskenntnis	34
3.7.1 Beurteilung durch ortskundige Fachleute oder durch eine Feldbegehung kritischer Stellen guter Varianten	34
3.7.2 Fertigstellung der strategischen Barrierenplanung	34
4. Schlussfolgerung	35

## Zusammenfassung

Im Rahmen der Aktualisierung des Vollzugshilfemoduls "Revitalisierung Fließgewässer - strategische Planung" wurden Anpassungen insbesondere hinsichtlich der Themen der aquatischen Längsvernetzung, Datengrundlagen und der Koordination mit weiteren Planungen vorgenommen. Das vorliegende Dokument zeigt eine Methodik auf, wie die Längsvernetzung gemäss dem Vollzugshilfemodul adäquat evaluiert werden kann.

Die Erfahrungen mit dem Vollzugshilfemodul für die strategische Revitalisierungsplanung durch die Kantone von 2012<sup>1</sup> haben gezeigt, dass dieses erfolgreich für die Priorisierung der Revitalisierung von Fließgewässerstrecken eingesetzt werden konnte, dass aber eine Ergänzung bezüglich der Verbesserung der Längsvernetzung für die Fischmigration für die Planung von 2026 sehr nützlich wäre.

Ziel dieses Berichts ist es, eine Methodik aufzuzeigen, wie die Längsvernetzung evaluiert werden kann. Für die Priorisierung der Verbesserung der Fischgängigkeit von Wanderhindernissen braucht es eine einzugsgebietsorientierte Betrachtung, um den Überblick über die für Fische zusammenhängenden Regionen in einem Einzugsgebiet zu erhalten und Hindernisse zu identifizieren, die mit möglichst wenig Aufwand möglichst grosse solche Regionen schaffen können. Dies ist das Kernelement des vorgeschlagenen Verfahrens.

Die Hindernisse in den grössten Flüssen der Schweiz sind in der Regel Wasserkraftwerke. Die Verbesserung der Fischgängigkeit bei Wasserkraftwerken ist bereits beschlossen<sup>2</sup>. Aus diesem Grund fokussieren wir uns auf die Einzugsgebiete der Zuflüsse zu den grossen Flüssen und Seen, in welchen die meisten Hindernisse nicht durch die Wasserkraftnutzung bedingt sind. Da die grossen Flüsse und Seen in der Regel besonders artenreich und für die Fischwanderung, auch über grosse Strecken, von Bedeutung sind, ist die Erreichbarkeit guter Fischhabitare in den Zufluss-Einzugsgebieten der grossen Flüsse und Seen von besonders grosser Bedeutung für die Erweiterung der Habitare einer diversen Fischgemeinschaft. Daneben ist es aber auch wichtig, grosse zusammenhängende Fischhabitare in den Zuflüssen zu fördern, auch wenn diese, allenfalls natürlicherweise, für Fische nicht von der Mündung her erreicht werden können.

Das hier vorgestellte Verfahren befasst sich mit der räumlichen Priorisierung von Hindernissen, deren Fischgängigkeit zu verbessern ist. Idealerweise würde man diese Planung mit einem langfristigen Zeithorizont durchführen mit dem Ziel eine strategische Planung zu erhalten, die sich an den Zielen für die Biodiversität und Resilienz der Fischgemeinschaft orientiert. Die Subventionssätze werden dann anhand dieser strategischen Planung festgelegt. Bei der darauffolgenden zeitlichen Priorisierung können die Synergien mit anderen Wasserbauprojekten berücksichtigt werden.

Das hier erarbeitete Verfahren besteht aus sieben Schritten:

### **1. Festlegung der Gebiete, innerhalb welcher priorisiert werden soll**

Diese Festlegung hängt von den aktuellen Gegebenheiten ab. Typischerweise wird es ein grösseres Einzugsgebiet oder eine Menge von kleinen und mittelgrossen Zuflüssen eines Sees oder eines Flussabschnitts sein.

<sup>1</sup> Göggel W. 2012: Revitalisierung Fließgewässer. Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1208: 42 S.

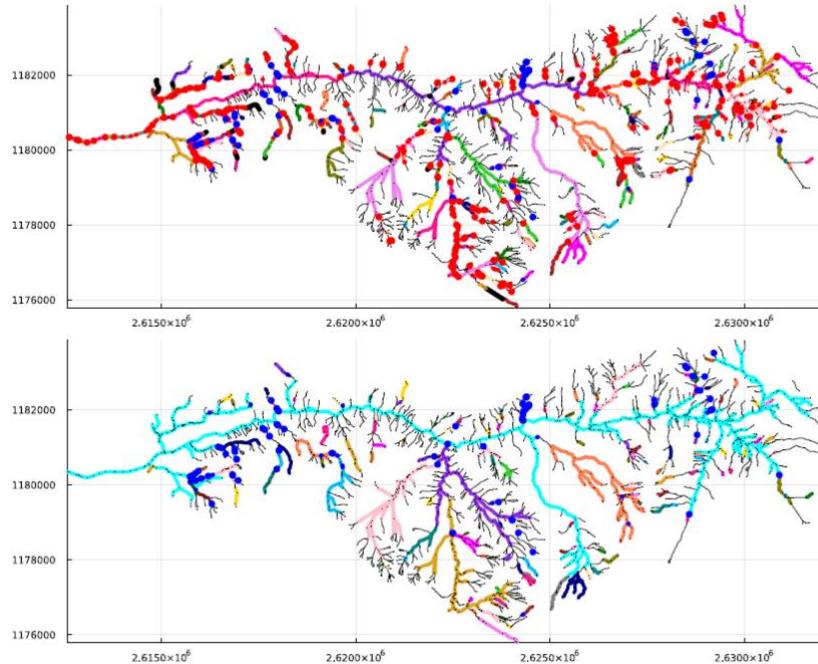
<sup>2</sup> BAFU 2016: Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen:Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer». Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1634: 51 S.

## 2. Fragmentierungsanalyse der Einzugsgebiete der Zuflüsse zu den grossen Flüssen und Seen

Bereitstellung der Daten, GIS-Analyse zur Bestimmung der fischgängigen Regionen und Erstellung einer grafischen Übersicht (Abb.1).

**Abbildung 1**

Illustration am Beispiel der Zulg (Zufluss zur Aare zwischen Thun und Bern). Zusammenhängende Regionen sind farblich hervorgehoben, türkis für die von der Mündung erreichbare Region, künstliche Barrieren sind rot, natürliche Barrieren blau und Eindolungen schwarz markiert. Obere Abbildung: aktueller Zustand, untere Abbildung: naturnaher Zustand (ohne künstliche Hindernisse). Für Details siehe Kapitel 3, für weitere Beispiele Anhang A1.

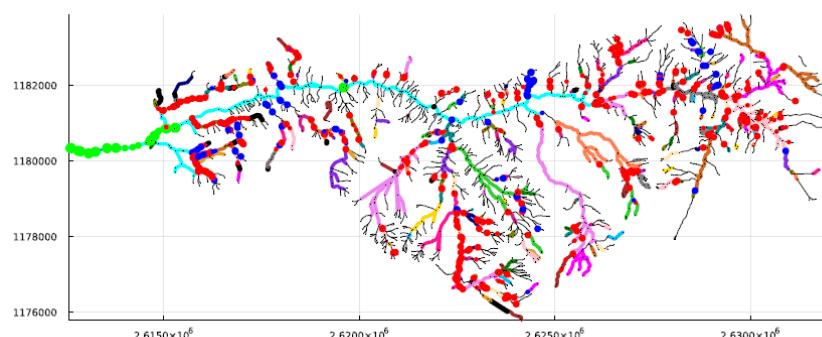


## 3. Identifikation von "Schlüsselhindernissen" zur Reduktion der Fragmentierung

Nutzung der grafischen Übersicht in den Einzugsgebieten zur Identifikation von "Revitalisierungsvarianten" oder kürzer "Varianten", welche aus Kombinationen von Hindernissen bestehen, die fischgängig gemacht werden sollen, um die Erreichbarkeit von Habitaten von der Mündung aus zu verbessern und/oder fischgängige Regionen zu vergrössern (Abb. 2).

**Abbildung 2**

Illustration am Beispiel der Zulg. Zusammenhängende Regionen, wenn die hellgrün markierten Hindernisse fischgängig gemacht werden (die meisten im untersten Abschnitt, aber auch Verbindung der zwei oben gezeigten grösseren Regionen im Mittellauf). Details siehe Kapitel 3, für weitere Beispiele Anhang A1.



#### 4. Quantifizierung des Nutzens und Schätzung der Kosten der Revitalisierungsvarianten in den Einzugsgebieten

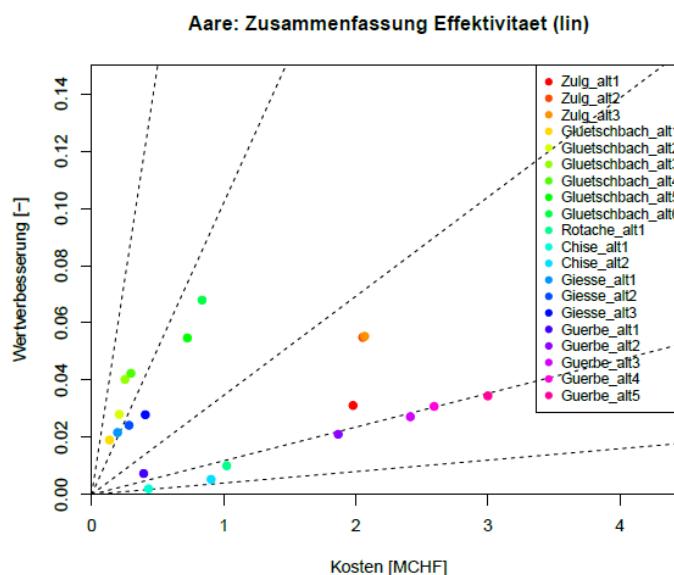
Bewertung der Fragmentierung im aktuellen Zustand und für die gewählten Varianten im Vergleich zum naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse). Grobe Kostenschätzung durch Extrapolation der Kosten von bereits realisierten Projekten.

#### 5. Einzugsgebietsübergreifende Bewertung der Varianten und des Nutzens für die Natur relativ zum Aufwand (Kosten)

Gesamtheitliche Bewertung der Einzugsgebiete aller Zuflüsse zu einem relevanten Abschnitt eines grossen Flusses und Darstellung des erwarteten Nutzens der Varianten oder von Kombinationen von Varianten in den Einzugsgebieten im Vergleich zu den Kosten (Abb. 3).

**Abbildung 3**

Illustration am Beispiel der Aare zwischen Thun und Bern. Nutzen quantifiziert als "Wertverbesserung" gegen geschätzte Kosten für Varianten in den Zuflüssen. Man erkennt, dass die Varianten für den Glütschbach und die Giesse ein besonders grosses Nutzen zu Kosten Verhältnis aufweisen. Für Details siehe Kapitel 3, für das konkrete Beispiel Anhang A1.



#### 6. Provisorische Vorauswahl und Einteilung in Nutzenklassen

Einteilung in Nutzenklassen "hoch", "mittel", "gering" von Varianten aufgrund des Nutzens relativ zu den Kosten oder für einzelne Hindernisse durch ihren Beitrag zur längerfristigen strategischen Planung.

#### 7. Plausibilisierung mit Fachleuten mit Ortskenntnis für die definitive Auswahl

Konsultation ortsvertrauter Fachpersonen oder allenfalls Feldbegehung von Schlüsselstellen der besten Varianten zur Verifikation der Hindernisse, zur Beurteilung der Fischgängigkeit der Hindernisse, zur Erhebung ergänzender Daten und zur verbesserten Kostenschätzung. Revision und Abschluss der strategischen Planung der Längsvernetzung.

Da die Vollzugshilfe für die Revitalisierung der Fließgewässerstrecken bereits vorliegt, befasst sich diese Studie mit der Ergänzung bezüglich der Längsvernetzung. Die Koordination der Planungen der Revitalisierung von Fließgewässerstrecken und der Verbesserung der Fischgängigkeit von Hindernissen ist natürlich sehr wichtig. Bei der Bewertung gemäss den Schritten 4 und 5 wird der ökomorphologische Zustand der Fließgewässerstrecken berücksichtigt. Hier kann ein durch eine geplante Revitalisierung erreichter guter Zustand bereits berücksichtigt werden, wodurch Hindernisse,

die den Zugang zu solchen Strecken ermöglichen, einen höheren Nutzen (durch grösseren Wertzuwachs) erhalten.

Eine einzugsgebietsorientierte Betrachtung endet natürlicherweise nicht an den Kantongrenzen. Deshalb ist die Zusammenarbeit von betroffenen Kantonen in der Planung der Längsvernetzung von grosser Bedeutung. Da der Fokus auf Einzugsgebieten der Zuflüsse der grossen Flüsse und Seen und nicht auf diesen selbst liegt, wird das in den meisten Fällen nicht viele Kantone gleichzeitig betreffen, sodass der Koordinationsaufwand überschaubar sein sollte. Die Projektierung und Ausführung der Projekte kann trotzdem kantonal erfolgen.

## 1. Einleitung und Ziele

Aufgrund des schlechten ökomorphologischen Zustands haben ca. 10'800 km Fließgewässerstrecken und 50'000 künstliche Hindernisse in der Schweiz einen Revitalisierungsbedarf<sup>3</sup>. Aufgrund der Revision des Gewässerschutzgesetzes von 2011 wurde ein 80-jähriges Revitalisierungsprogramm gestartet, für welches die Kantone mit Unterstützung durch das Vollzugshilfemodul für die strategische Revitalisierungsplanung im Jahr 2014 ihre erste strategische Revitalisierungsplanung für Fließgewässer durchgeführt haben.

Gemäss der Gewässerschutzverordnung steht im Jahr 2026 die Aktualisierung der strategischen Planung der Fließgewässer an. Die Erfahrungen mit dem Vollzugshilfemodul von 2012 haben gezeigt, dass dieses erfolgreich für die Priorisierung der Revitalisierung von Fließgewässerabschnitten eingesetzt werden konnte, dass aber eine Ergänzung bezüglich der Verbesserung der aquatischen Längsvernetzung für die Planung von 2026 sehr nützlich wäre. Ziel dieses Berichts ist es, eine Methodik aufzuzeigen, wie die Längsvernetzung evaluiert werden kann.

Die Fundamentalziele (was man wirklich erreichen möchte; siehe auch Glossar im Anhang A3) in Bezug auf die Fischgemeinschaft sind die folgenden:

- Erhaltung oder Wiederherstellung der natürlichen Biodiversität der Fischgemeinschaft;
- Verbesserung der Resilienz der Fischgemeinschaft (der Erholung der Fischgemeinschaft nach einer Störung).

Aufgrund der beschränkten Mittel ist es sehr wichtig, kosteneffiziente Massnahmen zu planen, die einen grossen Nutzen für die Natur im Verhältnis zum Aufwand (Kosten) erbringen.

Die oben angeführten Fundamentalziele können in der Form der folgenden Instrumentalziele (Ziele, die zur Erreichung der Fundamentalziele beitragen sollen; siehe auch Glossar im Anhang A3) in Bezug auf Wanderhindernisse für Fische konkretisiert werden (in eckigen Klammern der Bezug zu den Fundamentalzielen):

- **Gute Vernetzung von Habitaten für die verschiedenen Lebenszyklen** (Laichgebiete, Larvenhabitare, Jungfischhabitare, Adulthabitare, Ruhezonen, usw. für natürlich vorkommende Arten)[zur Unterstützung der selbstständigen Erhaltung der Fischpopulationen];
- **Vernetzung von Habitaten unterschiedlicher Struktur** (etwa Refugien bei Hochwasser, Kaltwasserrefugien, Refugien mit geringerem Prädationsdruck, etc.) [Förderung der Diversität durch Habitate für unterschiedliche Fischarten und der Resilienz durch geschütztere Refugien, aus welchen andere Strecken nach Störungen wiederbesiedelt werden können];
- **Gute Vernetzung von kleineren Habitaten mit grösseren Quellpopulationen**, insbesondere aus den in der Regel artenreicheren grösseren Flüssen [zur Förderung der Resilienz durch die mögliche Wiederbesiedlung nach einer Störung und der genetischen Diversität durch grössere (meta-)Populationen];
- **Anbindung von Strecken, die im aktuellen Zustand keine natürliche Fischgemeinschaft aufweisen** [Förderung der Wiederherstellung (eines Teils) der natürlichen Biodiversität und der Resilienz durch die Vergrösserung der Habitate].

<sup>3</sup> Zeh Weissmann Heiko, Könitzer Christoph, Bertiller Anita 2009: Strukturen der Fließgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Umwelt-Zustand Nr. 0926. Bundesamt für Umwelt, Bern. 100 S.

Im nächsten Kapitel wird ein Konzept vorgestellt, das Gewässerschutzfachleuten bei der Priorisierung von Hindernissen helfen kann, so dass deren Verbesserung der Fischgängigkeit auf möglichst effiziente Art zur Erfüllung dieser Ziele beitragen kann.

## 2. Konzept

Das erarbeitete Konzept für die Priorisierung von Hindernissen zur Verbesserung der Fischgängigkeit beruht auf den Prinzipien der Entscheidungsanalyse<sup>4</sup> und orientiert sich an der Anwendung dieser Verfahren im Umweltmanagement<sup>5</sup>, insbesondere für die Bewertung von Einzugsgebieten<sup>6</sup>. Das Vorgehen orientiert sich am zu erreichenden oder anzunähernden Zielzustand. Der Zielerreichungsgrad wird in Funktion des Zustands des Systems quantifiziert und anschliessend werden Revitalisierungsvarianten (in unserem Fall zu beseitigende oder fischgängig zu machenden Hindernissen; siehe auch Glossar im Anhang A3) auf die zu erwartende Zielerreichung untersucht. Das Ziel des guten Zustandes bezüglich der Fischgängigkeit kann aufgrund der in Kapitel 1 diskutierten Instrumentalziele in zwei Unterziele aufgeteilt werden: (i) die gute Erreichbarkeit guter Habitate vom Ausfluss des Einzugsgebiets, und (ii) das Vorhandensein grosser zusammenhängender guter Habitate im Einzugsgebiet. Die letzteren müssen nicht unbedingt vom tiefsten Punkt erreichbar sein.

Aufgrund der sehr starken Unterschiede in der Schwimm- und insbesondere Sprungstärke verschiedener Arten unterscheiden wir, stark vereinfachend, für die weitere Konkretisierung zwei Klassen von Fischarten.

Diese werden im Folgenden als «Salmoniden» und «nicht-Salmoniden» bezeichnet; es sind aber damit generell sprungstarke und sprungschwache Arten gemeint, was oft, aber nicht immer, mit Salmoniden und nicht-Salmoniden übereinstimmt. Teilt man diese Ziele hierarchisch in Ober- und Unterziele ein, erhält man die in Abbildung 4 dargestellte Zielhierarchie. Obwohl diese Zielhierarchie und die Fragmentierungsanalyse nur diese zwei Klassen von Fischen unterscheiden, können die Bedürfnisse spezifischer Arten bei der Bewertung durch die Gewichtung mit der, bei Bedarf artspezifischen, fischökologischen Bedeutung berücksichtigt werden.

Diese Ziele werden immer im Vergleich zum naturnahen Zustand beurteilt, der durch einen guten ökomorphologischen Zustand der Fließstrecken und die Abwesenheit von künstlichen Wanderhindernissen in der Form von Barrieren (Abstürze oder andere Bauwerke) oder Eindolungen abgebildet wird.

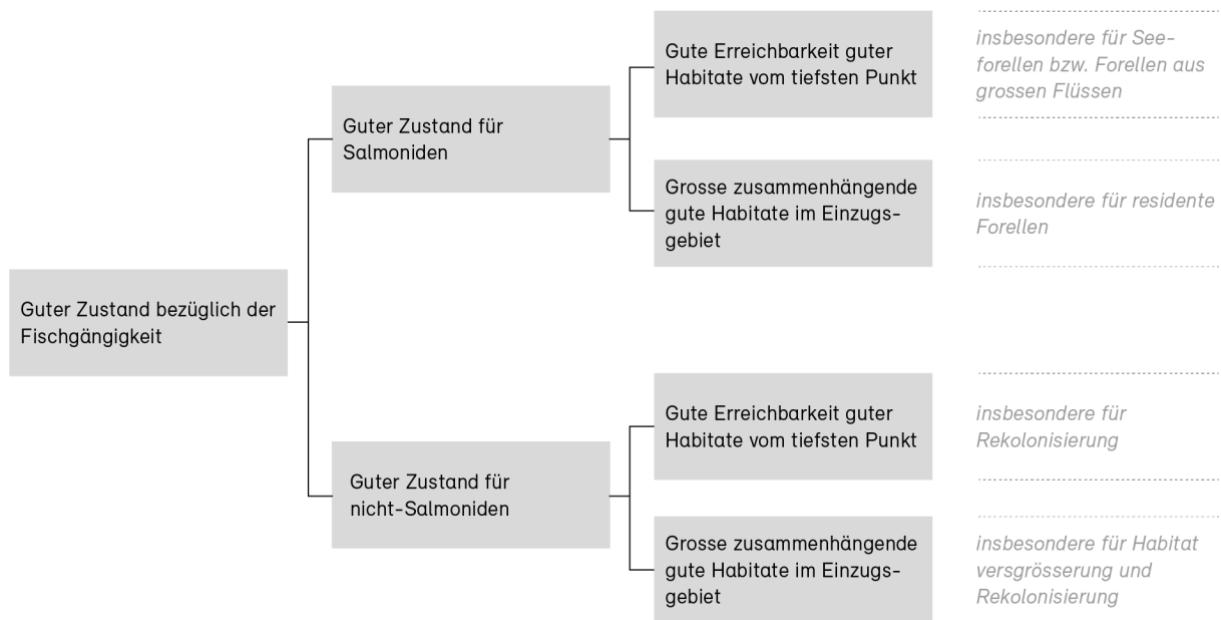
<sup>4</sup> Keeney and Raiffa, 1976; von Winterfeldt and Edwards, 1986; Keeney, 1992; Eisenführ et al., 2010

<sup>5</sup> Linkov and Moberg, 2012; Gregory et al., 2012; Reichert et al., 2015

<sup>6</sup> Kuemmerlen et al., 2019

**Abbildung 4**

Zielhierarchie für einen guten Zustand eines oder mehrerer Einzugsgebiete in Bezug auf die Fischgängigkeit.



Bei der Priorisierung von Hindernissen zur Verbesserung der Fischgängigkeit geht es darum, Hindernisse zu identifizieren, deren Beseitigung bzw. Verbesserung der Fischgängigkeit zu einem besonders grossen Gewinn für die Längsvernetzung führen würde. Eine Analyse der Potenziale einzelner Hindernisse ist für diesen Zweck nicht zielführend, da einzelne Hindernisse immer nur einen kleinen Beitrag leisten, falls ein weiteres Hindernis den Weiterweg verhindert. Trotzdem kann eventuell die Beseitigung dieses Hindernisses in Kombination mit der Beseitigung weiterer Hindernisse ein grosses Potenzial haben. Aus diesem Grund gehen wir von einer Analyse und Quantifizierung der Fragmentierung eines Flusseinzugsgebiets im Vergleich zur natürlichen Fragmentierung aus und suchen dann Kombinationen von Hindernissen, deren Beseitigung zu einer besonders grossen Verringerung der Fragmentierung führen würde.

Diese Vernetzungs- bzw. Fragmentierungsanalysen werden für die Einzugsgebiete der Zuflüsse von grossen Flüssen und Seen durchgeführt, da die Verbesserung der Fischgängigkeit der Wasserkraftwerke in den grossen Flüssen bereits beschlossen ist und aus anderen Quellen finanziert wird<sup>7</sup>. Die Analyse der einzelnen Einzugsgebiete wird dann ergänzt durch eine einzugsgebietsübergreifende Analyse, die die relative Grösse der Einzugsgebiete mitberücksichtigt.

<sup>7</sup> BAFU 2016: Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen: Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer». Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1634: 51 S.

### 3. Methodenbeschreibung

Das in Kapitel 2 skizzierte Konzept wird in sieben Schritten implementiert:

**1. Festlegung der Gebiete, innerhalb welcher priorisiert werden soll**

Diese Festlegung hängt von den aktuellen Gegebenheiten ab. Typischerweise wird es ein grösseres Einzugsgebiet oder eine Menge von kleinen und mittelgrossen Zuflüssen eines Sees oder eines Flussabschnitts sein.

**2. Fragmentierungsanalyse der Einzugsgebiete der Zuflüsse zu den grossen Flüssen und Seen**

Bereitstellung der Daten, GIS-Analyse zur Bestimmung der fischgängigen Regionen und Erstellung einer grafischen Übersicht.

**3. Identifikation von "Schlüsselhindernissen" zur Reduktion der Fragmentierung**

Nutzung der grafischen Übersicht in den Einzugsgebieten zur Identifikation von "Revitalisierungsvarianten" oder kürzer "Varianten" (siehe auch Glossar im Anhang A3), welche aus Kombinationen von Hindernissen bestehen, die fischgängig gemacht werden sollen, um die Erreichbarkeit von Habitaten von der Mündung aus zu verbessern und/oder fischgängige Regionen zu vergrössern.

**4. Quantifizierung des Nutzens und Schätzung der Kosten der Revitalisierungsvarianten in den Einzugsgebieten**

Bewertung der Fragmentierung im aktuellen Zustand und für die gewählten Varianten im Vergleich zum naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse). Grobe Kostenschätzung durch Extrapolation der Kosten von bereits realisierten Projekten.

**5. Einzugsgebietsübergreifende Bewertung der Varianten und des Nutzens relativ zu den Kosten**

Gesamtheitliche Bewertung der Einzugsgebiete aller Zuflüsse zu einem relevanten Abschnitt eines grossen Flusses und Darstellung des erwarteten Nutzens der Varianten oder von Kombinationen von Varianten in den Einzugsgebieten im Vergleich zu den Kosten.

**6. Provisorische Vorauswahl und Einteilung in Nutzenklassen**

Einteilung in der Revitalisierungsvarianten in Nutzenklassen "hoch", "mittel", "gering" aufgrund des Nutzens für die Natur relativ zum Aufwand (Kosten).

**7. Plausibilisierung mit Fachleuten mit Ortskenntnis für die definitive Auswahl**

Konsultation ortsvertrauter Fachpersonen oder allenfalls Feldbegehung von Schlüsselstellen der besten Varianten zur Verifikation der Hindernisse, zur Beurteilung der Fischgängigkeit der Hindernisse, zur Erhebung ergänzender Daten und zur verbesserten Kostenschätzung. Revision und Abschluss der strategischen Planung.

Die Anwendung des Verfahrens erfolgt gemäss diesen Schritten und kann bei Bedarf vorzeitig abgebrochen werden:

- In einfachen Fällen mag die Netzwerkanalyse nach zusammenhängenden Regionen und die Identifikation von "Schlüsselhindernissen" gemäss den Schritten 2 und 3 schon ausreichend sein, um besonders wichtige Hindernisse zu identifizieren.
- Sind die Einzugsgebiete grösser oder komplexer, ist die Ausarbeitung von Varianten und die quantitative Bewertung gemäss Schritt 4 lohnend. Dies erlaubt eine Priorisierung von Varianten jeweils innerhalb des Einzugsgebiets.
- Falls ein Abschnitt eines grossen Flusses oder ein See mehrere grössere Zuflüsse hat, ist die anschliessende einzugsgebietsübergreifende Analyse gemäss Schritt 5 wichtig, da diese eine umfassende Analyse des Nutzens relativ zu den Kosten über die Einzugsgebiete hinweg erlaubt.

Schlussendlich ist in jedem Fall für Klasseneinteilung gemäss Schritt 6 und für die hoch bewerteten Varianten eine Einschätzung von Fachleuten mit Ortskenntnis gemäss Schritt 7 nötig, da die vorliegenden Daten oft nicht vollständig genug für eine definitive Einschätzung sind. Die sieben oben aufgelisteten Schritte werden in den folgenden sieben Unterkapiteln ausführlich beschrieben. Im Anhang A1 wird das Verfahren mittels Beispiele illustriert.

### **3.1 Festlegung der Gebiete, innerhalb welcher priorisiert werden soll**

Die Festlegung der Gebiete, innerhalb welcher priorisiert werden soll, hängt vom Fließgewässernetzwerk im Kanton ab. Besteht dieses aus einem einzelnen Einzugsgebiet, so kann innerhalb diesem priorisiert werden. Wird der Kanton von einem grossen Fluss durchflossen, kann über die Zuflüsse zu diesem Fluss oder auch zu einem See priorisiert werden. Oft wird die Konfiguration aber komplizierter sein und es kann insbesondere bei kantonsübergreifenden Einzugsgebieten wichtig sein, dass kantonsübergreifend im Einzugsgebiet priorisiert wird. Die Revitalisierungsprojekte können dann trotzdem kantonal umgesetzt werden.

### **3.2 Fragmentierungsanalyse**

#### **3.2.1 Datenanforderungen**

Für die grafische Fragmentierungsanalyse, die Quantifizierung und Bewertung der Fragmentierung und die Kostenschätzung braucht es für jedes Einzugsgebiet ein digitales Flussnetzwerk, welches in Fließstrecken und dazwischenliegende Knoten eingeteilt ist. Die Fließstrecken weisen homogene Attribute bezüglich der Ökomorphologie auf und enthalten keine Verzweigungen und Barrieren (gibt es im Originalnetzwerk Verzweigungen oder Barrieren innerhalb von Fließstrecken, werden diese Strecken durch die Einführung entsprechender Knoten in Teilstrecken unterteilt).

Für dieses Flussnetzwerk braucht es die folgenden Daten:

- Für jede Fließstrecke:
  - Koordinaten des räumlichen Verlaufs (daraus abgeleitet auch die Länge der Teilstrecken)
  - Flussordnung
  - Gefälle
  - Ökomorphologische Bewertung oder Attribute, aus welchen diese berechnet werden kann
  - Klassifikation in offene und eingedolte Strecken (eigentlich im vorherigen Punkt schon enthalten, aber wegen der Bedeutung als mögliche Hindernis nochmals separat aufgeführt); bei den Eindolungen für eine bessere Kostenschätzung der Ausdöhlung, ob sie im Siedlungsgebiet oder ausserhalb liegt.
- Für jeden Knoten zwischen den Fließstrecken
  - Präsenz oder Absenz einer Barriere (Absturz, Wehr, Kraftwerk, etc.)
  - bei Barrieren Klassifikation in künstliche oder natürliche Barrieren
  - bei Barrieren die Höhe und bei künstlichen Barrieren zusätzlich die Breite (die Breite kann allenfalls aus der Flussbreite abgeleitet werden, falls diese vorhanden ist aber diejenige der Barriere fehlt)
  - Kennzeichnung des Knotens, der die Mündung des Einzugsgebietes in einen grösseren Fluss oder See repräsentiert.

Falls die Flussordnung vorliegt (etwa aus dem Fließgewässernetz des Bundesamtes für Umwelt), braucht es keine Fließrichtungen und auch Schleifen etwa durch Verzweigungen und

Wiederzusammenflüsse bei Kraftwerken stören nicht, da wir nur auf zusammenhängende Regionen analysieren.

### 3.2.2 Netzwerkanalyse

Als Grundlage für die Quantifizierung der Fragmentierung dient eine Netzwerkanalyse, die alle zusammenhängenden Regionen des Einzugsgebietes bestimmt, sowohl für den aktuellen oder zu untersuchenden Zustand (typischerweise Zustände, bei welchen ausgewählte künstliche Hindernisse als fischgängig gemacht angenommen werden) als auch für den naturnahen Zustand (bei welchem alle künstlichen Hindernisse als fischgängig angenommen werden).

Zur Bestimmung der Fragmentierung brauchen wir eine Definition, was als Wanderhindernis gilt. Aktuell werden die in der Tabelle 1 angeführten Parameter verwendet.

**Tabelle 1**  
Fragmentierungskriterien für Einzugsgebiete.

	Nicht-Salmoniden	Salmoniden
Kritische Barriereföhe bei natürlichen Barrieren (Barrieren bis zu dieser Höhe können überwunden werden)	50 cm	80 cm
Kritische Barriereföhe bei künstlichen Barrieren (Barrieren bis zu dieser Höhe können überwunden werden)	20 cm	50 cm
Kritisches Gefälle (steilere Bäche zählen nicht als Fischhabitat, steilere Strecken länger als die kritische Länge zählen als Hindernisse)	10%	20%
Kritische Länge (Eindolungen und steile Flussabschnitte mit grösserer Länge zählen als Hindernisse)	30 m	30 m

Die Höhe der Barriere und die Länge der Eindolung sind natürlich nicht die einzigen entscheidenden Merkmale für seine Überwindbarkeit. Die Bauform ist sehr entscheidend, etwa ob es unterhalb eines Absturzes eine Betonplatte oder einen Kolk hat. Leider sind diese Angaben aber in der schweizweiten Datenbasis nicht enthalten. Trotzdem ist eine Grobplanung mit diesen unvollständigen Daten sinnvoll (wie die Beispiele in Anhang A1 zeigen, kann man in gewissen Teileinzugsgebieten mit der Elimination weniger Hindernisse viel erreichen, in anderen braucht es viel mehr; etwas Ungenauigkeit bei einer derartigen Analyse wird einen solchen Sachverhalt kaum grundlegend ändern); nach einer ersten Priorisierung wird es aber eine Konsultation von ortvertrauten Fachleuten oder eine Feldbegehung brauchen, um die Datenbasis lokal zu verbessern.

### 3.2.3 Beispiel

Die Abbildung 5 zeigt eine grafische Darstellung der Fragmentierung im aktuellen und im naturnahen Zustand. Dieses Beispiel wird im Anhang A1, Abschnitt A1.3.1 ausführlicher diskutiert. Der Anhang A1 enthält auch noch weitere Beispiele. Die Abbildung 5 zeigt gut auf, dass bereits eine solche grafische Darstellung ohne eine Quantifizierung der Fragmentierung einen sehr guten Überblick darüber gibt:

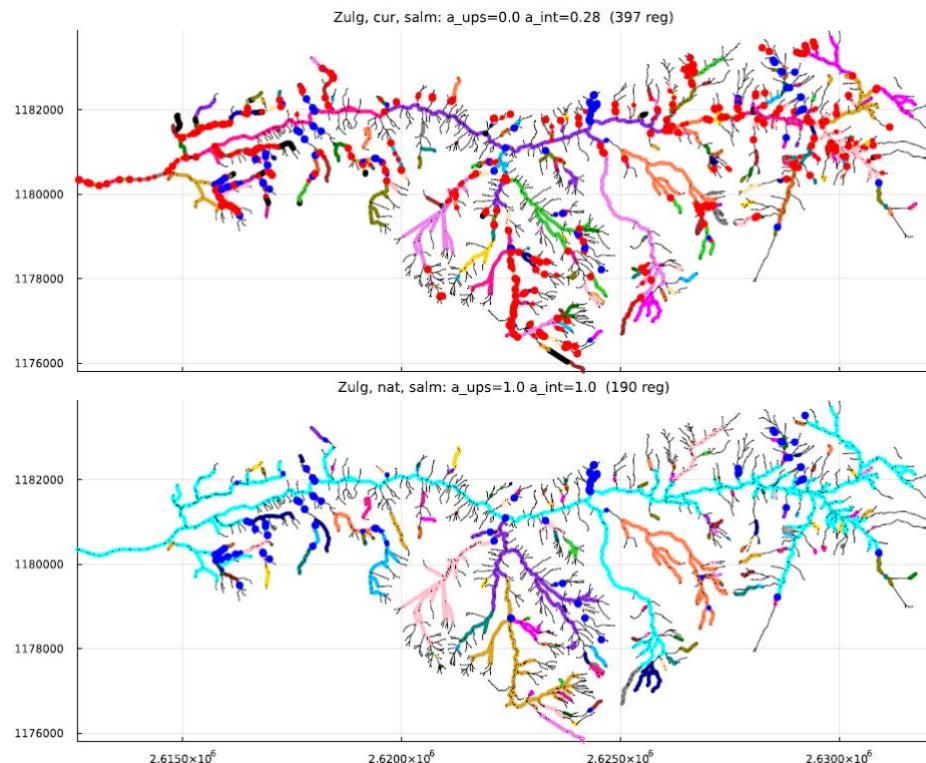
- wie weit Fische aus dem Hauptfluss aufsteigen können (in diesem Fall im aktuellen Zustand wegen der vielen künstlichen Barrieren im untersten Teilstück gar nicht),
- wo es grössere zusammenhängende Regionen gibt und
- inwieweit die Fragmentierung künstlich verursacht wird.

Derartige grafische Darstellungen sind deshalb ausgezeichnete Hilfsmittel, um Hindernisse zu identifizieren, deren Verbesserung der Fischgängigkeit besonders viel zu einer Vergrösserung der zusammenhängenden Regionen und damit zur Reduktion der Fragmentierung beitragen können.

Dies wird im nächsten Abschnitt diskutiert.

**Abbildung 5**

Zusammenhängende Regionen der Zulg (Zufluss zur Aare zwischen Thun und Bern) für Salmoniden im aktuellen Zustand (oben) und im naturnahen Zustand (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, Eindolungen sind schwarz, und zu steile Strecken für Fischhabitate dünn schwarz markiert. Für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung, sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Blaue Symbole markieren natürliche, rote Symbole künstliche Barrieren.



### 3.3 Identifikation von Revitalisierungsvarianten

#### 3.3.1 Vorgehen

Da die Beurteilung von Einzelhindernissen nur in Einzelfällen (bei über grösseren Strecken isolierten Hindernissen) sinnvoll ist, gehen wir von sinnvoll ausgewählten Kombinationen von Hindernissen aus, deren Fischgängigkeit zu verbessern ist. Solche Kombinationen bestehen meist aus einer Gruppe von Hindernissen, deren Verbesserung der Fischgängigkeit einen besonders grossen Nutzen erwarten lässt. Im Folgenden diskutieren wir drei Möglichkeiten für die Generierung solcher «Varianten», die sich auch problemlos kombinieren lassen. Der Nutzen solcher Varianten wird anschliessend in Abschnitt 3.4 quantifiziert. Vorschläge für zu untersuchende Varianten können auf unterschiedliche Weise generiert werden:

- Durch **Inspiration von der grafischen Fragmentierungsanalyse**, die in Abschnitt 3.2 erarbeitet wurde. Dabei analysieren Fachleute die grafische Darstellung der Fragmentierungsanalyse im Hinblick auf Barrieren, deren Beseitigung bzw. Verbesserung der Fischgängigkeit zu besonders grossen zusammenhängenden Regionen führt. Am Beispiel der Abbildung 5 können leicht drei Hauptstrategien unterschieden werden:
  - Auswahl der Hindernisse, die sich am nächsten bei der Mündung befinden. Die Verbesserung der Fischgängigkeit jeweils am untersten Hindernis erhöht direkt den von der Mündung her

erreichbaren Bereich des Einzugsgebietes. Eine vielversprechende Variante selektiert alle Hindernisse, die relativ nahe beieinander sind bis zu einer grösseren zusammenhängenden Region.

- «Zusammenhängen» von grösseren Regionen durch die Auswahl der dazwischenliegenden Hindernisse. Falls die unterste Region dabei ist, fällt diese Option mit der oben erwähnten zusammen.
  - Vergrösserung von Regionen auch durch Anbindung kleinerer naheliegenden Regionen. Eine solche Variante bringt weniger Gewinn, als wenn eine grosse Region angehängt werden kann, falls sie aber wenige und kleine Hindernisse beinhaltet, kann sie trotzdem kosteneffizient sein.
- Durch die **Beurteilung durch ortsvertraute Fischereifachleute**. Oft haben ortsvertraute Fischereifachleute ein gutes Bild der Fragmentierung von Einzugsgebieten und können auch ohne die grafische Fragmentierungsanalyse gute Varianten vorschlagen. Trotzdem mag auch für sie die grafische Darstellung der Fragmentierungsanalyse noch hilfreich sein und es empfiehlt sich eine Kombination der beiden Optionen: Durch die grafische Analyse unterstützte Vorschläge von Fischereifachleuten, bzw. anders formuliert die durch die grafische Fragmentierungsanalyse inspirierten Vorschläge erarbeitet durch die Fischereifachleute.
  - Durch **Anwendung anderer systematischer Selektionsverfahren**, etwa demjenigen von Aqua Viva<sup>8</sup>. Dieses Verfahren besteht, was die strategische Planung betrifft, aus den folgenden 5 Modulen (es gibt weitere Module für die Umsetzung, die nicht Gegenstand dieses Berichtes ist):
    - Modul 0: Zieldefinition & Auswahl der Einzugsgebiete.
    - Modul 1: Datensammlung & Aufbereitung.
    - Modul 2: Filterung (insbesondere Filterung nach Bächen, die breiter als 1 m sind und Flussabschnitte, die weniger steil als 5 % sind; anschliessend Filterung nach Hauptgewässern (Ordnung  $\geq 4$ ), flache Gewässer, die in Hauptgewässer einmünden, Einmündungen; naturnahe Seitenbäche) und Klassierung durch Feldbegehung.
    - Modul 3: Bewertung & Identifikation von Rückbauprojekten (Bewertung von Aufwand und ökologischen Potenzial)
    - Modul 4: Beurteilung der Machbarkeit.

Obwohl hier der Ausgangspunkt die einzelnen Hindernisse sind und nicht das Einzugsgebiet, wird durch die Filterung und Bewertung die Einzugsgebietsperspektive auch miteinbezogen. Für weitere Details wird auf den Originalbericht<sup>8</sup> verwiesen.

Idealerweise werden auf jede Art möglichst vielversprechende Varianten gesucht, die dann im nächsten Schritt bewertet werden können. Der Ausschluss von Barrieren von der Selektion zur Eindämmung der Verbreitung von Krankheiten ist natürlich jederzeit als Einschränkung an die zu untersuchenden Revitalisierungsvarianten möglich. Die Bewertung der Varianten ist Gegenstand des nächsten Abschnitts 3.4 zunächst wird aber im nächsten Unterabschnitt das Finden von Varianten an einem Beispiel illustriert. Für weitere Beispiele siehe Anhang A1.

---

<sup>8</sup> AquaViva (2019). Gezielter Rückbau von Hindernissen in Fließgewässern - Leitfaden v1. Technical report, Aqua Viva, Winterthur, <https://aqua-viva.ch>.

### 3.3.2 Beispiel

In Abschnitt 3.2.3 wurde die aktuelle und die natürliche Fragmentierung der Zulg präsentiert. Der aktuelle Zustand in Abbildung 5 oben zeigt die Unmöglichkeit für Fische, in dieses System einzuwandern.

Dies motiviert die Verbesserung der Fischgängigkeit im untersten Teil des Einzugsgebietes. Da es weiter oben zwei grosse, zusammenhängende Regionen gibt, kann es auch lohnend sein, nicht nur die erste mit der Mündung zu verbinden, sondern mit der Verbesserung einiger weiterer Barrieren auch noch eine weitere Region anzuschliessen. Die aus dieser Variante resultierende Fragmentierung wird in Abbildung 6 dargestellt. Weitere Revitalisierungsvarianten für dieses System und die Fragmentierung für nicht-Salmoniden werden in Abschnitt A1.3.1 in Anhang A1 diskutiert. In diesem Anhang werden auch weitere Beispiele demonstriert.

### 3.4 Quantifizierung der Fragmentierung und Bewertung

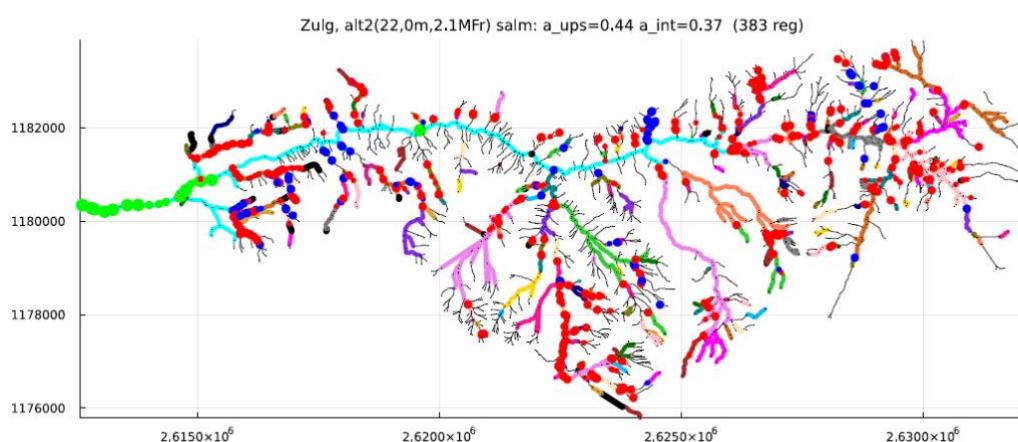
Zur Bewertung von Revitalisierungsvarianten muss deren Nutzen für die Umwelt gegenüber dem Aufwand (Kosten) abgewogen werden. Dazu brauchen wir drei Elemente:

1. **Attribute:** Kenngrößen, mit welchen wir die Fragmentierung des Einzugsgebietes relativ zur Fragmentierung im naturnahen Zustand charakterisieren können.
2. **Bewertung des Nutzens:** Bewertung des Fragmentierungszustandes für die Fischgemeinschaft in Funktion der oben erarbeiteten Attribute.
3. Bewertung des Aufwandes: Kostenschätzung der Realisierung der Varianten. In diesem Stadium der Längsvernetzungsplanung ist nur eine grobe Kostenschätzung möglich. Trotzdem ist das ein wichtiges Element, um effiziente Varianten (viel Gewinn für die Fische pro aufgewendetes Geld) zu identifizieren.

Diese drei Themen werden in den folgenden drei Unterabschnitten erarbeitet.

**Abbildung 6**

Zusammenhängende Regionen für Salmoniden bei einer Verbesserung der Fischgängigkeit der Barrieren im untersten Teil und einzelner Barrieren im Mittellauf (hellgrün markiert). Der Vergleich mit dem aktuellen und dem natürlichen Zustand (Abbildung 5) ist von besonderem Interesse.



### 3.4.1 Quantifizierung des Fragmentierungszustandes

Der Fragmentierungszustand wird mittels sogenannter «Attribute» quantifiziert. Dies sind objektive, messbare Eigenschaften des untersuchten Systems, die sich zur Bewertung des Zustands eignen (siehe auch Glossar im Anhang A3). Im vorliegenden Fall quantifizieren sie die Fragmentierung im untersuchten Zustand (mit allen oder einem Teil der künstlichen und allen natürlichen Hindernissen) im Vergleich zum naturnahen Zustand (nur mit den natürlichen Hindernissen). Bei den hier vorgeschlagenen Methoden sind wir nicht ganz konsequent mit dem Begriff «objektiv», da wir den ökomorphologischen Zustand und die fischökologische Bedeutung der Fließstrecken bereits in die Definition der Attribute einbeziehen. Deshalb enthalten die Attribute bereits Aspekte der Bewertung und nur die räumliche Analyse ist «objektiv».

#### 3.4.1.1 Attributdefinitionen

Im Folgenden verwenden wir die folgende Notation:

$i$	Index der Streckenabschnitte
$l_i$	Länge des Streckenabschnitts $i$
$O_i$	Flussordnungszahl des Streckenabschnitts $i$
$S_i$	Ökomorphologischer Zustand des Streckenabschnitts $i$ quantifiziert auf einer Skala von 0 bis 1 (entweder unter Verwendung einer kontinuierlichen Bewertung oder mit diskreten Klassen: 0=eingedolt, und entweder 0.2=schlecht, 0.4=unbefriedigend, 0.6=mäßig, 0.8=gut, 1=sehr gut oder 0.3=naturfern, 0.6= stark beeinträchtigt, 0.8=wenig beeinträchtigt, 1=naturnah)
$f_i$	Gewichtsfaktor des Streckenabschnitts $i$ zur Berücksichtigung dessen fischökologischer Bedeutung (Auengebiete oder Strecken mit speziell gutem morphologischem Zustand, Gebiete mit seltenen Arten oder von hoher Biodiversität, etc.; Standardwert $f_i = 1$ , Werte zwischen 1 und 10 für Abschnitte mit hoher fischökologischer Bedeutung, ev. Werte zwischen 0.1 und 1 für permanent beeinträchtigte Strecken, etwa durch Schwall-Senk-Betrieb eines Kraftwerks)
$k_{nat}(i)$	Index der zusammenhängenden Flussregion unter naturnahen Bedingungen (ohne künstliche Hindernisse), welcher der Streckenabschnitt $i$ angehört ( $k_{nat}=1$ für die unterste Region, $k_{nat} \in \{1, \dots, n_{nat}\}$ )
$k_{inv}(i)$	Index der zusammenhängenden Flussregion unter zu untersuchenden Bedingungen (mit natürlichen und künstlichen Hindernissen; “inv”: under investigation), welcher der Streckenabschnitt $i$ angehört. Es kann sich dabei um den aktuellen Zustand ( $inv=cur$ ) oder um eine zu bewertende Variante ( $inv=alt1, alt2$ , etc.) mit weniger künstlichen Hindernissen handeln ( $k_{inv}=1$ für die unterste Region, $k_{inv} \in \{1, \dots, n_{inv}\}$ ).
$k_{assoc}(k)$	Index der zusammenhängenden Flussregion unter naturnahen Bedingungen, der die Region $k$ im zu untersuchenden Zustand angehört ( $k \in \{1, \dots, n_{inv}\}, k_{assoc} \in \{1, \dots, n_{nat}\}$ )

Wir definieren je ein Attribut, um einerseits die **Vernetzung vom tiefsten Punkt** und andererseits die **interne Vernetzung** jeweils im Vergleich zum naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse) zu quantifizieren. Im Gegensatz zu anderen Fragmentierungsmassen (Baldan et al., 2022<sup>9</sup>; Jumani et al., 2022<sup>10</sup>), quantifizieren wir nicht die Fragmentierung in absoluten Einheiten, sondern direkt den Anteil der zusammenhängenden Habitate an den im naturnahen Zustand zusammenhängenden Habitaten. Dadurch berücksichtigen wir explizit die Lage der zusammenhängenden Strecken im Vergleich zur naturnahen Situation und nicht nur zwei abstrakte Fragmentierungsmasse für die zwei Zustände.

Um die Habitatgrösse der zusammenhängenden Strecken im Vergleich zum naturnahen Zustand zu quantifizieren, brauchen wir zunächst eine Definition, was mit «Habitatgrösse» gemeint ist. Da die

<sup>9</sup> Baldan, D., Cunillera-Montcusi, D., Funk, A., and Hein, T. (2022). Introducing ‘riverconn’: an R package to assess river connectivity indices. Environmental Modelling and Software, 156:105470.

<sup>10</sup> Jumani, S., Deitch, M. J., Vall, D., Machado, S., Lecours, V., Kaplan, D., Krishnaswamy, J., and Howard, J. (2022). A new index to quantify longitudinal river fragmentation: Conservation and management implications. Ecological Indicators, 136:108680.

Streckenlänge wegen der Nichtberücksichtigung der Flussbreite ein Mass ist, das die grosse Zahl von kleinen Bächen gleich zählt wie die wenigen grossen Flüsse, die pro Längeneinheit viel mehr Habitatraum zur Verfügung stellen, ist die Streckenlänge kein gutes Mass für die Habitatgröße. Die Fläche (Länge mal Breite) ist auch kein sehr gutes Mass, da es wohl umgekehrt die grossen Flüsse überbewerten würde und da die Breite ein schlecht definiertes Mass ist (welche Breite müsste man nehmen, die Sohlenbreite, die Mittelwasserbreite, die Hochwasserbreite, und im aktuellen oder im natürlichen Zustand).

Als Kompromiss verwenden wir deshalb zur Quantifizierung der Habitatgröße die Länge multipliziert mit der Flussordnungszahl, gemessen in «Ordnungskilometern» (okm). Zusätzlich gewichten wir diese Habitatgrößen noch mit der fischökologischen Bedeutung, deren Festlegung in Unterabschnitt 3.4.1.3 diskutiert wird und wir zählen nur den Anteil gemäß dem morphologischen Zustand. Das führt zu den beiden Attributen  $a_{ups}$  und  $a_{int}$ , die im Folgenden definiert werden und deren Bedeutung im Unterabschnitt 3.4.1.2 illustriert wird.

Das Attribut  $a_{ups}$  basiert auf dem **Verhältnis des Habitatbereichs, der im zu untersuchenden Zustand vom tiefsten Punkt aus erreicht wird, mit dem analogen Bereich im naturnahen Zustand**. Mit den obigen Definitionen der Habitatgrößen führt dies zur folgenden Formel:

$$a_{ups} = \frac{\sum_{i:k_{inv}(i)=1} s_i \cdot f_i \cdot o_i \cdot l_i}{\sum_{i:k_{nat}(i)=1} f_i \cdot o_i \cdot l_i} . \quad (3.1)$$

Hier bedeutet die Notation  $i : k_{inv}(i) = 1$  bzw.  $i : k_{nat}(i) = 1$  bei den Summenzeichen, dass nur über die Strecken  $i$  summiert wird, die zur Region 1 (die unterste Region) gehören (im Zähler für die zu untersuchenden Bedingungen, im Nenner für die Regionen ohne die künstlichen Hindernisse). Im Gegensatz zu den Faktoren  $f_i$  (fischökologische Bedeutung) und  $o_i$  (Flussordnung), die der Gewichtung der Längen  $l_i$  dienen und deshalb sowohl in der Summe im Zähler als auch in der Summe im Nenner vorkommen, kommt der Faktor  $s_i$  nur im Zähler vor. Der ökomorphologische Zustand der Fließstrecken ist deshalb keine Gewichtung, sondern die Strecken in schlechtem Zustand werden nur partiell gezählt. Deshalb braucht es für einen hohen Wert des Attributs  $a_{ups}$  eine geringe Fragmentierung durch Barrieren und einen guten morphologischen Zustand der Fließstrecken.

**Für die interne Vernetzung wird das analoge Mass verwendet, aber nicht nur für die unterste zusammenhängende Region, sondern als gewichteter Mittelwert über alle zusammenhängenden Flussabschnitte** im zu untersuchenden Zustand. Dies führt zur folgenden Formel:

$$a_{int} = \sum_{k=1}^{n_{inv}} w_k \frac{\sum_{i:k_{inv}(i)=k} s_i \cdot f_i \cdot o_i \cdot l_i}{\sum_{i:k_{nat}(i)=k_{assoc}(k)} f_i \cdot o_i \cdot l_i} \quad (3.2a)$$

mit

$$w_k = \frac{\sum_{i:k_{inv}(i)=k} f_i \cdot o_i \cdot l_i}{\sum_i f_i \cdot o_i \cdot l_i} . \quad (3.2b)$$

Die Notation bei den Summen im Bruch ist analog zur Notation in Gleichung (3.1) mit dem Unterschied, dass über die Strecken summiert wird, die zur Region  $k$  im zu untersuchenden Zustand (im Zähler) gehört bzw. zur Region im naturnahen Zustand, die die Region  $k$  im zu untersuchenden Zustand enthält (im Nenner). Der Bruch innerhalb der äusseren Summe in Gleichung (3.2a) stellt damit das analoge Mass wie in Formel (3.1) dar, nur dass dieses für alle Regionen im zu untersuchenden Zustand  $k = 1, n_{inv}$  berechnet wird. Die äussere Summe implementiert dann das gewichtete Mittel dieser Größen über alle Regionen im zu untersuchenden Zustand mit den Gewichtungen  $w_k$ . Diese repräsentieren die Größenanteile der Regionen am ganzen Habitat, wieder mit der obigen Definition von "Grösse".

Beide Vernetzungsattribute nehmen Werte im Intervall [0, 1] an. Beide Attribute erreichen den Wert 1, wenn der zu untersuchende Zustand dem naturnahen Zustand entspricht, wenn also keine künstlichen Barrieren und keine Eindolungen vorhanden sind und der ökomorphologische Zustand sehr gut ist.  $a_{ups}$  nimmt den Wert 0 an, falls am Ausfluss des Einzugsgebietes eine Barriere vorhanden ist. Zusätzliche künstliche Barrieren oder schlechte Strecken verkleinern den Wert von  $a_{int}$ .

Da die Fragmentierung für Salmoniden und nicht-Salmoniden berechnet wird, haben wir total die vier Attribute.

$$a_{ups}^{salm}, \quad a_{int}^{salm}, \quad a_{ups}^{nons}, \quad a_{int}^{nons}. \quad (3.3)$$

Die beiden Fragmentierungen für Salmoniden (salm) und nicht-Salmoniden (nons) unterscheiden sich durch die Definition der Hindernisse, die in Tabelle 1 gegeben ist. Die Bedeutung der Attribute wird im nächsten Unterabschnitt illustriert.

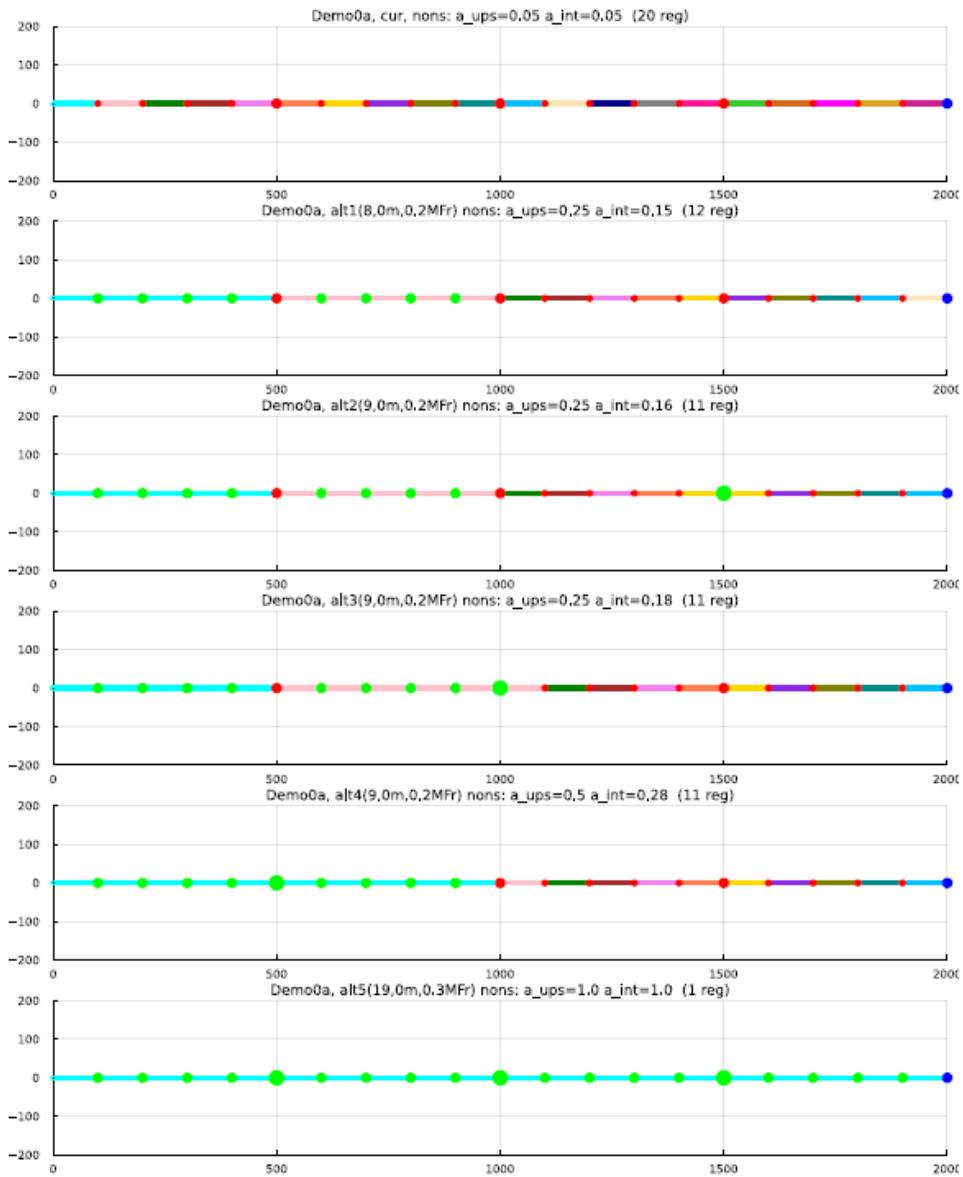
#### 3.4.1.2 Illustration der Attribute

Die beiden Abbildungen 7 und 8 veranschaulichen die Bedeutung der Attribute  $a_{ups}$  und  $a_{int}$ . Zur Vereinfachung ist hier der ökomorphologische Zustand für alle Teilstrecken als  $s^i = 1$  (sehr guter Zustand) gewählt und auch die fischökologische Bedeutung unterscheidet sich nicht auf den verschiedenen Streckenabschnitten.

In der obersten Darstellung von Abbildung 7 haben wir eine 2000 m lange Strecke, die alle 100 m durch ein künstliches Hindernis getrennt ist. Da im natürlichen Zustand die ganze Strecke erreicht werden konnte, ist der Anteil, der unter aktuellen Bedingungen von der Mündung (links im Bild) erreicht werden kann  $a_{ups} = 100/2000 = 0.05$ . Für die interne Vernetzung muss der gewichtete Mittelwert der Anteile aller Regionen berechnet werden. Da jede einzelne Strecke auch wieder einen Anteil von 0.05 der natürlichen Grösse hat, ist auch deren Mittelwert  $a_{int} = 100/2000 = 0.05$  (da alle Werte gleich sind, spielt die Gewichtung keine Rolle).

**Abbildung 7**

Verschiedene Situationen einer Fließstrecke mit künstlichen Hindernissen (rot), natürlichen Hindernissen (blau) und fischgängig gemachten Hindernissen (grün). Der vom tiefsten Punkt erreichbare Flussabschnitt ist türkis markiert, die anderen zusammenhängenden Abschnitte in anderen Farben. Im Titel sind die Werte der Attribute  $a_{ups}$  ( $a_{ups}$ ) und  $a_{int}$  ( $a_{int}$ ) angegeben sowie die Anzahl Regionen. Siehe Text für eine detaillierte Diskussion.

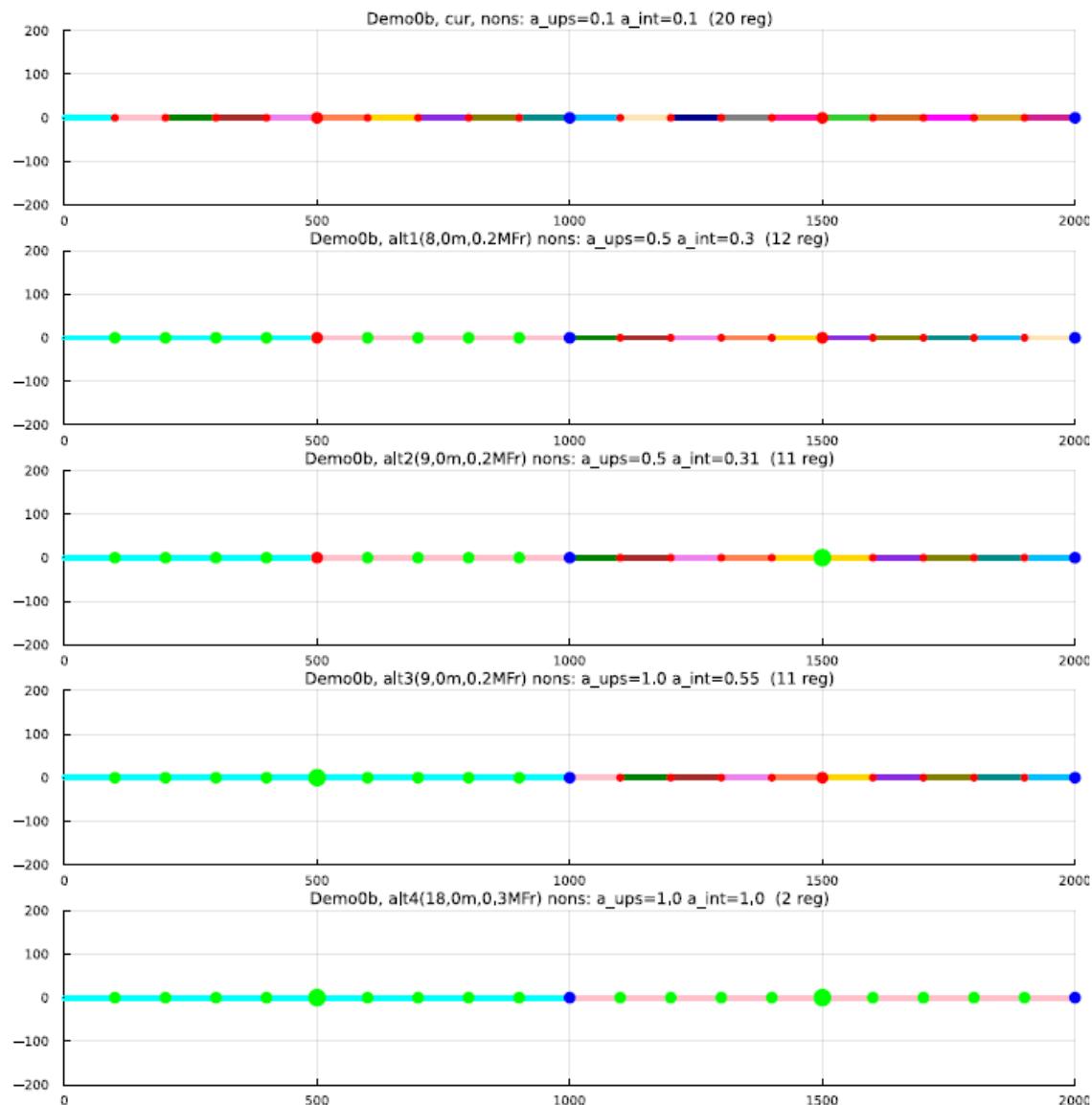


In der zweitobersten Darstellung von Abbildung 3.3 wurden die Hindernisse im linken Teil entfernt, ausser dasjenige bei 500 m. Damit wird von der Mündung her der Anteil  $a_{ups} = 500/2000 = 0.25$  erreicht. Für die interne Fragmentierung haben wir in der linken Hälfte jeweils eine Erreichbarkeit von 1/4 der natürlichen Grösse, in der rechten Hälfte 1/20. Da das natürlich erreichbare Habitat dem ganzen System entspricht, sind die Gewichte (Anteile am Gesamtsystem) gleich gross. Damit ergibt sich  $a_{int} = 2 \cdot 500/2000 \cdot 500/2000 + 10 \cdot 100/2000 \cdot 100/2000 = 0.15$ .

Die dritte, vierte und fünfte Darstellung in Abbildung 7 zeigen den Unterschied auf die Attribute auf, wenn ein einzelnes zusätzliches Hindernis entfernt wird. Wenn dies ein internes der dichten Hindernisfolge in der rechen Hälfte ist, erhöht sich der Wert von  $a_{int}$  nur von 0.15 auf 0.16. Wenn es aber dasjenige ist, das an eine grössere Region anstösst, erhöht sich der Wert auf 0.18. Und schliesslich, wenn es das Hindernis ist, das die zwei grössten Regionen verbindet, erhöht sich  $a_{int}$  auf 0.28. Das zeigt die stärkere Verbesserung von  $a_{int}$  bei der Schaffung grösserer Regionen. Im letzten Fall erhöht sich natürlich auch  $a_{ups}$  von 0.25 auf 0.5.

**Abbildung 8**

Verschiedene leicht von Abbildung 7 abweichende Situationen (das Hindernis bei 1000 m ist hier natürlich anstatt künstlich). Siehe Abbildung 7 für die Signaturen und den Text für eine detaillierte Diskussion.



Schliesslich zeigt die unterste Darstellung in Abbildung 7, dass die Werte von  $a_{ups}$  und  $a_{int}$  gleich 1 werden, wenn alle künstlichen Hindernisse entfernt werden.

Die Abbildung 8 zeigt ähnliche Situationen wie die Abbildung 7 mit dem Unterschied, dass in der Mitte der Strecke ein natürliches Hindernis vorliegt. Da jetzt der unter natürlichen Bedingungen erreichbare Anteil des Systems nur noch halb so gross ist, verdoppeln sich die Werte von  $a_{ups}$  und  $a_{int}$  ausser im untersten Fall (weil die natürlich erreichbaren Habitate halb so gross sind, werden die erreichbaren Anteile an den unter natürlichen Bedingungen erreichbaren Habitaten doppelt so gross während der Gewichte gleichbleiben, da sie die Anteile am Gesamtsystem darstellen).

#### 3.4.1.3 Fischökologische Bedeutung

Der Gewichtsfaktor zur Quantifizierung der fischökologischen Bedeutung erlaubt die Verwendung lokalen Wissens und macht es möglich, auch die Bedürfnisse spezifischer Arten oder spezifischer lokaler Bedingungen zu berücksichtigen. Zur Gewährleistung der

Nachvollziehbarkeit und der Vergleichbarkeit ist es aber notwendig, die beschlossene Gewichtung und die unterliegende Datengrundlage klar zu begründen.

*Datengrundlagen:*

• **Aktuelle Daten**

- Morphologie (Daten, die über die offiziellen Ökomorphologiedaten hinausgehen, etwa über das Vorkommen von Fischunterständen, Kiesbänken, geeigneten Laichplätzen, etc.)
- Fischgemeinschaften (z.B. Artenreichtum, gefährdete Arten)
- Naturschutzgebiete
- Restwasser- oder Schwall-Sunk-Strecken, etc.

• **ExpertInnenmeinungen**

Über hohe Bedeutung für spezifische Arten oder für hohe Biodiversität.

• **Modellresultate**

Wenn Modellresultate für gute Habitatqualität oder sogar für hohes Potenzial für diverse Fischgemeinschaften oder für gefährdete Arten verfügbar werden, können diese ebenfalls verwendet werden.

*Kriterien:*

Mögliche Gründe für eine Erhöhung des Gewichts:

- Artenreiche Strecken oder Strecken, die von solchen aus kolonisiert werden können
- Strecken mit seltenen Arten oder Strecken, die von solchen aus kolonisiert werden können
- Strecken mit Wanderfischen oder Strecken, die von solchen aus kolonisiert werden können
- Auengebiete
- Nasen- oder Aschen Laichgebiete (national erfasst) oder andere, lokal bekannte Laichgebiete
- Potenzielle Lachsgebiete
- Besonders wichtige kühle Refugien für Salmoniden

Verringerung des Gewichts bei langer andauernder Beeinträchtigung:

- Zeitweise trockenfallende Strecken
- Schwall-Sunk-Strecken, die nicht vollständig saniert werden können
- Strecken mit unnatürlichem Abflussregime (z.B. Restwasserstrecken)
- Strecken mit gestörtem Geschieberegime (z.B. durch Geschiebesammler oder Flussumleitung)

Weitere Kriterien, wie etwa potentielle Fischhabitatem, Wasserqualität, invasive Arten, etc. können berücksichtigt werden. Es braucht aber in jedem Fall eine Begründung für die gewählten Kriterien und deren Gewichtung. Defizite, deren Sanierung im Rahmen der Revitalisierung geplant ist, sollen nicht berücksichtigt werden, da eine solche Sanierung eine langfristige strategische Planung gemäß Vollzugshilfemodul voraussetzt.

### **Quantifizierung:**

Die Quantifizierung der Gewichtung basiert auf der Einschätzung durch Fischereifachleute.

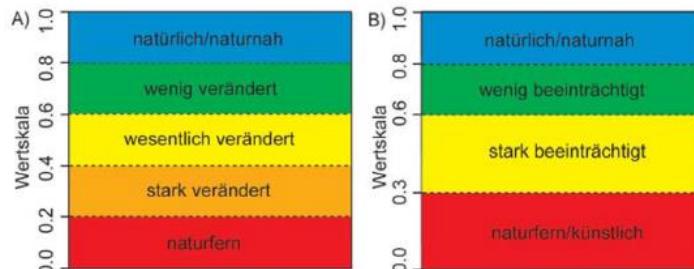
Wir schlagen vor, den Gewichtungsfaktor auf den Bereich 0.5 bis 2 zu limitieren, d.h. bei einer Verringerung des Gewichts, dieses maximal zu halbieren, bei einer Vergrösserung dieses maximal zu verdoppeln. Bei der gleich starken Bewertung aller berücksichtigten Kriterien, ergibt sich somit bei einem Maximum von  $n$  positiven oder negativen Kriterien ein Faktor von  $\sqrt{n}/2$  für jedes positive Kriterium bzw. ein Faktor von  $1/\sqrt{n}/2$  für jedes negative Kriterium. Die Kriterien können sich kumulieren und kompensieren, der Bereich bleibt aber auf das Intervall von 0.5 bis 2 beschränkt. Eine Strecke mit allen positiven Kriterien würde damit doppelt so stark gewichtet wie eine Strecke, für welche kein Kriterium zutrifft, die Gewichtung wäre viermal so gross wie bei einer Strecke mit allen negativen Kriterien. Liegen gleich viele positive wie negative Kriterien vor, wäre die Gewichtung wieder wie für eine Strecke, für welche kein Kriterium zutrifft.

#### **3.4.2 Bewertung des Fragmentierungszustandes**

**Die Bewertungsfunktion soll die Zielerreichung auf einer Skala von 0 bis 1 in Funktion der Attribute beschreiben.** Zur Visualisierung kann die kontinuierliche Bewertung gemäss der Abbildung 9 in Klassen gemäss dem Modulstufenkonzept<sup>11</sup> abgebildet werden. Die Zielhierarchie gemäss der Abbildung 4 erlaubt uns, die Bewertungsfunktion schrittweise aufzubauen. Die Zielerreichung der vier Unterziele auf dem untersten hierarchischen Niveau hängen jeweils nur von einem der vier Attribute,  $a_{ups}^{salm}$ ,  $a_{int}^{salm}$ ,  $a_{ups}^{nons}$ ,  $a_{int}^{nons}$  gemäss den Gleichungen (3.1) und (3.2) für die verschiedenen durch die Tabelle 1 definierten Fragmentierungen ab (siehe Abschnitt 3.4.1.1). Dies ist in der Abbildung 10 durch die gestrichelten Abhängigkeiten illustriert.

**Abbildung 9**

Visualisierung der kontinuierlichen Bewertungsskala durch 5 (links) oder 4 (rechts) Bewertungsklassen gemäss dem Modul-Stufen-Konzept<sup>11</sup>.



<sup>11</sup> Langhans, S. D. and Reichert, P. (2011). Einbettung von Verfahren zur Fließgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept. Wasser Energie Luft, 103(3):204–214.

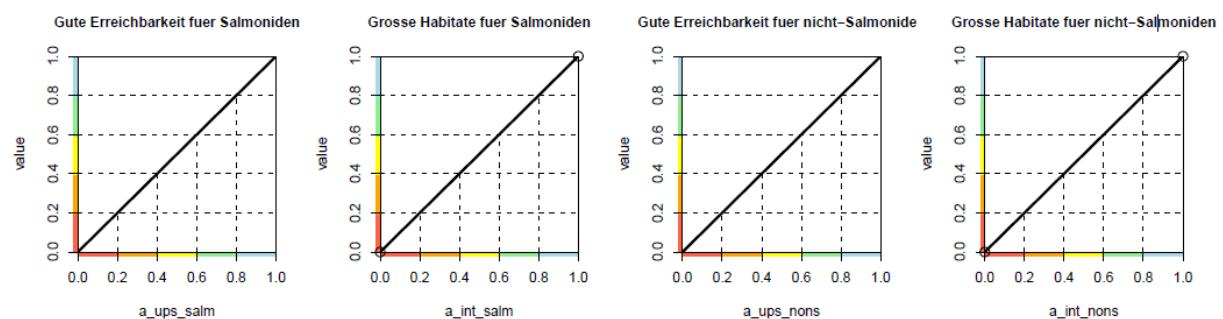
**Abbildung 10**

Zielhierarchie für einen guten Zustand eines Einzugsgebietes bezüglich Fischgängigkeit und zugehörige Attribute



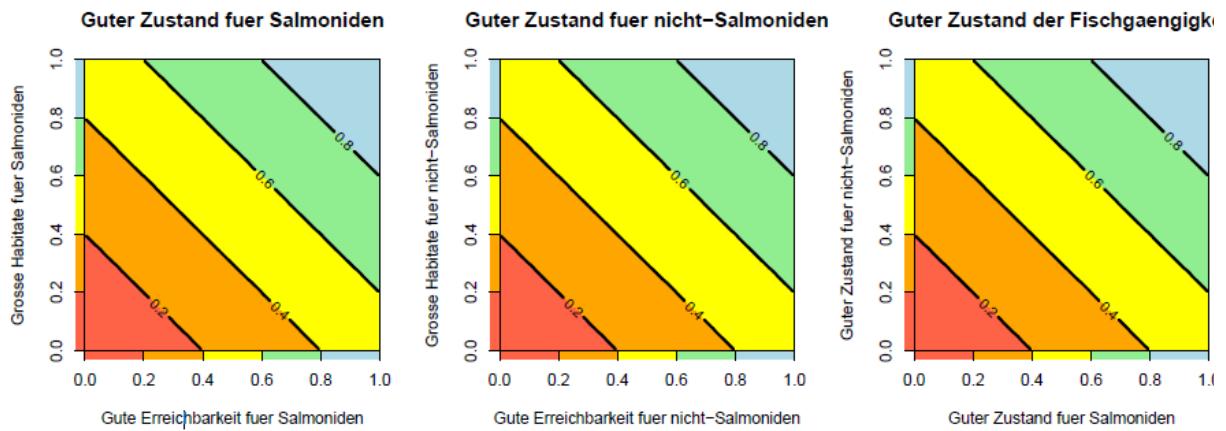
Sowohl die Attribute als auch die Zielerreichung haben einen Wertebereich von 0 bis 1, wobei ein Attributwert von 0 der schlechtesten Zielerreichung mit Wert 0 entspricht und ein Attributwert von 1 der besten Zielerreichung mit Wert 1 entspricht. Die einfachste Wertfunktion, die diese Bedingung erfüllt, ist die lineare Wertfunktion, die in Abbildung 11 dargestellt ist. Es kann argumentiert werden, dass ein sigmoidaler Verlauf die Zielerreichung noch besser charakterisieren würde, da sehr kleine Habitatbereiche keinen grossen Wert darstellen, demgegenüber aber grosse oder sehr grosse Habitatbereiche Fischgemeinschaften ähnlich gut unterstützen. Die Schwierigkeit, die ideale Krümmung zu finden, und der geringe Einfluss auf die Resultate führten aber dazu, es bei diesen linearen Funktionen zu belassen.

**Abbildung 11:** Lineare Wertfunktionen für die hierarchisch tiefsten Unterziele. Die Farbcodes auf der y-Achse zeigen die Bewertungsklassen gemäss der Abbildung 9, die Farbcodes auf der x-Achse zeigen die Wertebereiche des Attributs, die zu den entsprechenden Klassen führen.



**Abbildung 12**

Einfachste Aggregationsfunktionen (Mittelwertbildung aus den Zielerreichungen der zugeordneten Unterziele) für die hierarchisch höheren Ziele. Die beiden Achsen stellen die Bewertungen der Unterziele, die "Höhenlinien" diejenige des Oberziels dar. In beiden Fällen zeigen die Farbcodes die Bewertungsklassen gemäss der Abbildung.



Für die Beschreibung der Zielerreichung der höherliegenden Ziele müssen die Zielerreichungen der zugehörigen Unterziele aggregiert werden. Das einfachste Aggregationsverfahren ist hier die Mittelwertbildung aus den zwei Zielerreichungen der zugehörigen Unterziele. Dieses Verfahren ist in der 12 illustriert. Setzt man die Wertfunktionen der untersten Ziele gemäss der Abbildung 11 und die Aggregationsfunktionen gemäss der Abbildung 12 zusammen, erhält man die Bewertung des Oberziels in Funktion aller Attribute  $a_{ups}^{salm}$ ,  $a_{int}^{salm}$ ,  $a_{ups}^{nons}$ ,  $a_{int}^{nons}$ . Für eine generell gültige Wertfunktion ist es schwierig, hier eine unterschiedliche Gewichtung zu begründen. Die Möglichkeit bleibt bestehen, dass man für spezifische Situationen (mit Begründung) eine andere Gewichtung wählt. Wie die Beispiele im Anhang A1 zeigen, kann diese Gewichtung zum Teil auch durch die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung verändert werden.

### 3.4.3 Kostenschätzung

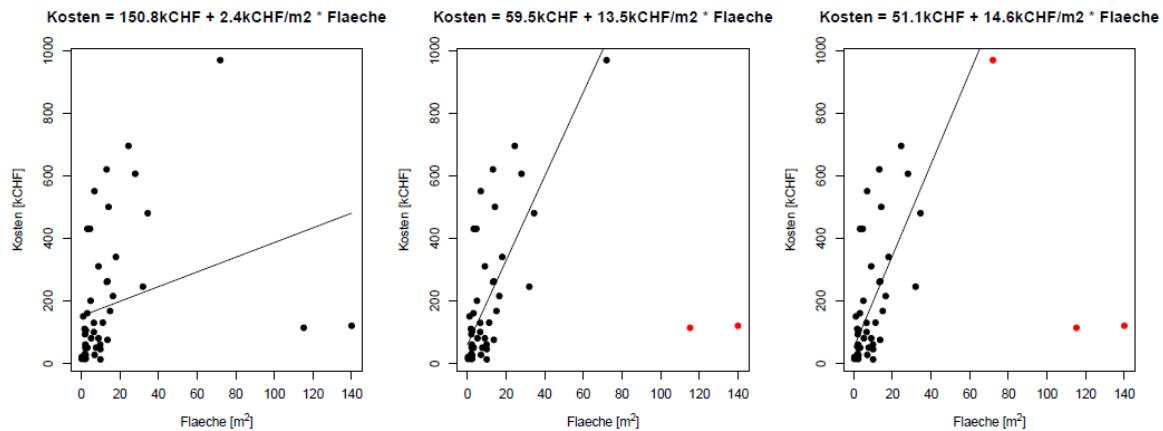
Aufgrund der Kosten von in den letzten Jahren realisierten Projekten (Barrierenentfernungen, Ersatz durch Sohlrampen, Fischtreppen oder Umgehungsgerinne) kann man die zu erwartenden Kosten in Funktion der Querschnittsfläche (Bachbreite x Hindernishöhe) abschätzen. Die linke Regression verwendet alle 41 Datenpunkte; diese wird sehr stark durch die Punkte unten rechts bestimmt. In der mittleren Abbildung (abb. 13) wurden diese (rot markiert) nicht in die Regression einbezogen. In der rechten Abbildung wurde zusätzlich der Punkt oben rechts weggelassen. Im Folgenden wird, ausgehend von der rechten Regression die folgende Kostenschätzung verwendet

$$c_{\text{Barriere}} = 50 \text{ kCHF} + w \cdot h \cdot 15 \text{ kCHF/m}^2 \quad (3.4)$$

wobei  $c_{\text{Barriere}}$  die Sanierungskosten für eine Barriere,  $w$  die Flussbreite und  $h$  die Höhe des Hindernisses ist. Die Kosten für eine Hindernissanierung wären als 50'000 CHF plus 15'000 CHF pro  $\text{m}^2$

**Abbildung 13**

Lineare Regression der Baukosten zur Ersetzung oder Fischgängigmachung einer Barriere als Funktion ihrer Querschnittsfläche. Nutzung aller Datenpunkte (links), Auslassung der zwei grössten Barrierenausgelassene Punkte rot markiert, mittel) und zusätzliche Auslassung des teuersten Projekts (ausgelassene Punkte rot markiert, rechts).



Querschnittsfläche des Hindernisses. Diese Formal kann angepasst werden, wenn mehr oder lokal genauere Daten verfügbar sind. Für die einzelne Barriere können natürlich die effektiven Kosten sehr stark von dieser Kostenschätzung abweichen; über viele Barrieren gemittelt sollten sich solche Abweichungen aber etwas ausgleichen, sodass wir für eine Variante mit einer Mehrzahl von Barrierenentfernungen wohl grob schätzen können, ob diese bei einem gegebenen Budget finanziert sein könnte.

Die Abbildung 14 zeigt Kosten von Ausdolungen und zwei mögliche statistische Auswertungen. Da die lineare Regression mit der Breite zu keinen befriedigen Resultaten führt, verwenden wir im Folgenden nur die Einteilung in Siedlungsgebiet oder nicht-Siedlungsgebiet. Das führt zur folgenden Kostenschätzung, falls keine Information über die Landnutzung vorliegt.

$$c_{\text{AUSDOLUNG}} = \begin{cases} 1.5 \text{ kCHF/m} & \text{ausserhalb des Siedlungsgebietes} \\ 3.0 \text{ kCHF/m} & \text{im Siedlungsgebiet} \end{cases} \quad (3.5a)$$

bzw. zu

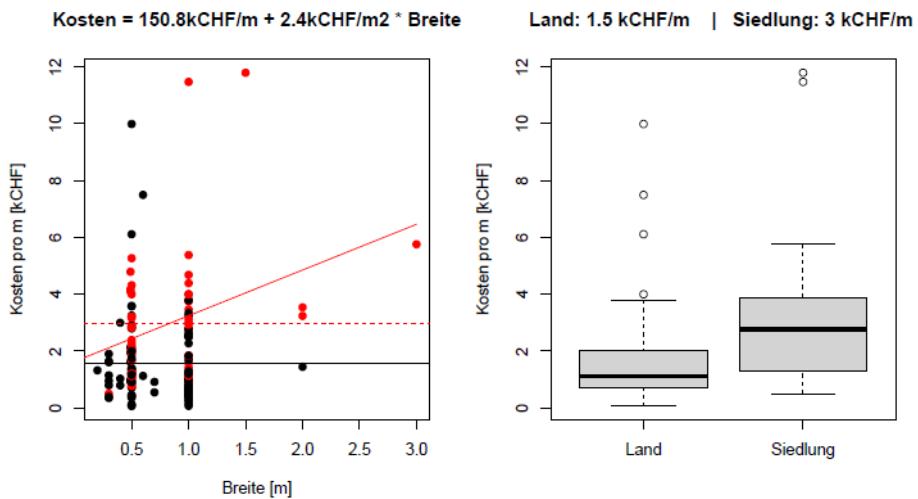
$$c_{\text{AUSDOLUNG}} = 2.25 \text{ kCHF/m} \quad (3.5b)$$

Hier bezeichnet  $c_{\text{AUSDOLUNG}}$  die Sanierungskosten pro Laufmeter eingedoltes Gewässer. Man beachte, dass die Daten nur Gewässer umfassen, die schmäler als 3 m sind. Bei breiten Gewässern wird es sich bei Eindolungen oft um Durchführungen unter einer breiten Strasse oder einer Autobahn handeln.

In diesen Fällen ist eine Ausdolung nicht möglich und die Verbesserung der Fischgängigkeit wird eher durch die Renaturierung der Flusssohle erreicht. Aus Mangel an Daten verwenden wir dazu dieselbe Kostenschätzung. Im Einzelfall können die Kosten natürlich sehr stark von dieser groben Schätzung abweichen.

**Abbildung 14**

Linke Grafik: Lineare Regression der Baukosten pro Meter Gerinnelänge für die Ausdolung im Siedlungsgebiet (rot) und Mittelwert im ländlichen Gebiet (Steigung war wegen eines Punktes negativ). Rechte Grafik: Baukosten pro Meter Gerinnelänge ohne Berücksichtigung der Gerinnebreite. (Berechnung aus Daten vom BAFU).

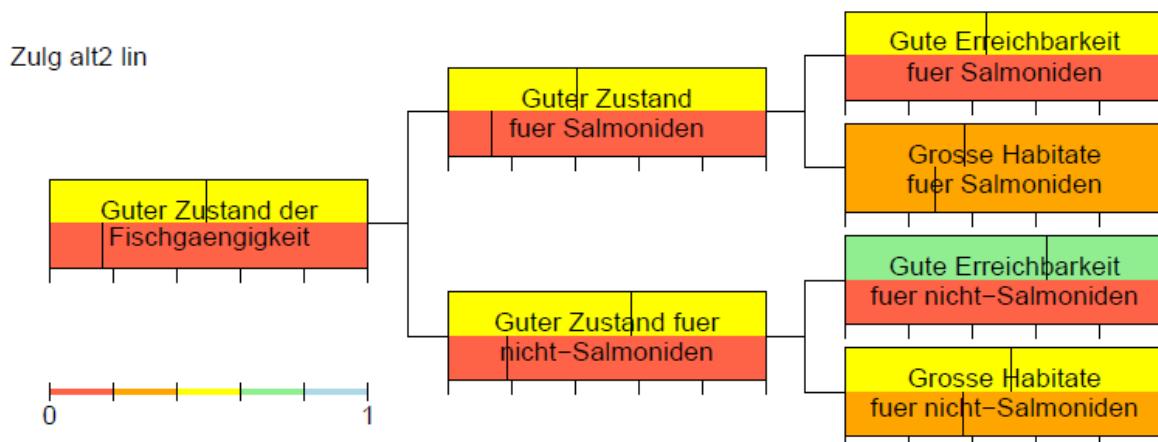


### 3.4.4 Beispiel

In der Abbildung 6 diskutierten wir eine Längsvernetzungsvariante für die Zulg. Die Abbildung 15 zeigt die Zielhierarchie für die Verbesserung der Fischgängigkeit mit der Bewertung (vertikale Linien und Farben der Teilboxen) der Zielerreichung für die Ziele auf allen hierarchischen Ebenen. Man erkennt, dass diese Variante zu einer substanzialen Verbesserung des Zustandes gegenüber dem aktuellen Zustand führt.

**Abbildung 15**

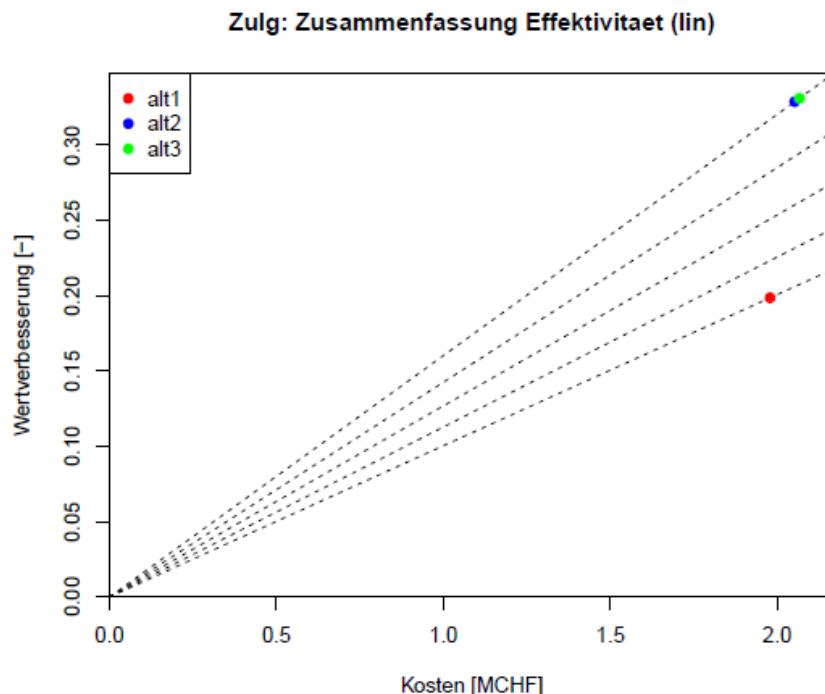
Vergleich der Bewertung der Variante 2 für die Zulg (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte). Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäß der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (Korrespondenz Wert-Klasse unten links).



Im Anhang A1 (Abschnitt A1.3.1) werden weitere Varianten diskutiert. Die Abbildung 16 zeigt die Wertverbesserung der Varianten 1 bis 3 gegenüber deren geschätzten Kosten. Es zeigt sich, dass die Variante 1 das wesentlich schlechtere Verhältnis von Wertverbesserung zu den Kosten hat als die Varianten 2 und 3. In diesem speziellen Fall sind die Varianten inkrementell, sodass die Variante 2 die

**Abbildung 16**

Darstellung der Wertverbesserung der Varianten 1 bis 3 an der Zulg gegenüber deren geschätzten Kosten (siehe Abschnitt A1.3.1 für die Definition der Varianten).



Hindernisse der Variante 1 und die Variante 3 die Hindernisse der Variante 2 (und der Variante 1) enthält. Das ist typischerweise der Fall, wenn man die Hindernisse von der Mündung herauswählt, da es dann oft mehr bringt, nach oben zu erweitern anstatt untere Hindernisse zu belassen und nur im oberen Einzugsgebietsteil die Längsvernetzung zu verbessern. Das muss aber nicht in jedem Fall so sein. Wenn es beispielsweise im unteren Teil ein natürliches Hindernis hat, kann es auch sinnvoll sein, sich stärker unterscheidende Varianten der Verbesserung der internen Längsvernetzung im Einzugsgebiet zu untersuchen.

### 3.5 Einzugsgebietsübergreifende Analyse

Bei der einzugsgebietsübergreifenden Analyse geht es darum, mehrere Teileinzugsgebiete eines betrachteten Flussabschnitts oder eines Sees gesamtheitlich auszuwerten. Das ist ein sehr wichtiges Anliegen, da die Bewertung der einzelnen Einzugsgebiete, wie sie bisher vorgestellt wurde nur den Zustand des Einzugsgebietes unabhängig von seiner Grösse repräsentiert. Für die Beurteilung der Erweiterung der Habitatgrösse über die Einzugsgebiete verschiedener Zuflüsse hinweg ist aber deren relative Grösse sehr wichtig in Zufluss mit einem kleinen Einzugsgebiet kann sehr viel weniger zusätzliche Habitatgrösse beitragen, auch wenn er in einem sehr guten Zustand ist, als ein Zufluss mit einem grossen Einzugsgebiet, der auch stark fragmentierte Teile enthält. Das Konzept für die Quantifizierung der Fragmentierung über die Teileinzugsgebiete hinweg ist deshalb, die Größen der erreichbaren Habitate zusammenzuzählen, bzw.\ für die interne Vernetzung das gewichtete Mittel der zusammenhängenden Anteile an den natürlich zusammenhängenden Regionen über alle Teileinzugsgebiete hinweg zu erweitern. Diese erweiterten Attribute werden dann in derselben

Zielhierarchie und mit denselben Bewertungsfunktionen ausgewertet wie im Fall des einzelnen Einzugsgebiets (siehe Abschnitt 3.4.2)

### 3.5.1 Aggregation der Attribute

Für die einzugsgebietsübergreifende Analyse erweitern wir die Summen in Gleichung 3.1 über alle Teileinzugsgebiete:

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_j \left( \sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=1} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)}{\sum_j \left( \sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)} . \quad (3.6)$$

Die oberen Indizes ( $j$ ) bedeuten dabei, dass sich die Variablen mit dem Index auf das Teileinzugsgebiet  $j$  bezieht. In Gleichung 3.6 geht die Summation über  $j$  über alle berücksichtigten Teileinzugsgebiete und die inneren Summen über  $i$  über die Strecken innerhalb des jeweiligen Teileinzugsgebietes  $j$ . Damit summieren wir die unter aktuellen Verhältnissen erreichbaren Teile der verschiedenen Teileinzugsgebiete und dividieren entsprechend auch durch die Summe der unter natürlichen Verhältnissen erreichbaren Teile aller Teileinzugsgebiete.

Für die Quantifizierung der internen Fragmentierung erweitern wir analog die gewichtete Summe der zusammenhängenden Anteile im aktuellen Zustand an denjenigen im natürlichen Zustand über die Teileinzugsgebiete hinweg. Die zusammenhängenden Anteile bleiben also gleich, nur die gewichtete Summe wird über die Teileinzugsgebiete hinaus erweitert. Dadurchsummieren wir über alle diese Anteile aus allen Teileinzugsgebieten, aber mit modifizierten Gewichtsfaktoren, die jetzt auf die Summe der Habitatgrößen aller Teileinzugsgebiete normiert werden. Das führt zur folgenden Erweiterung der Gleichung (3.2):

$$a_{\text{int}} = \sum_j \left( \sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}^{(j)}} w_k^{(j)} \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=k_{\text{assoc}}(k)} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}} \right) \quad (3.7a)$$

mit

$$w_k^{(j)} = \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left( \sum_i f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} . \quad (3.7b)$$

Wegen der etwas schwerfälligen (aber nötigen) Notation für die Teileinzugsgebiete mit den oberen Indizes ( $j$ ) sehen diese Formeln etwas kompliziert aus. Im Nenner der Formel 3.7 wird jetzt mit Hilfe des Indexes  $j'$  für die Normierung über alle Teileinzugsgebiete summiert während der Index  $j$  das aktuelle Teileinzugsgebiet bezeichnet. In Anhang A2 wird beschrieben, wie man diese Formeln sehr einfach aus Hilfsgrößen für die einzelnen Teileinzugsgebiete berechnen kann. Damit ist die Erweiterung der Implementierung über die Teileinzugsgebiete hinweg sehr einfach aus den Fragmentierungsanalysen

der einzelnen Teileinzugsgebiete zu realisieren und bedingt nicht eine simultane Fragmentierungsanalyse für alle Teileinzugsgebiete.

Die Bedeutung der Attribute ist mit diesen Definitionen völlig analog zur Bedeutung der Attribute 3.1 und 3.2 für das einzelne Einzugsgebiet. Deshalb verwenden wir auch dieselben Bezeichnungen,  $a_{ups}$  und  $a_{int}$  und gehen davon aus, dass aus dem Kontext klar ist, welches oder welche Einzugsgebiete gemeint sind. Aus demselben Grund bleiben auch die Zielhierarchie und die Wertfunktion gleich.

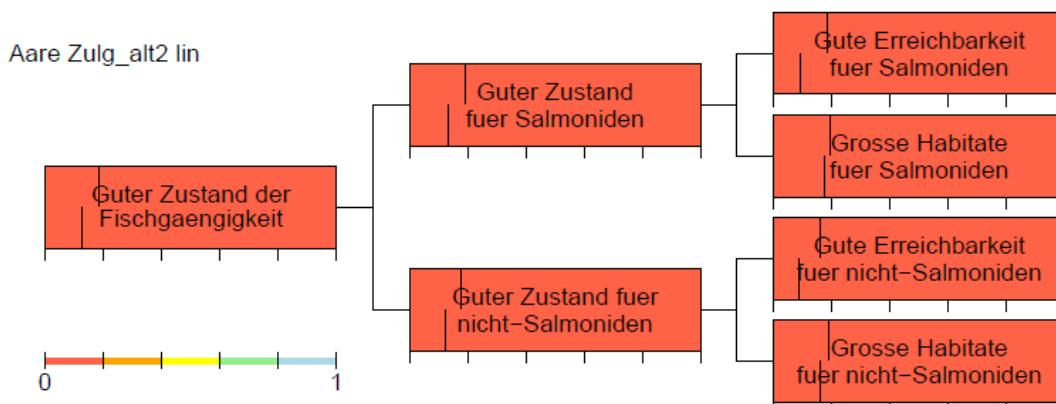
### 3.5.2 Beispiel

Wenn wir die Variante für die Zulg aus dem Beispiel in Abschnitt 3.4.2 (siehe Abbildung 15) im Kontext aller Zuflüsse zum Aareabschnitt zwischen Thun und Bern evaluieren, ergibt sich, wie in Abbildung 17 gezeigt, eine wesentlich geringere Verbesserung des Zustandes als nur für das Zulg-Einzugsgebiet allein (Abbildung 15). Der Grund ist, dass es sich zwar in absoluten Habitatgrößen um dieselbe Verbesserung handelt, dass sich aber in Bezug auf die natürlichen Habitate in allen sechs Einzugsgebieten eine kleinere relative Verbesserung ergibt.

Die Verbesserung wird natürlich grösser, wenn Massnahmen in allen Teileinzugsgebieten realisiert werden. Die Abbildung 18 zeigt die Bewertung bei einer gleichzeitigen Realisierung der besten in Anhang A1 untersuchten Varianten an allen Zuflüssen für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern. Trotzdem bleiben wir auch hier, wie in den meisten einzelnen Teileinzugsgebieten, immer noch in einem relativ schlechten Zustand. Neben der verbleibenden Fragmentierung ist hierfür auch der zum Teil noch schlechte morphologische Zustand der Teilstrecken verantwortlich.

**Abbildung 17**

Bewertung der gleichzeitigen Realisierung der besten untersuchten Varianten an allen Zuflüssen für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälften der Boxen) im Vergleich zum aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen).

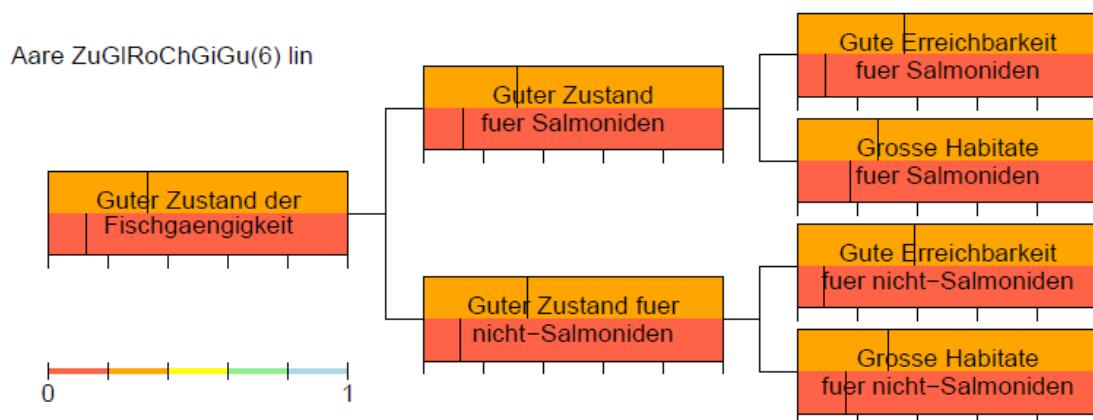


In Abbildung 19 wird deshalb noch die Bewertung unter der Annahme gezeigt, dass alle Teilstrecken in einem sehr guten morphologischen Zustand wären. Diese Abbildung zeigt einen wesentlich höheren Wertzuwachs und zeigt die Bedeutung der Koordination der Verbesserung der Längsvernetzung mit der Revitalisierung der Fließstrecken auf.

Schliesslich zeigt die Abbildung 20 noch die Wertverbesserungen aller Varianten in allen sechs Einzugsgebieten im Rahmen des gesamten Systems der Aare zwischen Thun und Bern aufgetragen gegen deren Kosten. Dieses Diagramm ist der Schlüssel für die Vorauswahl von Varianten, die im nächsten Abschnitt diskutiert wird.

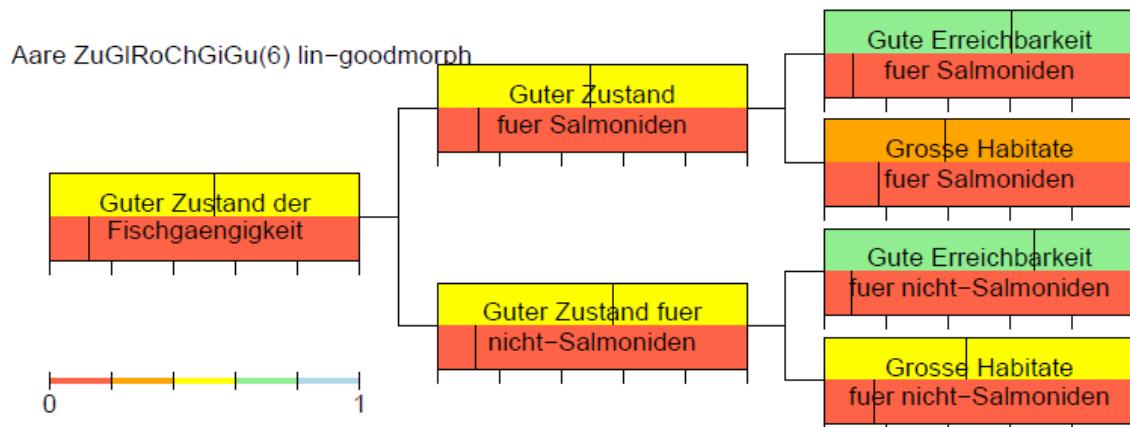
**Abbildung 18**

Vergleich der Bewertung der Variante 2 an der Zug für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) im Vergleich zum aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen).



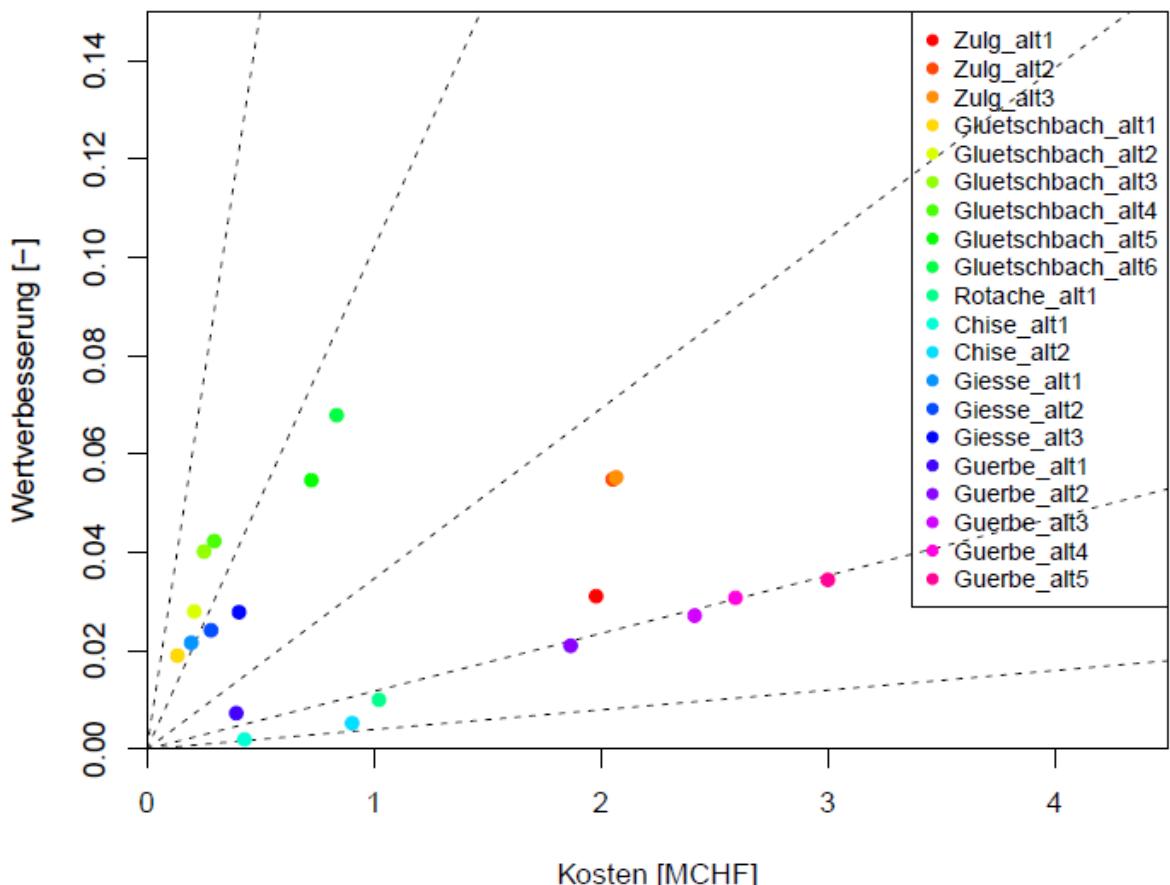
**Abbildung 19**

Bewertung der gleichzeitigen Realisierung der besten untersuchten Varianten an allen Zuflüssen für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern unter der Annahme eines sehr guten morphologischen Zustands der Teilstrecken (obere Hälfte der Boxen) im Vergleich zum aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen).



**Abbildung 20**

Wertverbesserungen über alle Einzugsgebiete hinweg führte alle diskutierten Varianten in allen sechs Zuflüssen gegen deren Kosten.



### 3.6 Vorauswahl von Revitalisierungsvarianten durch Vergleich von Nutzen und Kosten

Die Schlüsseldarstellung für die Vorauswahl von Varianten ist die Darstellung des Wertzuwachses gegenüber der aktuellen Situation gegen die Kosten, wie in Abbildung 20 gezeigt. Diese Darstellung erlaubt es auch, die Varianten in die Nutzenklassen «gross» und «mittel» einzuteilen, indem man die in der linken oberen Ecke selektierten der Klasse «gross» und die anderen (in der Regel) der Klasse «mittel» zuweist. Falls es Varianten mit einem extrem schlechten Verhältnis von Wertzuwachs gegenüber den Kosten hat, weist man diese der Nutzenklasse «gering» zu, der auf jeden Fall auch die Barrieren angehören, die man nicht in zu testende Varianten aufgenommen hat. Dieser letzten Einteilung liegt die Annahme zugrunde, dass man aufgrund der grafischen Fragmentierungsanalyse alle vielversprechenden Varianten zur Untersuchung ausgewählt hat.

Im Beispiel in Abbildung 20 würde man die Varianten am Glütschbach und an der Giese und allenfalls die Varianten 2 und 3 an der Zulg wohl in die Nutzenklasse «gross», die anderen Varianten in die Nutzenklasse «mittel» und die Barrieren, die nicht in Varianten aufgenommen wurden, in die Nutzenklasse «gering» einteilen. Diese Nutzenklassen kann man auch den einzelnen Hindernissen zuordnen; man muss sich aber bewusst sein, dass die ausgewiesene Wertverbesserung nur erreicht wird, wenn die Fischgängigkeit aller Hindernisse der betrachteten Variante(n) verbessert wird.

### **3.7 Plausibilisierung mit Ortskenntnis**

#### **3.7.1 Beurteilung durch ortskundige Fachleute oder durch eine Feldbegehung kritischer Stellen guter Varianten**

Die grafische Fragmentierungsanalyse (Abbildungen 5 und 6) und die darauf aufbauende Nutzen zu Kosten Berechnung sind extrem nützliche Hilfsmittel für die strategische Revitalisierungsplanung. Es ist aber zu beachten, dass diese Analysen nicht besser sein können als die zugrundeliegenden Daten. Aufgrund der möglicherweise unvollständigen Erfassung von Wanderhindernissen, insbesondere aber auch aufgrund der nicht perfekt einschätzbarer Fischgängigkeit aus den vorhandenen Daten (es ist in der Regel nur die Höhe des Hindernisses, aber nicht dessen bauliche Gestaltung erfasst, was die Fischgängigkeit nicht sehr gut einschätzen lässt) sind diese Analysen nicht perfekt. Es ist kaum anzunehmen, dass sich aufgrund dieser Probleme die Priorisierung stark ändern würde, aber die Fischgängigkeit einzelner Barrieren kann falsch eingeschätzt sein. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig, die vielversprechendsten Varianten mit Fachleuten mit Ortskenntnis zu diskutieren und allenfalls besonders kritische Hindernisse vor Ort anzuschauen. Die Datengrundlage kann dann korrigiert werden. Der Aufwand für diese Plausibilisierung sollte sich in Grenzen halten, da grosse Bereiche des Einzugsgebiets, welche aufgrund der Fragmentierungsanalyse als nicht vielversprechend angesehen wurden keine Plausibilisierung benötigen.

#### **3.7.2 Fertigstellung der strategischen Barrierenplanung**

Anschliessend an die durch die Plausibilisierung angebrachten Korrekturen und die allenfalls verbesserten Kostenschätzungen, kann die definitive Einteilung in die Nutzenklassen «gross», «mittel» und «gering» erfolgen, wie in Abschnitt 3.6 beschrieben.

## 4. Schlussfolgerung

Das zentrale Element der vorgeschlagenen Methode ist die Fragmentierungsanalyse des Einzugsgebietes. Diese bietet einerseits einen guten Überblick über die zusammenhängenden Regionen, was das Design von effizienten Revitalisierungsvarianten sehr stark erleichtert. Andererseits ist die Fragmentierungsanalyse eine gute Basis für weitergehende Analysen, welche den Vergleich des Grades der Verbesserung der Varianten gegen deren Kosten ermöglicht. Dies erlaubt eine effiziente Revitalisierungs-/Sanierungsplanung für die Wanderhindernisse und es unterstützt die Auswahl der Fließstrecken für deren Renaturierung.

Die folgenden drei Voraussetzungen müssen erfüllt sein, um das vorgeschlagene Verfahren effizient anwenden zu können:

1. Das Flussnetzwerk muss in einem GIS-System mit den folgenden Attributen vorhanden sein:
  - Für jede Fließstrecke:
    - Koordinaten des räumlichen Verlaufs (daraus abgeleitet auch die Länge der Teilstrecken)
    - Flussordnung
    - Gefälle
    - Ökomorphologische Bewertung oder Attribute, aus welchen diese berechnet werden kann
    - Klassifikation in offene und eingedolte Strecken (eigentlich im vorherigen Punkt schon enthalten, aber wegen der Bedeutung als mögliche Hindernis nochmals separat aufgeführt); bei den Eindolungen für eine bessere Kostenschätzung der Ausdöhlung, ob sie im Siedlungsgebiet oder ausserhalb liegt.
  - Für jeden Knoten zwischen den Fließstrecken
    - Präsenz oder Absenz einer Barriere (Absturz, Wehr, Kraftwerk, etc.)
    - bei Barrieren Klassifikation in künstliche oder natürliche Barrieren
    - bei Barrieren die Höhe und bei künstlichen Barrieren zusätzlich die Breite (die Breite kann allenfalls aus der Flussbreite abgeleitet werden, falls diese vorhanden ist aber diejenige der Barriere fehlt)
    - Kennzeichnung des Knotens, der die Mündung des Einzugsgebietes in einen grösseren Fluss oder See repräsentiert.
2. Fischereifachleute mit Ortskenntnis sind nötig, um die fischökologische Bedeutung der Fließstrecken gemäss Abschnitt 3.4.1.3 zu beurteilen und um die provisorischen Resultate gemäss dem Abschnitt 3.6 wie in Abschnitt 3.7 beschrieben zu plausibilisieren.
3. GIS-Werkzeuge, welche die Fragmentierung und die Attribute berechnen, es den Nutzenden erlauben, Revitalisierungsvarianten zu definieren und für diese numerische und grafische Ausgaben produzieren, die es erlauben, Analysen, wie in Kapitel 3 und im Anhang A1 beschrieben, effizient durchzuführen.

Die Datengrundlage gemäss dem ersten Punkt sollte in den Kantonen vorhanden sein. Ebenso haben die kantonalen Verwaltungen oder allenfalls mit ihnen zusammenarbeitende private Büros Fischereifachleute mit Ortskenntnis gemäss dem zweiten Punkt. Für den dritten Punkt ist das BAFU am Abklären, welche Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden können.

# Anhang 1: Fallstudien

Wir erarbeiten drei Fallstudien, um das in diesem Bericht erarbeitete Verfahren zu prüfen, den Aufwand für seine Durchführung zu testen und seine Anwendung zu demonstrieren.

Zunächst wird die Bewertung und die Erarbeitung von Varianten für einzelne Einzugsgebiete gemäss den Kapiteln 3.2 bis 3.4 anhand der **Kander** (Abschnitt A1.1) und der **Birs** (Abschnitt A1.2) aufgezeigt. Anschliessend wird die einzugsgebietsübergreifende Analyse gemäss dem Kapitel 3.5 anhand des Abschnitts der **Aare zwischen Thun und Bern** durchgeführt (Abschnitt A1.3). Auch in diesem Fall müssen erst die Teileinzugsbeziehe analysiert und Varianten erarbeitet werden (Abschnitte A1.3.1 bis A1.3.6) bevor die einzugsgebietsübergreifende Analyse durchgeführt werden kann (Abschnitt A1.3.7). Die Vorauswahl und Plausibilisierung der Varianten wird für einzelne Einzugsgebiete und für die einzugsgebietsübergreifende Analyse auf dieselbe Art gemäss den Kapiteln 3.6 und 3.7 durchgeführt.

Die Daten für die Fallstudien beruhen auf dem Gewässernetz gwn25 (BAFU, 2007), das Bestandteil der Vektor25 Daten des Bundesamts für Landestopografie (swisstopo) ist (swisstopo, 2007). Wir verwenden dieses Gewässernetz, da die Daten des Bundesamtes für Umwelt, insbesondere die Ökomorphologiedaten, bundesweit nur für dieses Gewässernetz zur Verfügung stehen. Als Planungsgrundlage für die Kantone könnte alternativ das neuere, genauere Landschaftsmodell swissTLM3D und das darauf aufbauende Gewässernetz verwendet werden (swisstopo, 2023). Für die in dieser Studie durchgeführte Methodenentwicklung dienen die gezeigten Beispiele nur der Illustration der Methode, daher sind die Genauigkeitsunterschiede zum swissTLM3D Gewässernetz nicht relevant. Für die Bewertung der fischökologischen Bedeutung verwenden wir zusätzlich das Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung (BAFU, 2017).

**Die in diesem Anhang gezeigten Beispiele dienen der Illustration der Methode. Da sie auf bundesweit zur Verfügung stehenden Daten basieren und Nachführungen der Kantone nicht berücksichtigen, sind sie nicht direkt als Planungsgrundlage für die Kantone verwendbar.** Die kantonalen Planungen können aber dieselben Konzepte mithilfe der neueren, kantonalen Daten anwenden.

Die Inputdaten und Programmskripts für alle Resultate in diesem Anhang sind im Repository <https://gitlab.com/p.reichert/rivermanagement> verfügbar. Die hier verwendete Version entspricht dem commit 1aedb967. Im Rahmen der definitiven Publikation dieses Berichts werden alle Daten, Skripts und Resultate auch im öffentlichen Repository der Eawag <https://opendata.eawag.ch> publiziert.

## A1.1 Kander/Simme

Die Kander (mit der kurz vor der Mündung einmündenden Simme) ist einer der grössten Nebenflüsse der Aare und fliesst seit der Kanderkorrektion von 1714 direkt in den Thunersee, anstatt die Aare über den heutigen Glütschbach (siehe auch Abschnitt A1.3.2) erst unterhalb von Thun zu erreichen. Die Kander ist ein Einzugsgebiet in der Forellenregion. Nur im Mündungsbereich gibt es noch einen gemischten Fischbestand.

### A1.1.1 Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet der Kander besteht aus dem Kandertal (östlicher Teil) und dem Simmental (westlicher Teil) und hat eine Fläche von ca.  $1100 \text{ km}^2$ . Wie in der Abbildung A1.1 ersichtlich, erreicht die Flussordnung beim Zufluss der Simme in die Kander die Ordnung 7.

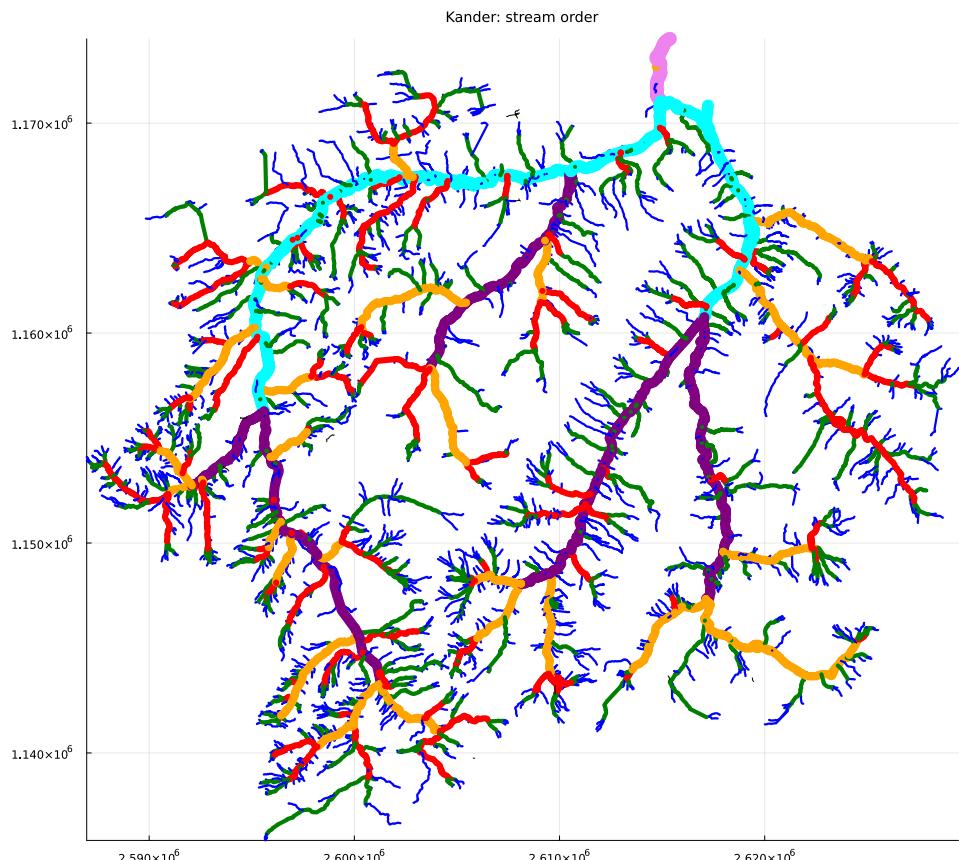


Abbildung A1.1: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

### A1.1.2 Ökomorphologie

Ökomorphologiedaten liegen im System Kander/Simme nur für die Hauptgewässer vor. Ein grosser Teil dieser Gewässer ist morphologisch beeinträchtigt, insbesondere fast die ganze Simme (über weite Strecken gelb markiert für eine beeinträchtigte Ökomorphologie). Die meisten

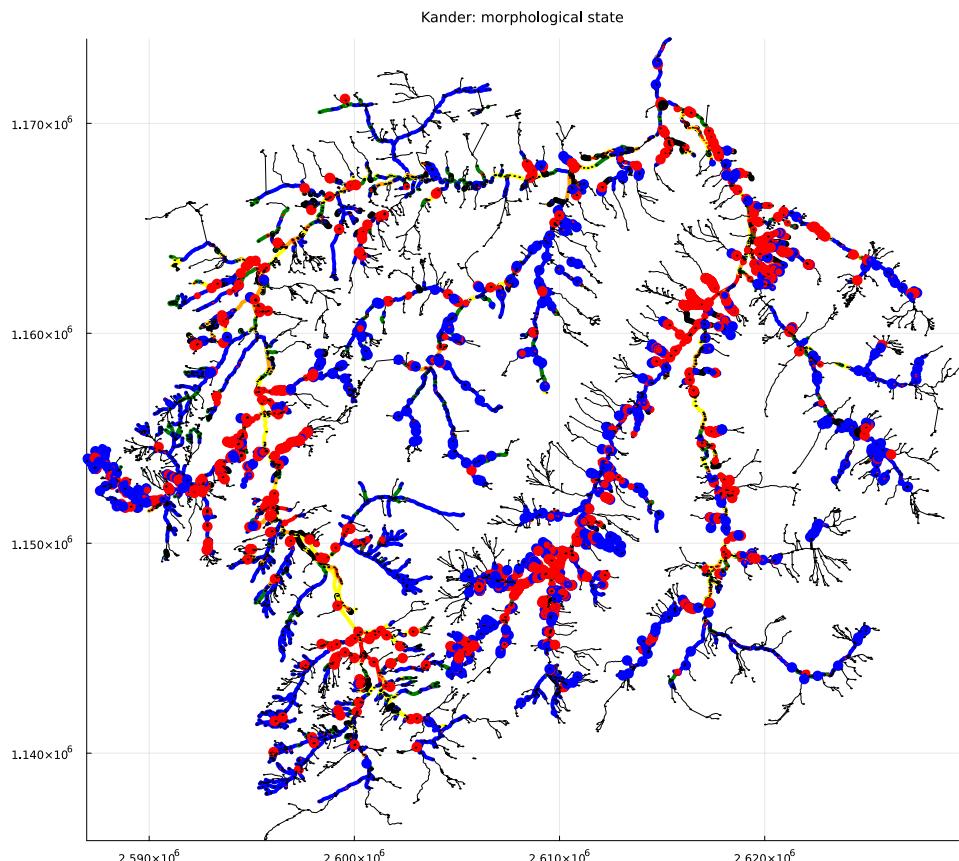


Abbildung A1.2: Ökomorphologischer Zustand der Fliessstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

Zuflüsse mit fehlenden Daten sind zu steil für Fischhabitate. Deshalb beeinträchtigen die fehlenden Daten die Analyse kaum.

### A1.1.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.3 zeigt die für diese Analyse verwendete Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. In diesem Fall werden drei positive

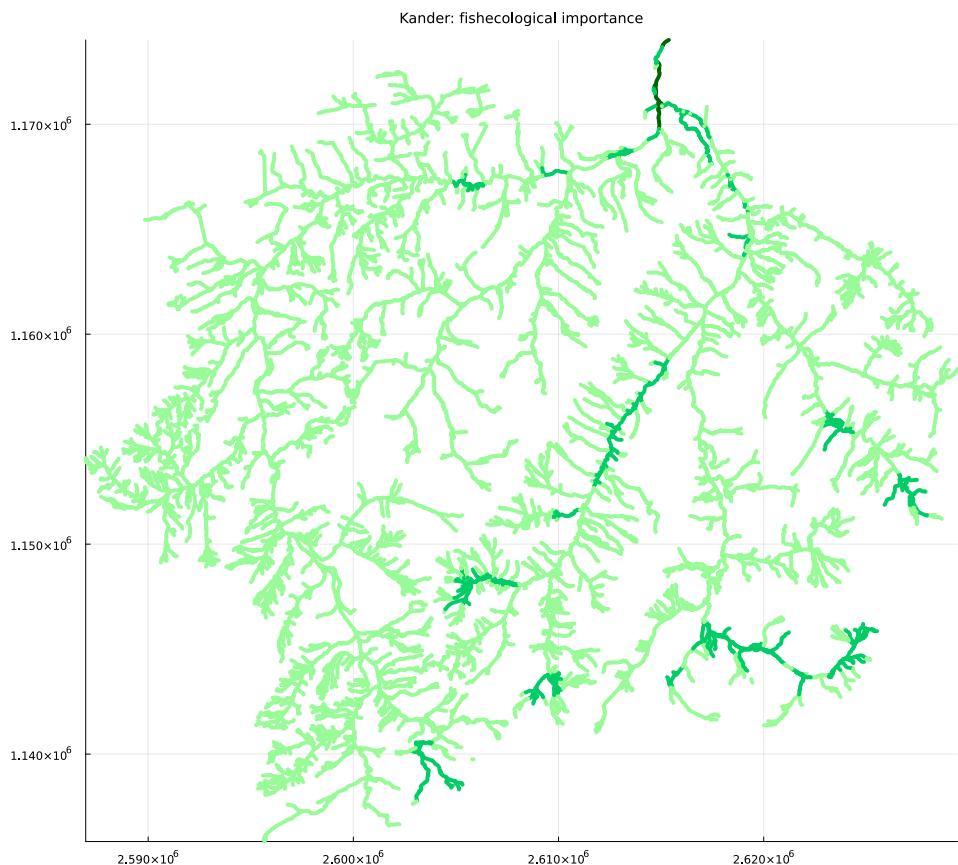


Abbildung A1.3: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell-, mittel, dunkelrot für 1, 2, 3 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell-, mittel, dunkelgrün für 1, 2, 3 positive Kriterien]). Im Fall der Kander liegen ausschliesslich positive Bewertungen vor.

Kriterien angewandt (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- In Abwesenheit von artspezifischer Information werden die drei Kriterien der Möglichkeit der Kolonisierung aus artenreicheren Strecken, von seltenen Arten und von Wanderfischen in ein Kriterium zusammengefasst und auf den Bereich angewandt, der unter naturnahen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreicht werden kann (siehe Abbildung A1.4, links unten, für die unter natürlichen Bedingungen für nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbare Region). Das ist eine naheliegende Möglichkeit, wenn keine artspezifische Information vorliegt, aber ein untenliegendes Gewässer sehr viel artenreicher ist. Dieses Verfahren erhöht die Gewichtung des Ziels der von der Mündung erreichbaren Habitate im Vergleich zum Ziel von generell grossen Habitaten in der Zielhierarchie.

- Auengebiete können durch die Verfügbarkeit der Daten über Auen von nationaler Bedeutung gut berücksichtigt werden.
- Das System Kander/Simme ist ein besonders wichtiges kühles Refugium für Salmoniden, was die Berücksichtigung dieses Kriteriums für das gesamte Einzugsgebiet rechtfertigt.

Da wir drei positive Kriterien berücksichtigen, wählen wir einen Faktor von  $\sqrt[3]{2} \approx 1.26$  für jedes Kriterium (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3). Das ergibt eine Erhöhung des Gewichts um den Faktor 1.26 bei Vorliegen eines Kriteriums, 1.59 bei Vorliegen von zwei Kriterien, und 2 bei Vorliegen aller drei Kriterien. Es ist zu beachten, dass die Gewichtserhöhung des ganzen Einzugsgebiets wegen der kühlen Temperatur hier keine Auswirkung hat, da dieses Beispiel nur das einzelne Einzugsgebiet betrachtet. Bei der einzugsgebietsübergreifenden Bewertung hätte aber die Erhöhung der Gewichte einzelner Einzugsgebiete den Effekt, dass die Beseitigung von Wanderhindernissen in diesen Einzugsgebieten tendenziell eine höhere Priorität erhalten würden (hier haben natürlich auch die anderen Kriterien einen Einfluss, etwa, wie grosse Regionen zusammenhängend werden).

#### A1.1.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.4 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Der Vergleich des aktuellen mit dem naturnahen Zustand zeigt eine grosse Einschränkung des erreichbaren Gewässernetzes für Salmoniden, während die nicht-Salmoniden auch im naturnahen Zustand nur einen kleinen Teil des Gewässernetzes erreichen. Für die Salmoniden erkennt man aber auch grosse zusammenhängende Bereiche in der Simme und etwas weniger ausgeprägt im Oberlauf der Kander. Die morphologisch nicht erfassten Zuflüsse sind zum grössten Teil zu steil um in die Analyse einbezogen zu werden.

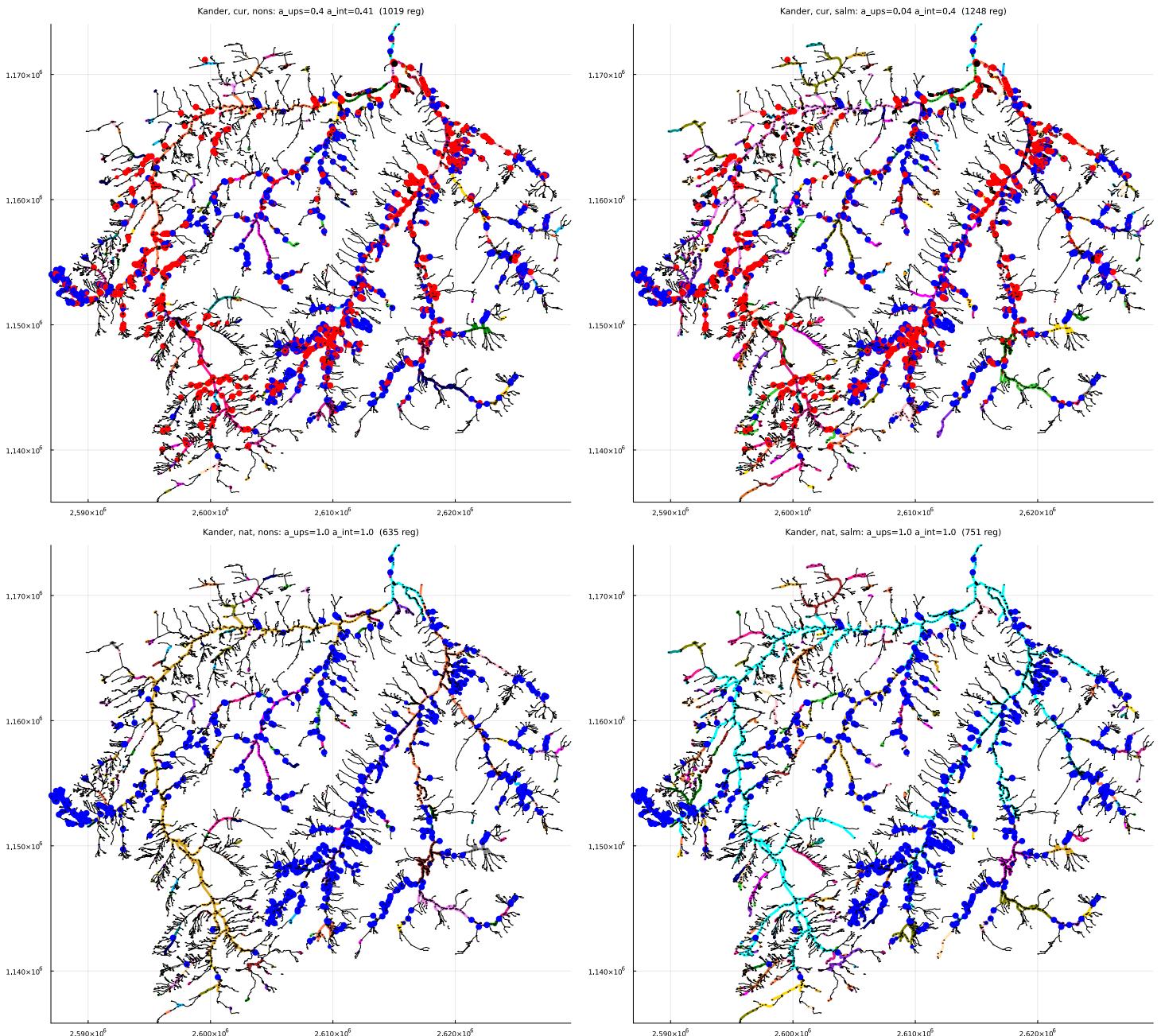


Abbildung A1.4: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand (oben) und im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen) (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigen, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.5 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie, links mit den Fliessstrecken im aktuellen morphologischen Zustand, rechts unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden. Die geringen Unterschiede zwischen

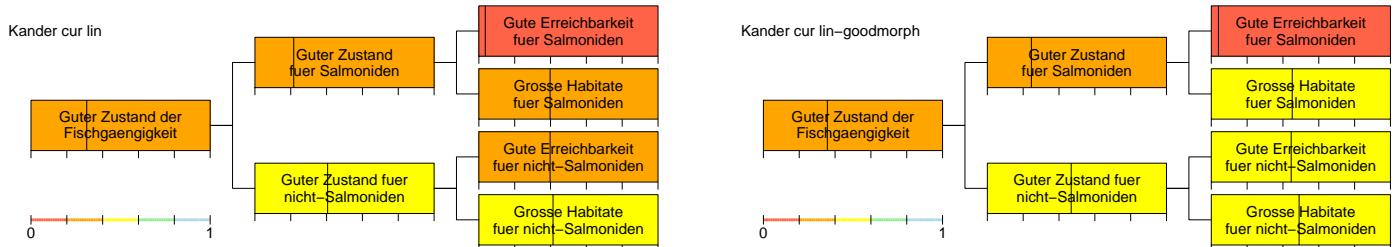


Abbildung A1.5: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

den beiden Bewertungen zeigt, dass der schlechte aktuelle Zustand bezüglich der Längsvernetzung primär durch die Wanderhindernisse und nicht durch die morphologisch beeinträchtigten Strecken verursacht wird. Je mehr Hindernisse beseitigt werden, desto wichtiger wird dann auch der morphologische Zustand der Fliessstrecken (siehe Abschnitt A1.1.5). Die sehr schlechte Bewertung für die Erreichbarkeit des Einzugsgebiets für Salmoniden wird durch die künstlichen Barrieren im Unterlauf der Kander und der Simme bewirkt (oberhalb des Zusammenflusses von Simme und Kander). Da diese Bewertung auf dem Vergleich der aktuell von der Mündung erreichbaren Region mit der unter naturnahen Bedingungen erreichbaren Region beruht, welche für nicht-Salmoniden viel kleiner ist, ist die Bewertung der Erreichbarkeit für nicht-Salmoniden weniger schlecht.

### A1.1.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten in der Simme und im Oberlauf der Kander an die Mündung. Die Tabelle A1.1 gibt einen Überblick über die untersuchten Varianten.

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	geschätzte Kosten	Kommentar
1	3	0 m	3.3 MCHF	Anschluss des grossen zusammenhängenden Gebiets der Simme an die Mündung
2	2	129 m	1.2 MCHF	Zusammenschluss der zwei grossen zusammenhängenden Gebiete im Oberlauf der Simme
3	5	129 m	4.4 MCHF	Kombination der Varianten 1 und 2
4	64	75 m	12.3 MCHF	Anschluss Unterlauf Kander und Entschlige an die Mündung
5	74	75 m	13.9 MCHF	Zusätzlich zur Variante 4 Anschluss des Mittellaufs der Kander
6	79	204 m	18.3 MCHF	Kombination der Varianten 3 und 5

Tabelle A1.1: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Kander.

Die Abbildungen A1.6 bis A1.17 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.1 gelisteten Varianten. Alle Bewertungen sind unter Berücksichtigung der in Abbildung A1.3 gezeigten Gewichtung mit der fischökologischen Bedeutung berechnet.

Mit der Elimination von mehr und mehr Wanderhindernisse vom aktuellen Zustand zur Variante 6 (Bewertungen in den Abbildungen A1.5, A1.7, A1.9, A1.11, A1.13, A1.15, A1.17) nimmt der Unterschied zwischen den Bewertungen mit dem aktuellen Zustand der Fliessstrecken (jeweils linke Abbildung) und mit Fliessstrecken in einem sehr guten morphologischen Zustand zu. Dies zeigt, dass auch die Fliessstreckenrevitalisierung immer wichtiger wird, um einen guten Längsvernetzungszustand zu erreichen.

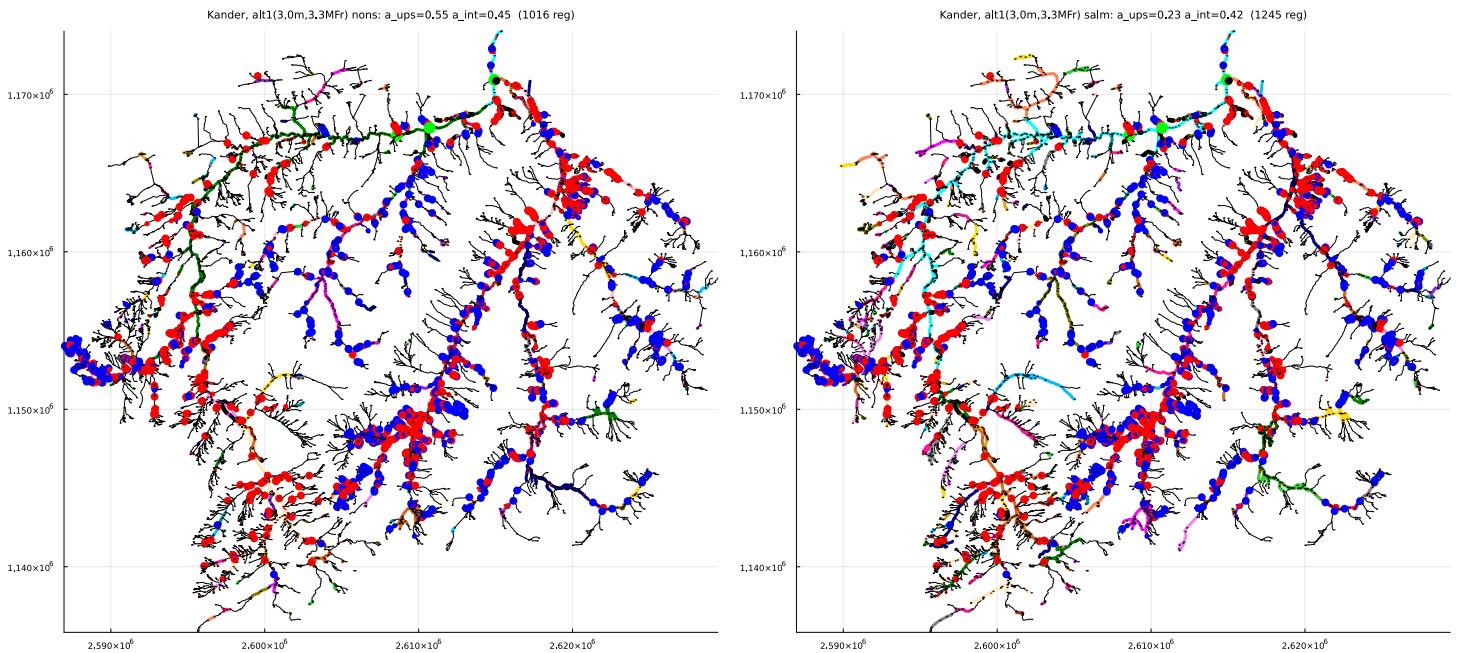


Abbildung A1.6: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

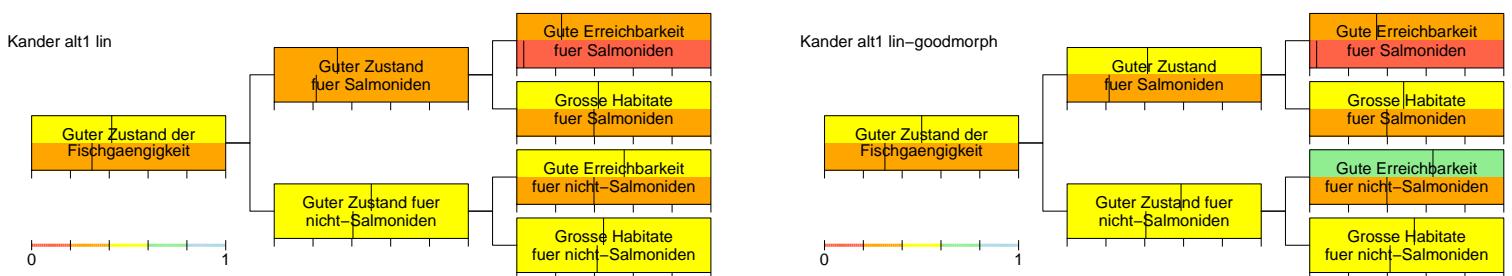


Abbildung A1.7: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

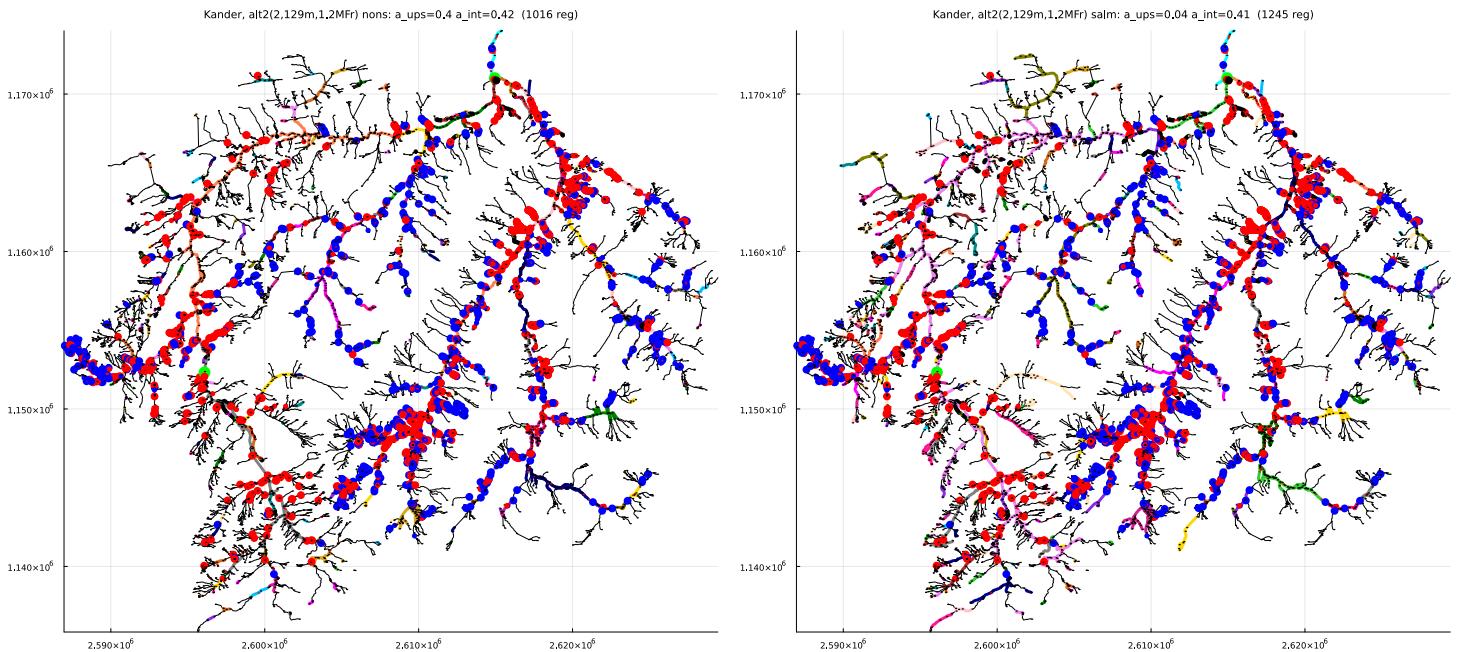


Abbildung A1.8: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

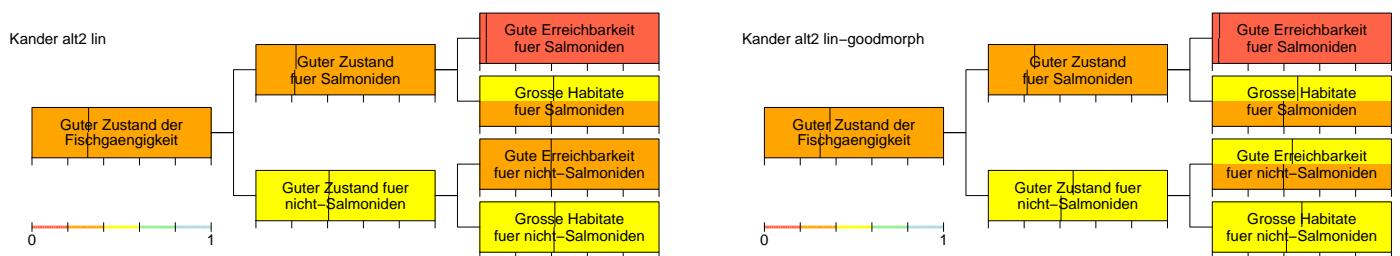


Abbildung A1.9: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

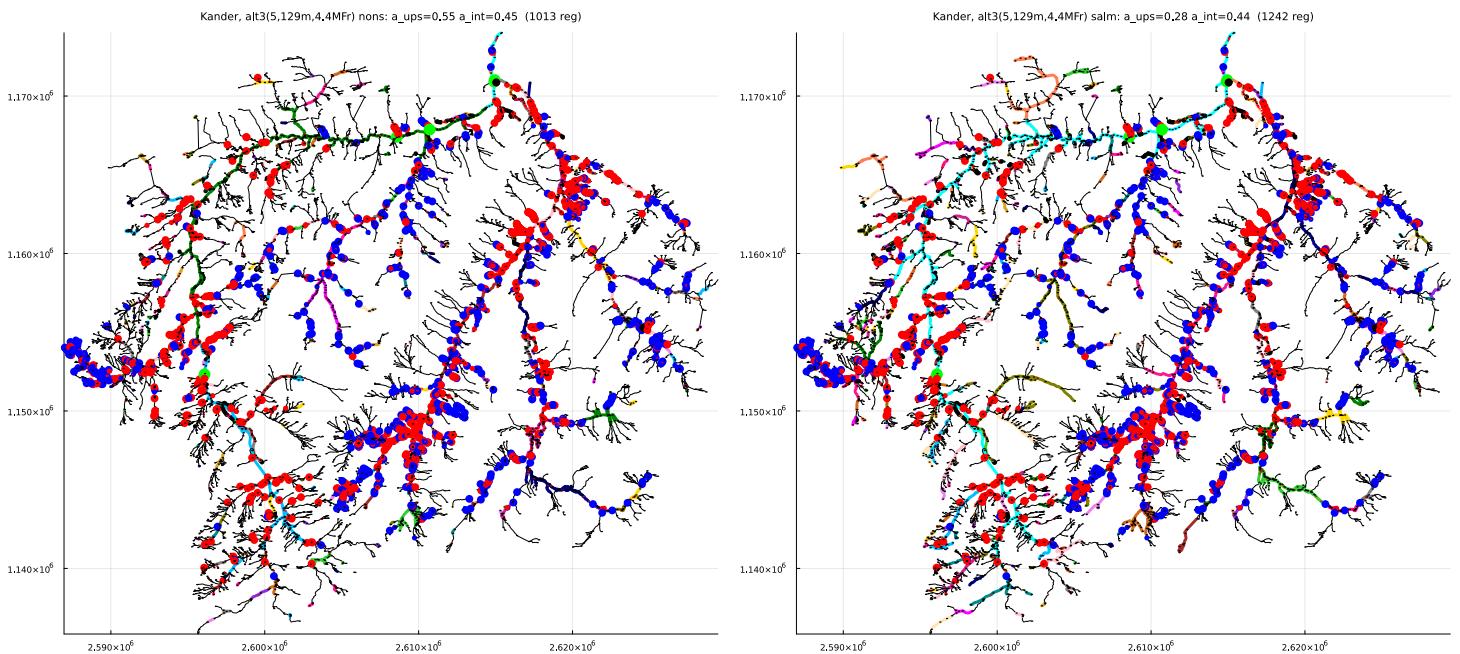


Abbildung A1.10: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

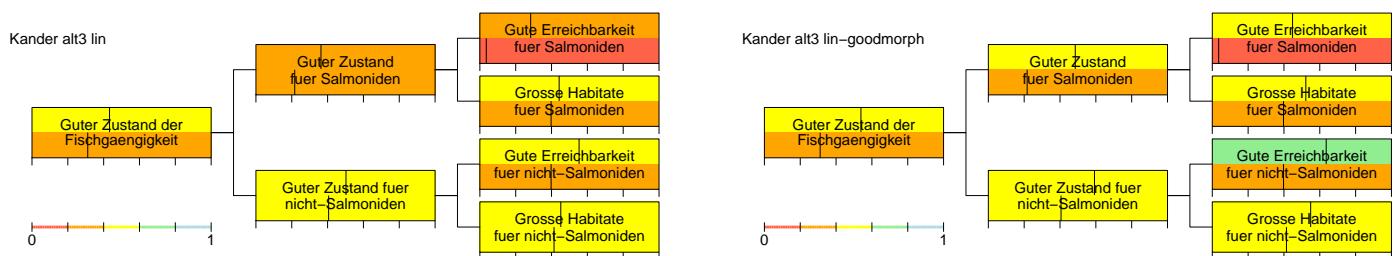


Abbildung A1.11: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälften der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

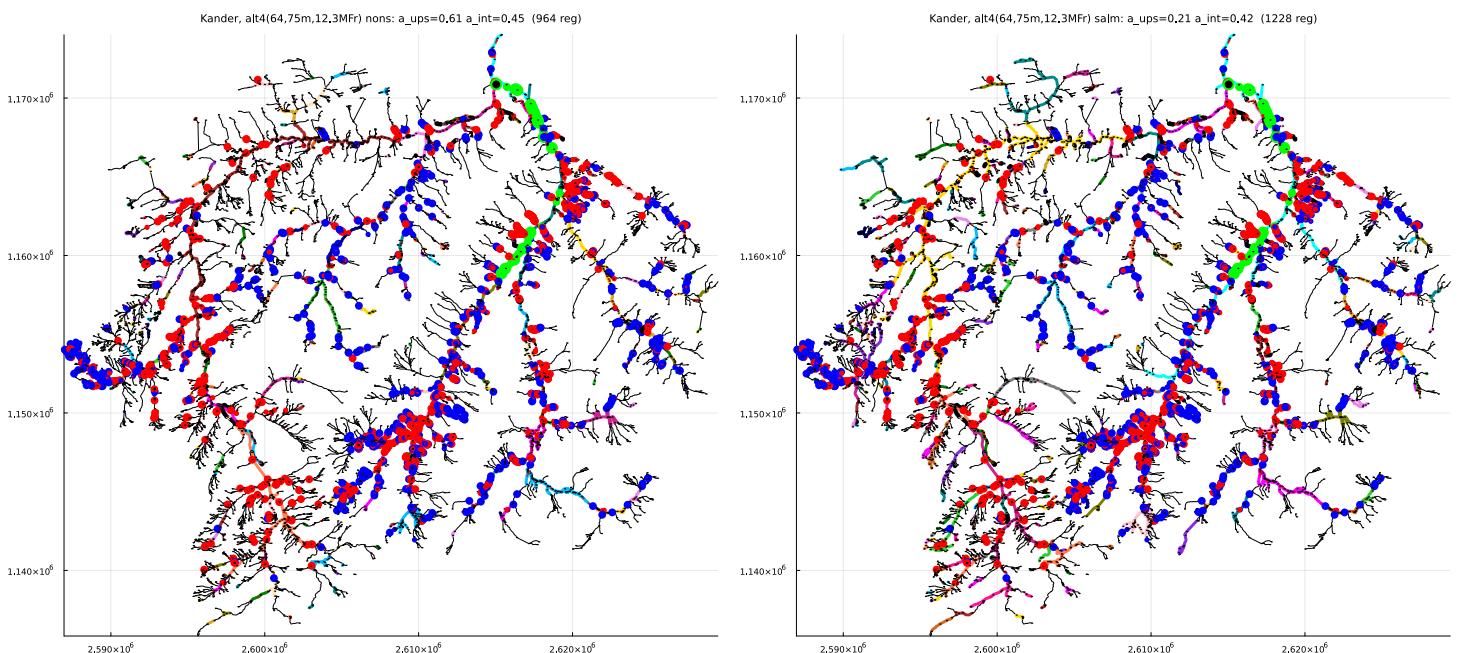


Abbildung A1.12: Variante 4. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

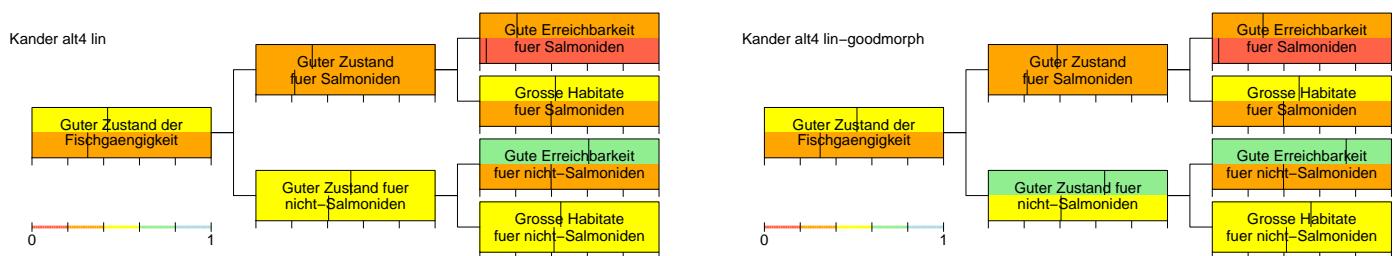


Abbildung A1.13: Vergleich der Bewertung der Variante 4 (obere Hälften der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

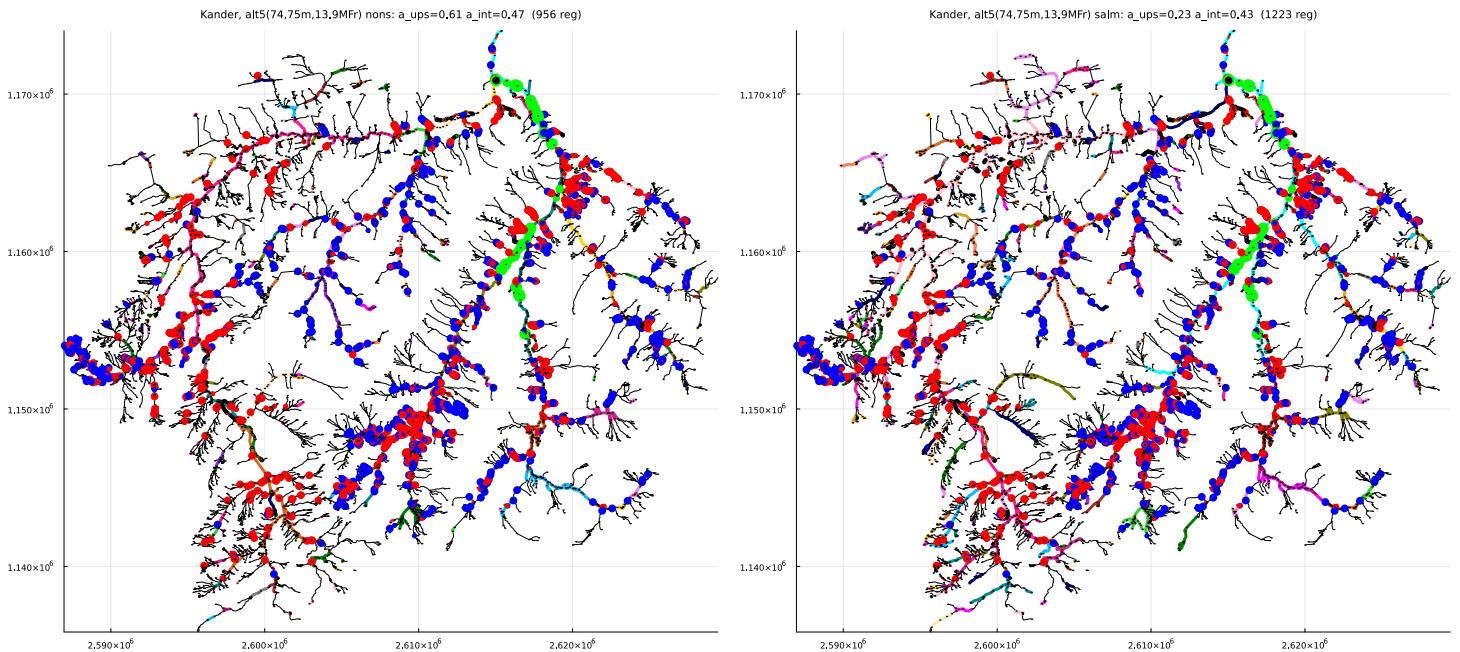


Abbildung A1.14: Variante 5. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

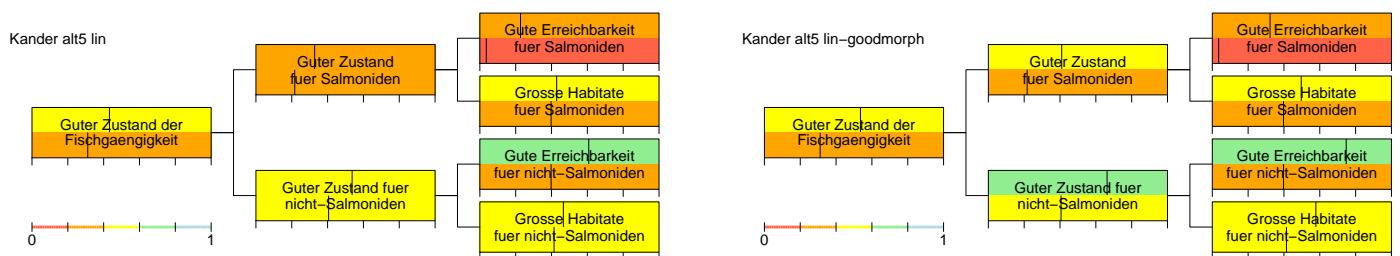


Abbildung A1.15: Vergleich der Bewertung der Variante 5 (obere Hälften der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

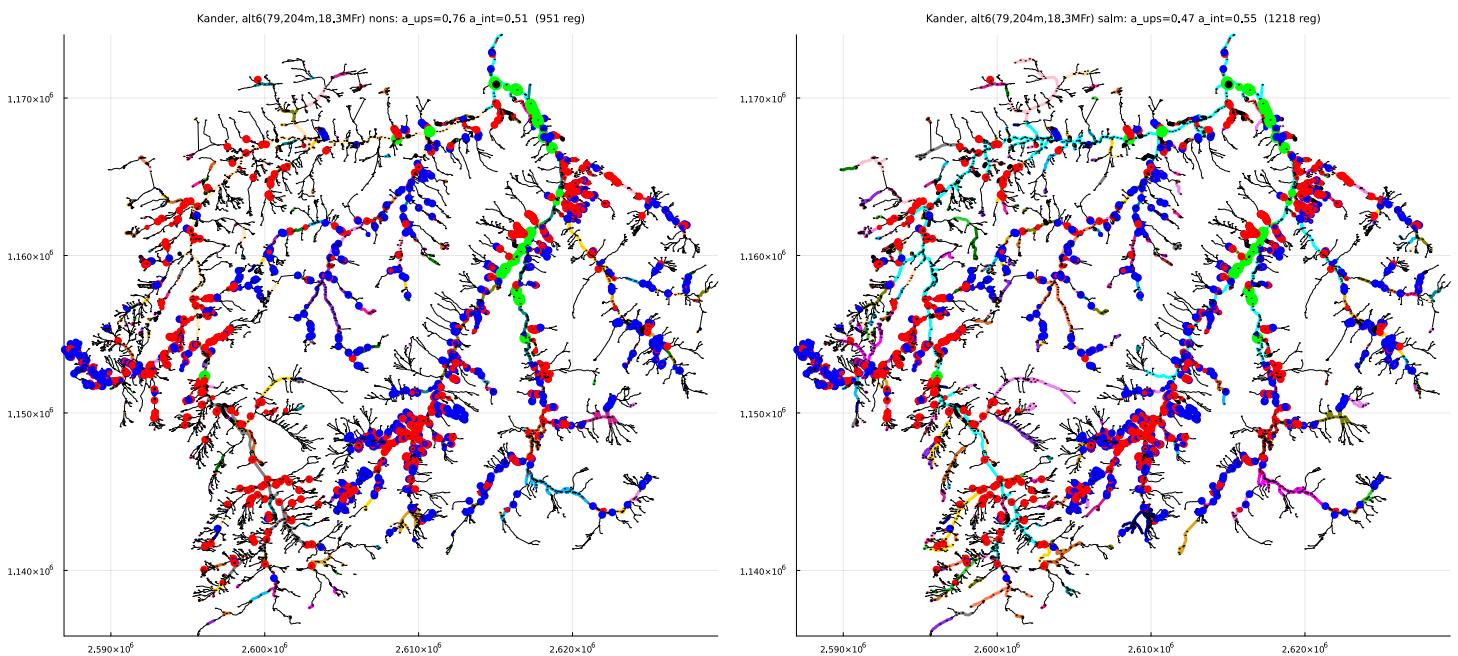


Abbildung A1.16: Variante 6. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.4 beschrieben.

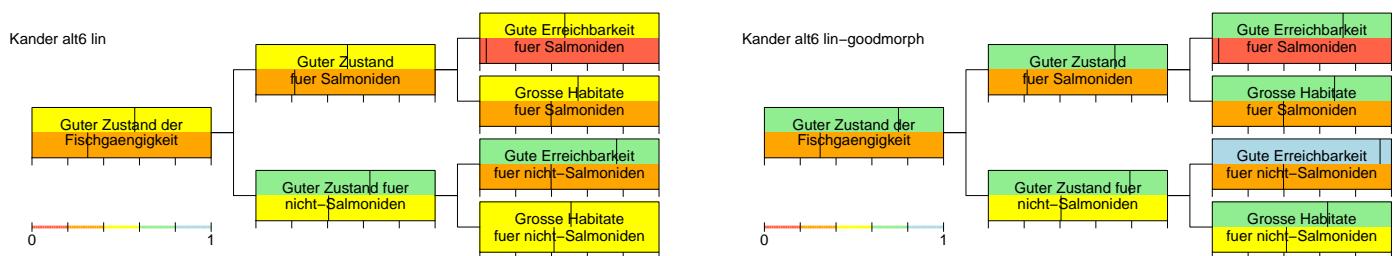


Abbildung A1.17: Vergleich der Bewertung der Variante 6 (obere Hälften der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.5 für eine Erklärung der Linien und Farben.

### A1.1.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.18 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Offensichtlich sind die Varianten 1 und 3 besonders kosteneffizient. Dies liegt daran, dass bei

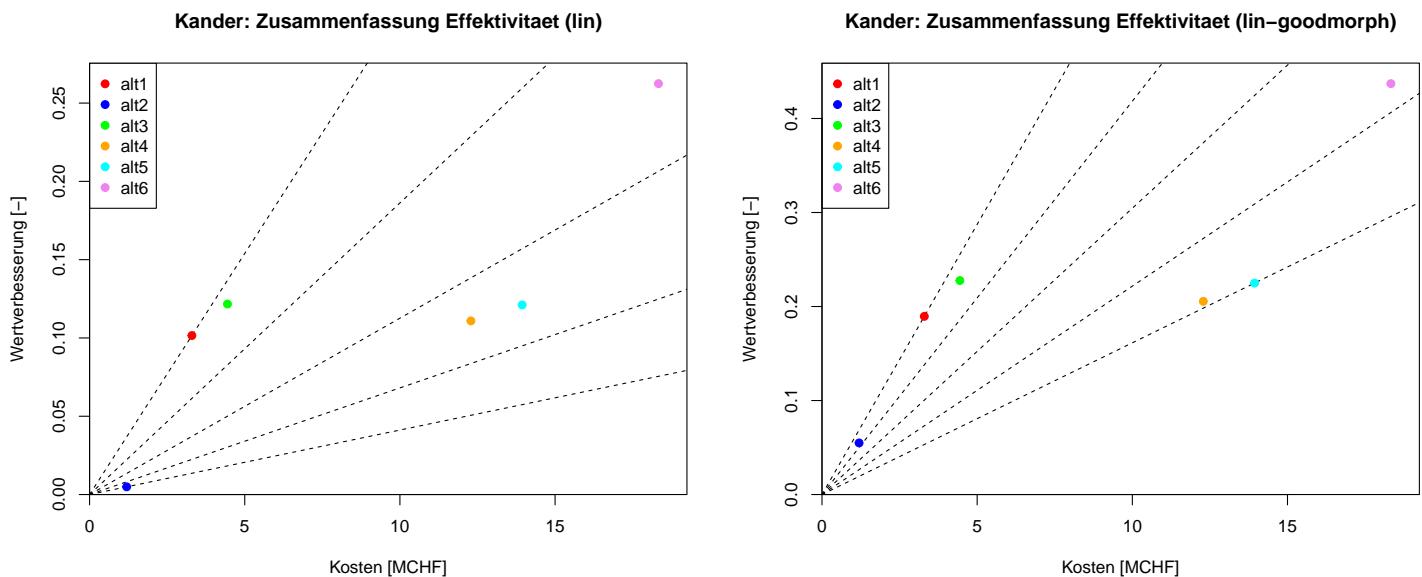


Abbildung A1.18: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

der Simme im Vergleich zur Kander wesentlich weniger Hindernisse fischgängig gemacht werden müssen, um grosse Regionen an die Mündung anzuschliessen.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.19 die analogen Resultate zur Abbildung A1.18, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass das Resultat in Abbildung A1.18 nur unwesentlich von der Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung abhängt.

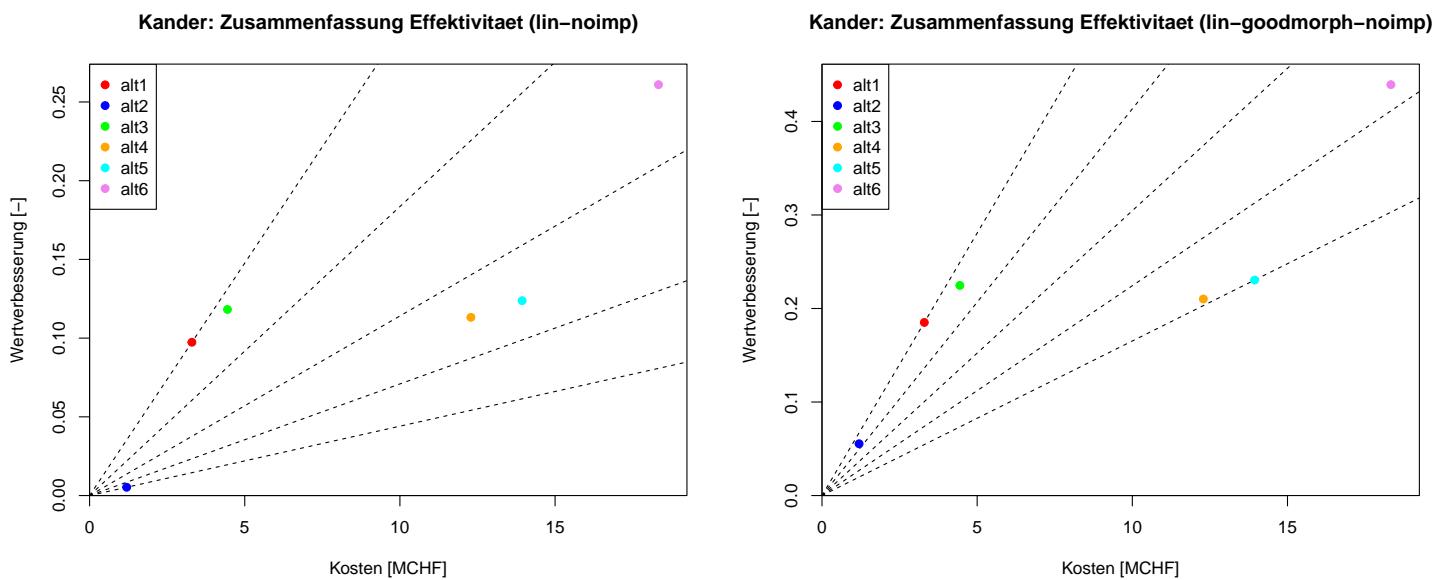


Abbildung A1.19: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.18 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

## A1.2 Birs

Die Birs entspringt bei Tavannes im Berner Jura und fliesst in nordöstlicher Richtung durch den Jura, bis sie in Basel in den Rhein mündet. Der Oberlauf der Birs gehört zur Forellenregion, der Unterlauf zur Aeschenregion.

### A1.2.1 Einzugsgebiet

Das Einzugsgebiet der Birs hat eine Fläche von ca. 900 km<sup>2</sup>. Die Flussordnung erreicht den Wert von 6 (siehe Abbildung A1.20).

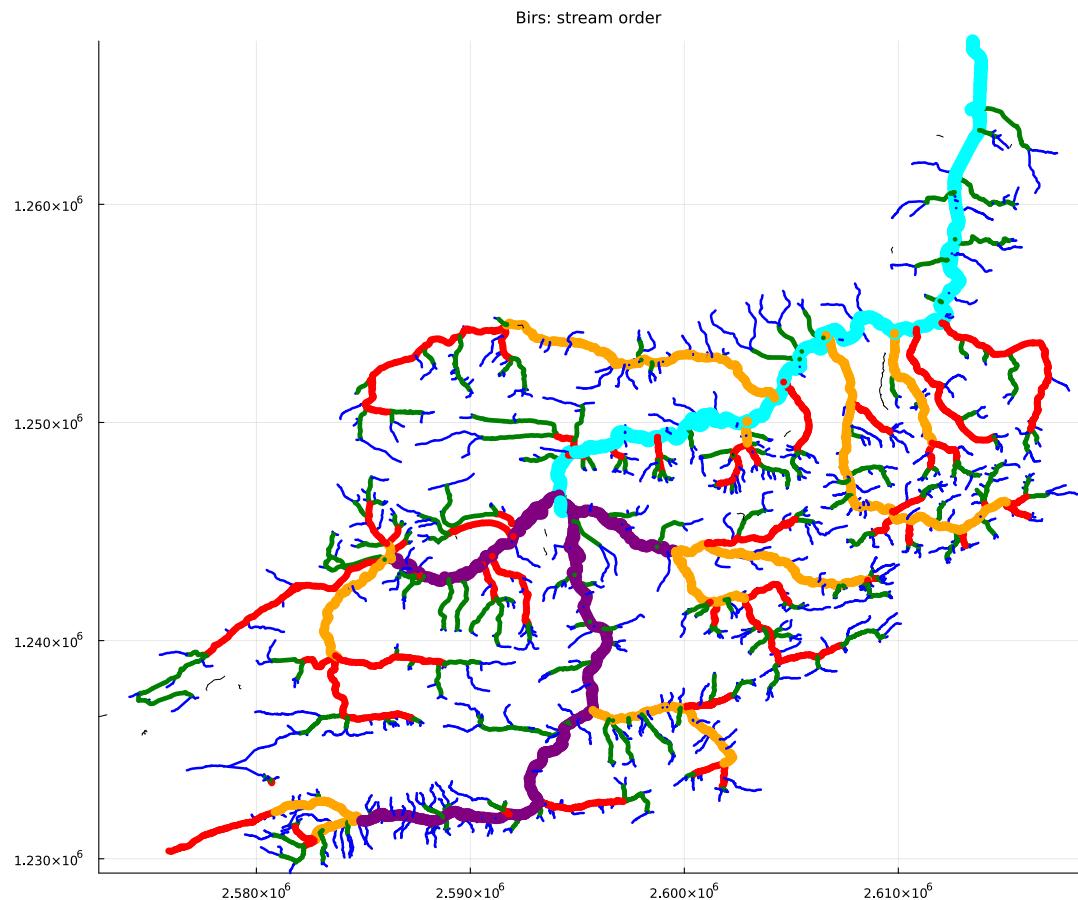


Abbildung A1.20: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

### A1.2.2 Ökomorphologie

Der ökomorphologische Zustand der Birs ist weitgehend stark beeinträchtigt (siehe Abbildung A1.21). Im Gegensatz zur Kander sind nur ein kleinerer Teil der Strecken mit fehlenden Daten

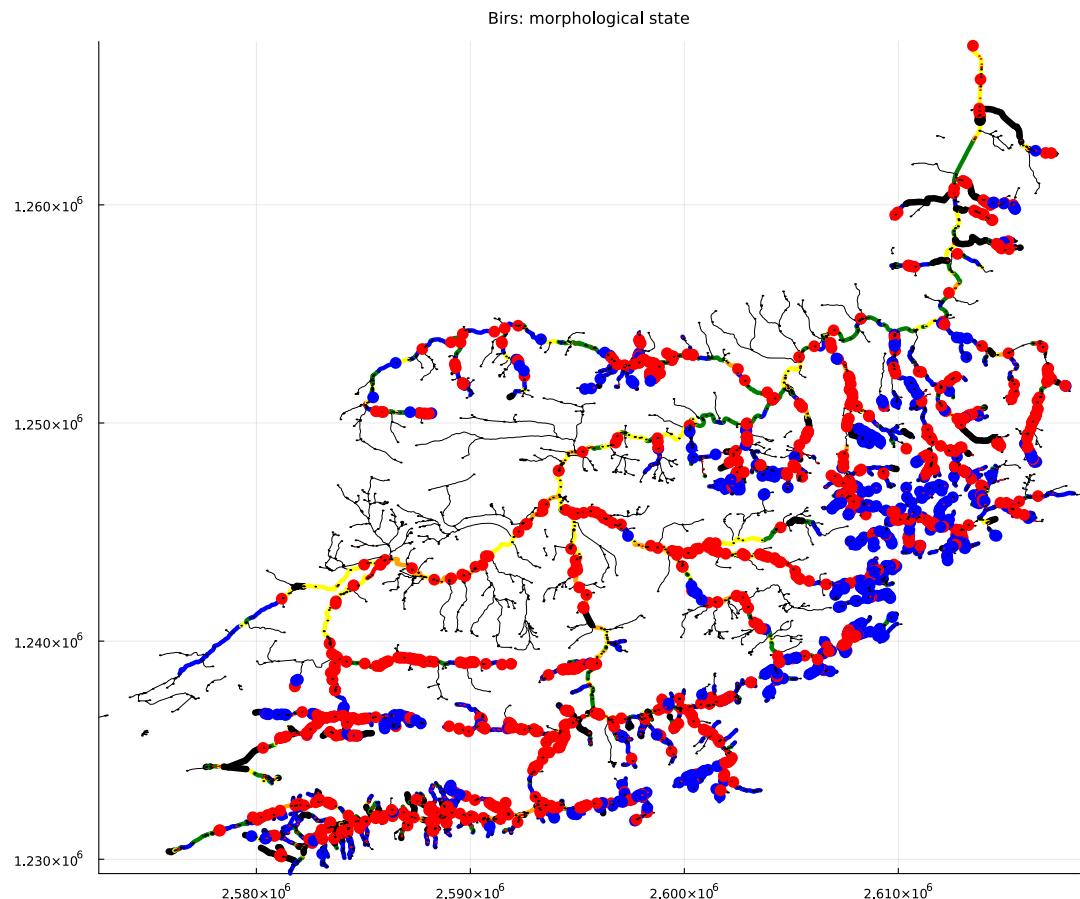


Abbildung A1.21: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

zu steil für Fischhabitare. Für die folgenden Analysen nehmen wir an, dass sich diese in einem guten ökomorphologischen Zustand befinden.

### A1.2.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.22 zeigt die für diese Analyse verwendet Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. In diesem Fall werden zwei positive

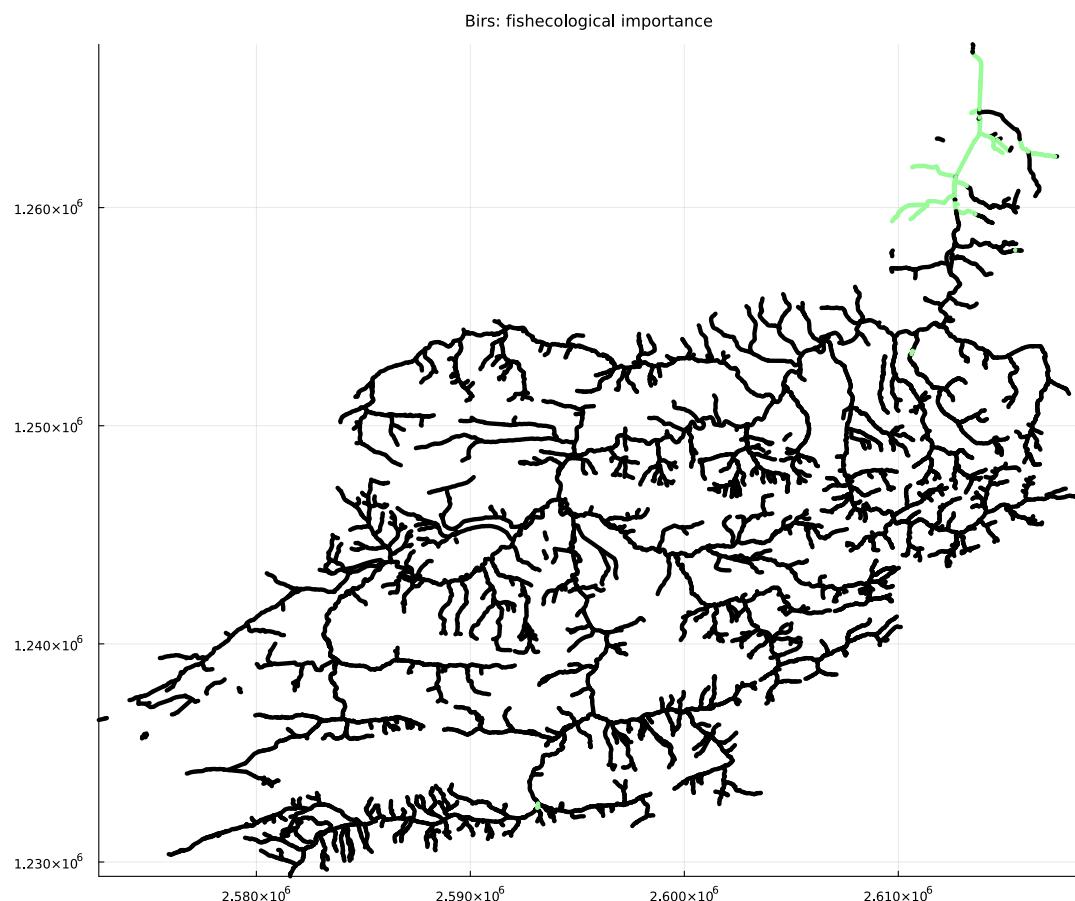


Abbildung A1.22: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Birs enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Kriterien angewandt (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- In Abwesenheit von artspezifischer Information werden die drei Kriterien der Möglichkeit der Kolonisierung aus artenreicheren Strecken, von seltenen Arten und von Wanderfischen in ein Kriterium zusammengefasst und auf den Bereich angewandt, der unter naturnahen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreicht werden kann (siehe Abbildung A1.4, links unten, für die unter natürlichen Bedingungen für nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbare Region). Das ist eine naheliegende Möglichkeit, wenn keine artspezifische Information vorliegt, aber ein untenliegendes Gewässer sehr viel artenreicher

ist. Dieses Verfahren erhöht die Gewichtung des Ziels der von der Mündung erreichbaren Habitate im Vergleich zum Ziel von generell grossen Habitaten in der Zielhierarchie.

- Auengebiete können durch die Verfügbarkeit der Daten über Auen von nationaler Bedeutung gut berücksichtigt werden.

Da wir zwei positive Kriterien berücksichtigen, wählen wir einen Faktor von  $\sqrt{2} \approx 1.414$  für jedes Kriterium (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3). Das ergibt eine Erhöhung des Gewichts um den Faktor 1.414 bei Vorliegen eines Kriteriums und 2 bei Vorliegen beider Kriterien. Wie die Abbildung A1.22 zeigt, kommt hier wegen der Abwesenheit von Auen von nationaler Bedeutung, der Fall von beiden Kriterien nicht vor.

#### A1.2.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.23 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Der Vergleich des aktuellen mit den naturnahen Zustand zeigt eine sehr grosse Einschränkung des von der Mündung her erreichbaren Gewässernetzes und eine sehr starke Fragmentierung im ganzen Einzugsgebiet.

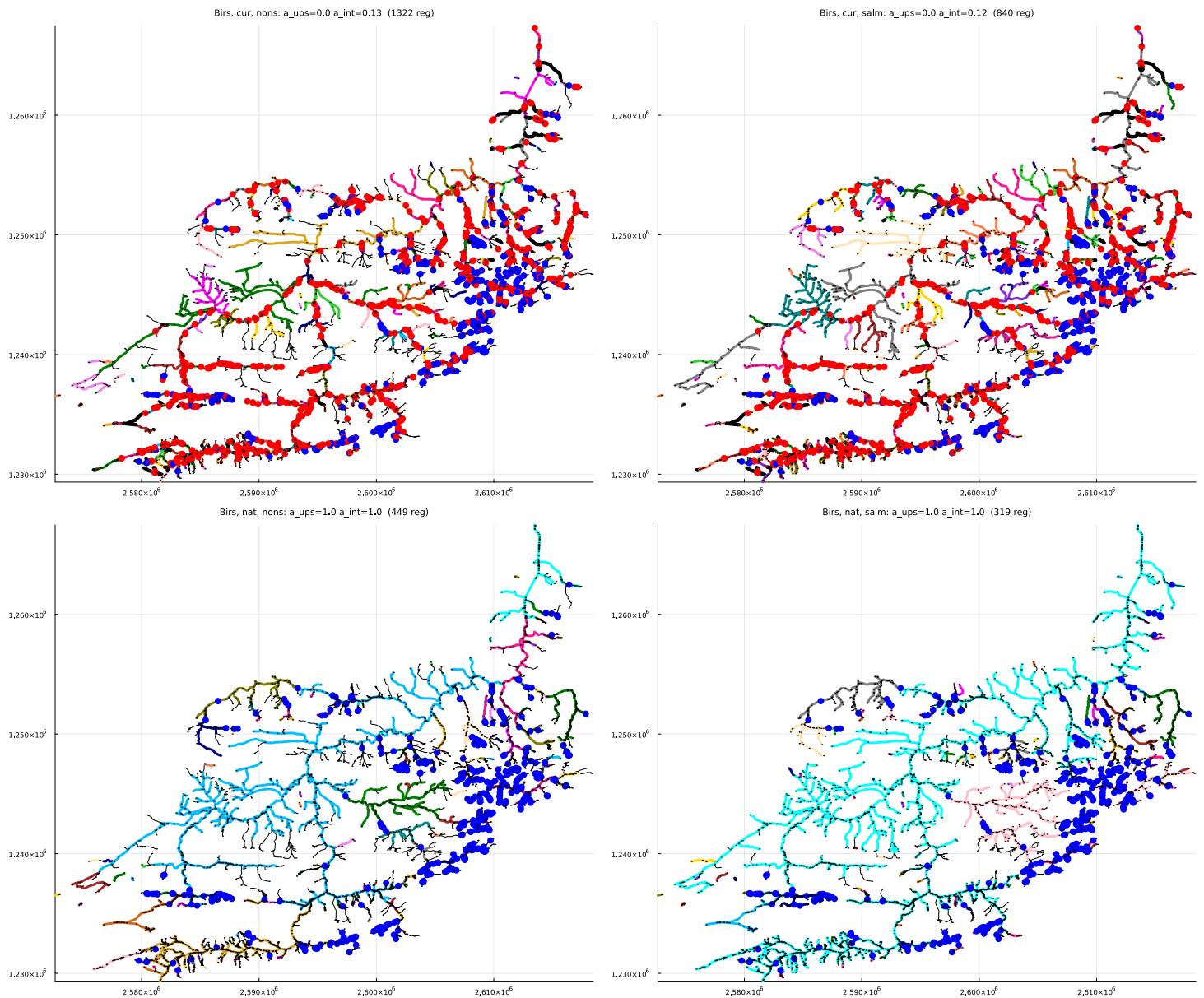


Abbildung A1.23: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand (oben) und im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen) (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben: a\_ups= $a_{ups}$  (3.1), a\_int= $a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.24 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Aufgrund der sehr starken Fragmentierung durch künstliche Hindernisse sind alle Bewertungen sehr schlecht.

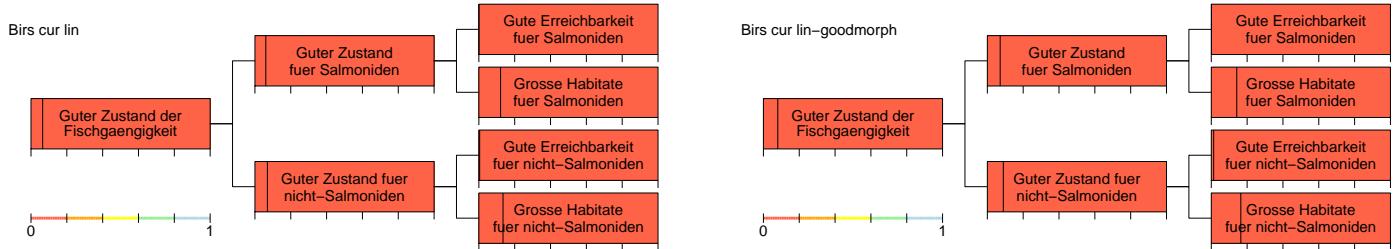


Abbildung A1.24: Bewertung des Zustandes auf allen hierachischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

### A1.2.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.2 gibt einen

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	22	0 m	2.2 MCHF	Anschluss des Unterlaufs der Birs an die Mündung
2	33	0 m	8.8 MCHF	Erweiterung der Variante 1 auf den Mittellauf
3	44	0 m	11.2 MCHF	Erweiterung der Variante 2 auf den Oberlauf

Tabelle A1.2: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Birs.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.25 bis A1.30 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.2 gelisteten Varianten. Alle Bewertungen sind unter Berücksichtigung der in Abbildung A1.3 gezeigten Gewichtung mit der fischökologischen Bedeutung berechnet.

Bereits mit der Variante 1 erreicht man eine wesentliche Verbesserung für die Erreichbarkeit der natürlicherweise erreichbaren Region für nicht-Salmoniden. Dies liegt primär daran, dass bereits im naturnahen Zustand nur ein kleiner Teil des Einzugsgebiets für nicht-Salmoniden erreichbar ist.

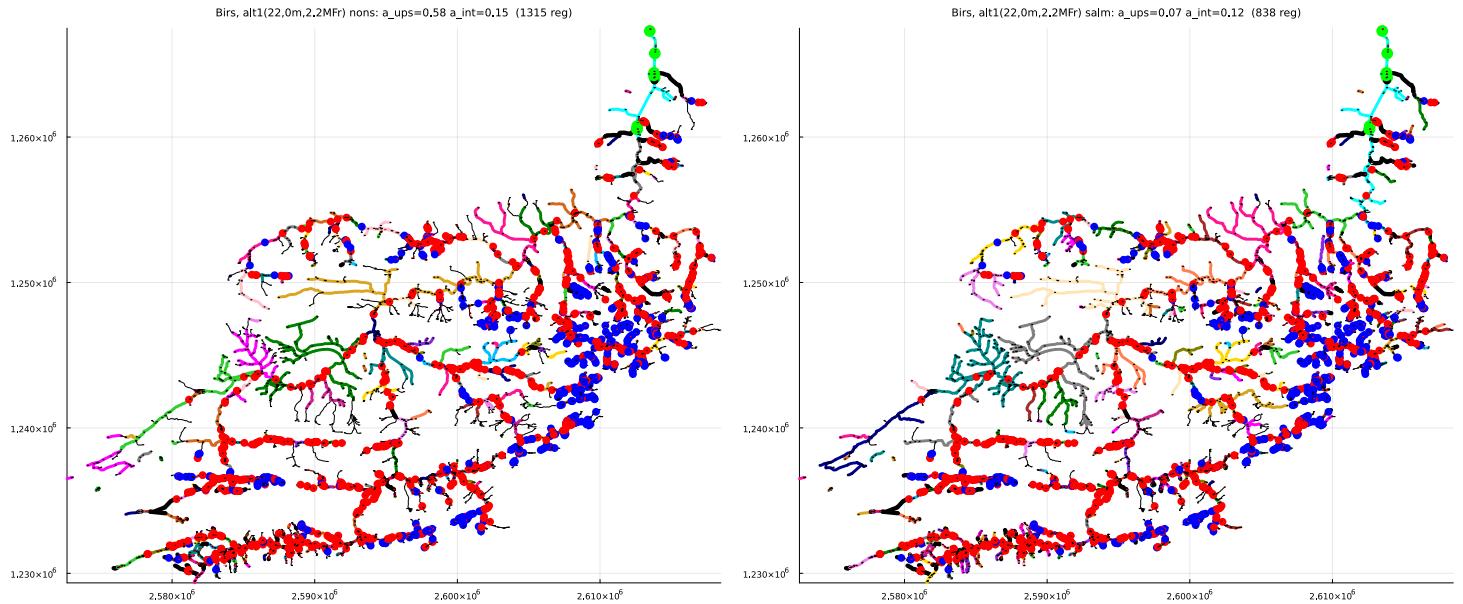


Abbildung A1.25: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.23 beschrieben.

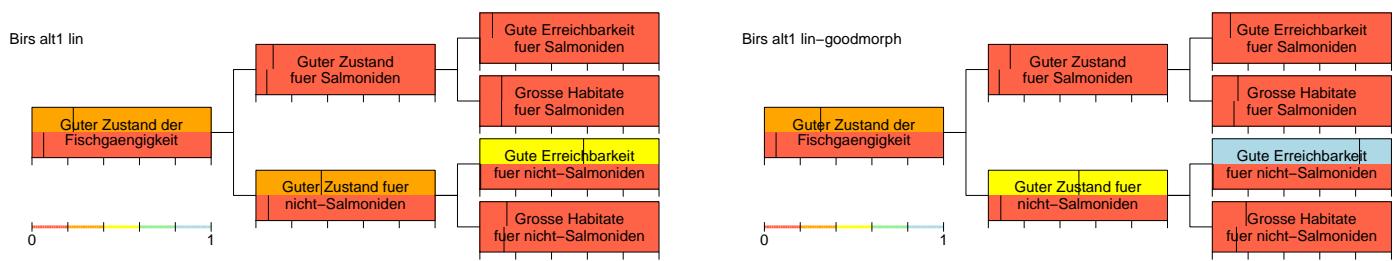


Abbildung A1.26: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.24 für eine Erklärung der Linien und Farben.

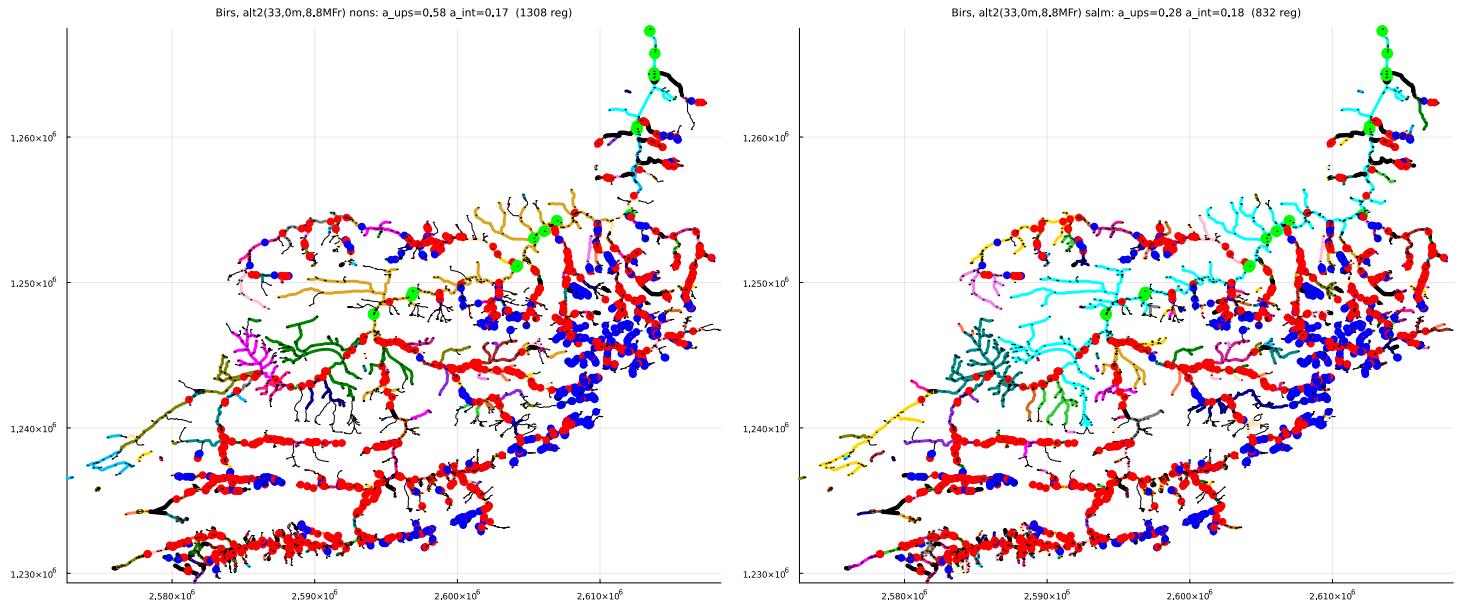


Abbildung A1.27: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.23 beschrieben.

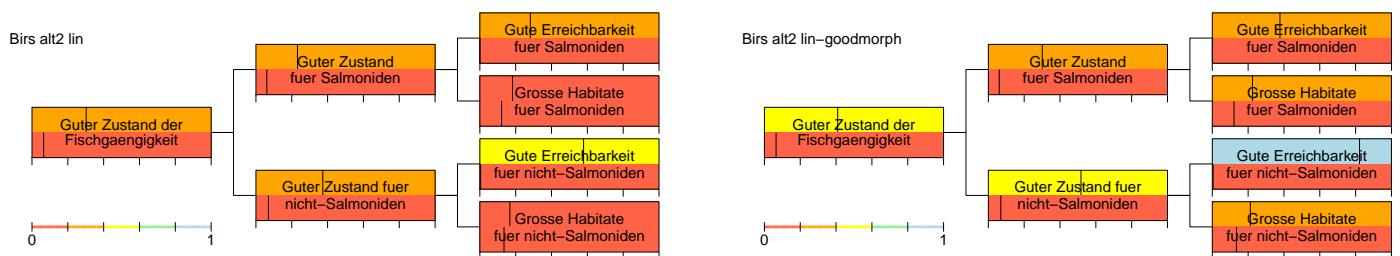


Abbildung A1.28: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.24 für eine Erklärung der Linien und Farben.

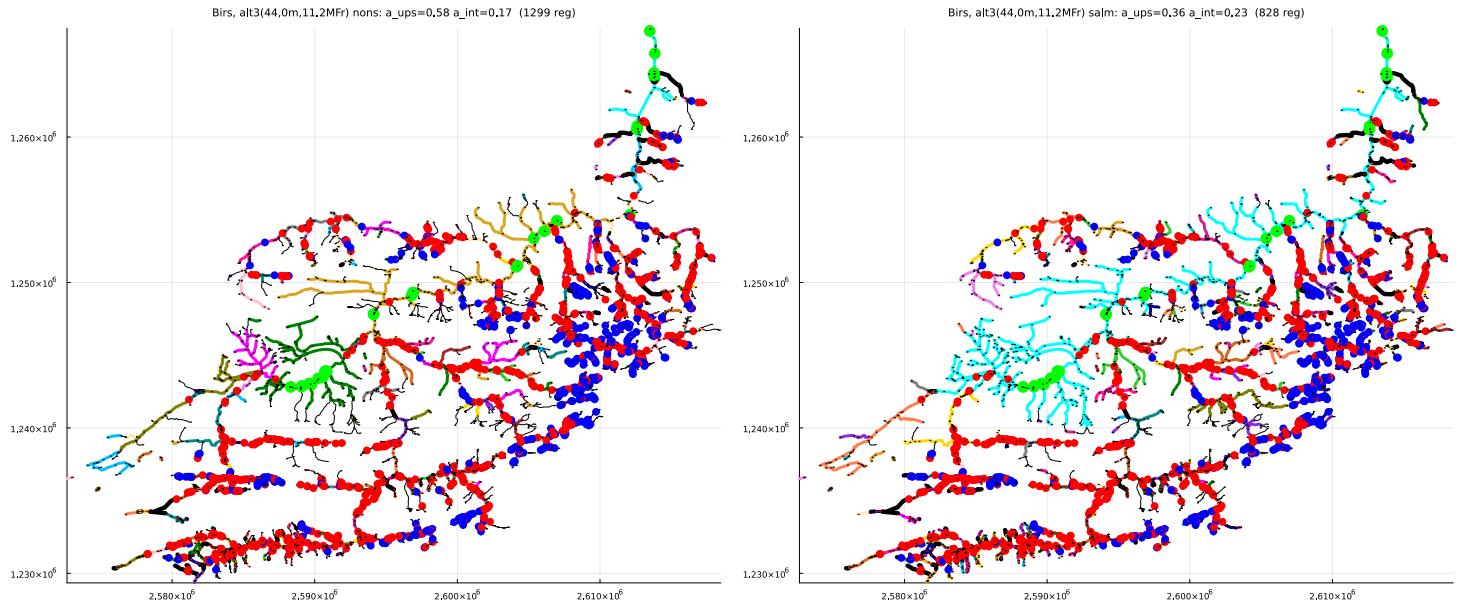


Abbildung A1.29: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.23 beschrieben.

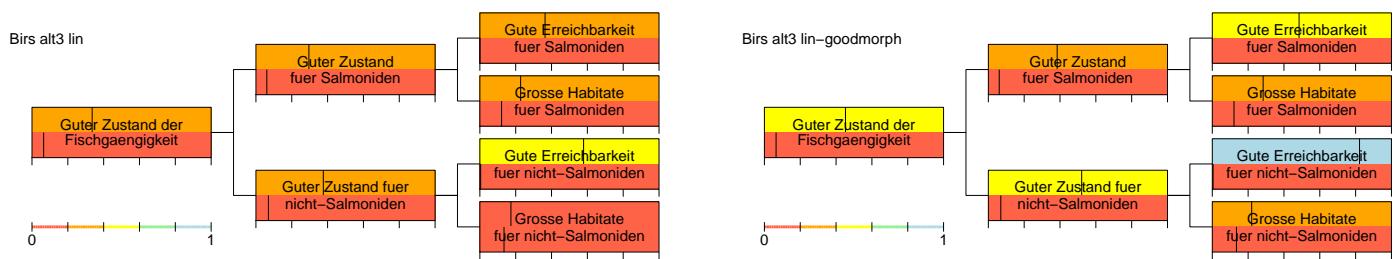


Abbildung A1.30: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.24 für eine Erklärung der Linien und Farben.

### A1.2.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.31 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Durch die wesentlich kleineren Kosten der Variante 1 im Vergleich zu den Varianten 2 und 3 und

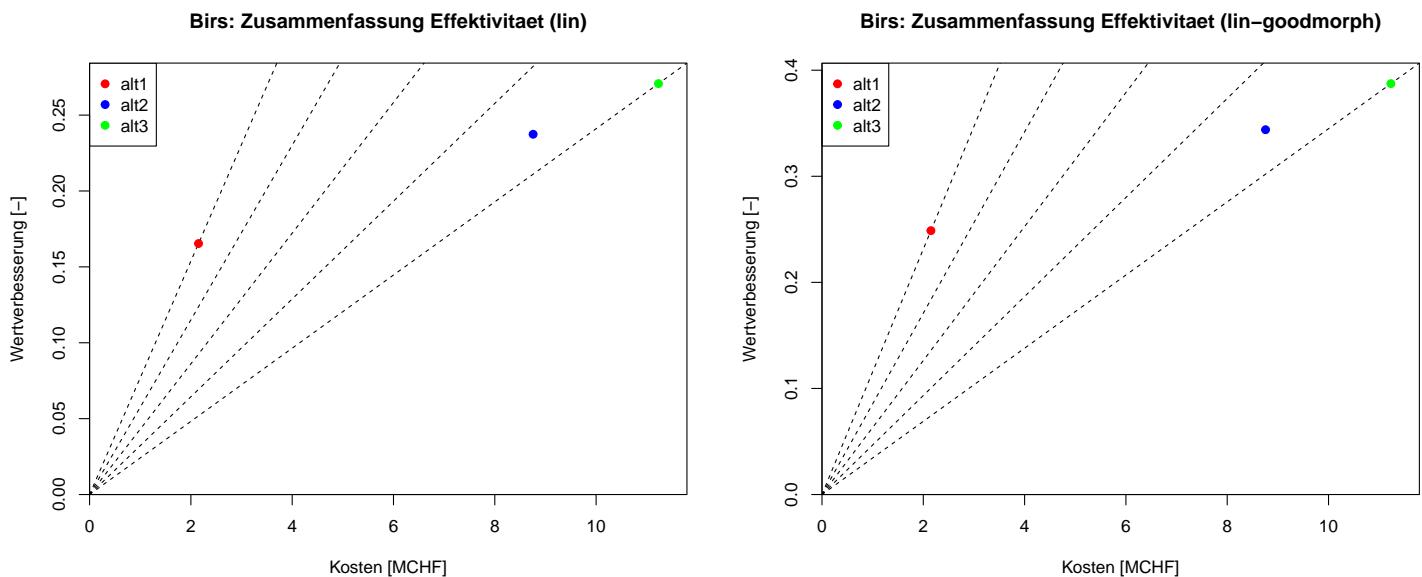


Abbildung A1.31: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

die doch relevante Wertverbesserung, erreicht bereits die Variante 1 eine sehr gute Effektivität.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.32 die analogen Resultate zur Abbildung A1.31, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass das Resultat in Abbildung A1.31 nur unwesentlich von der Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung abhängt.

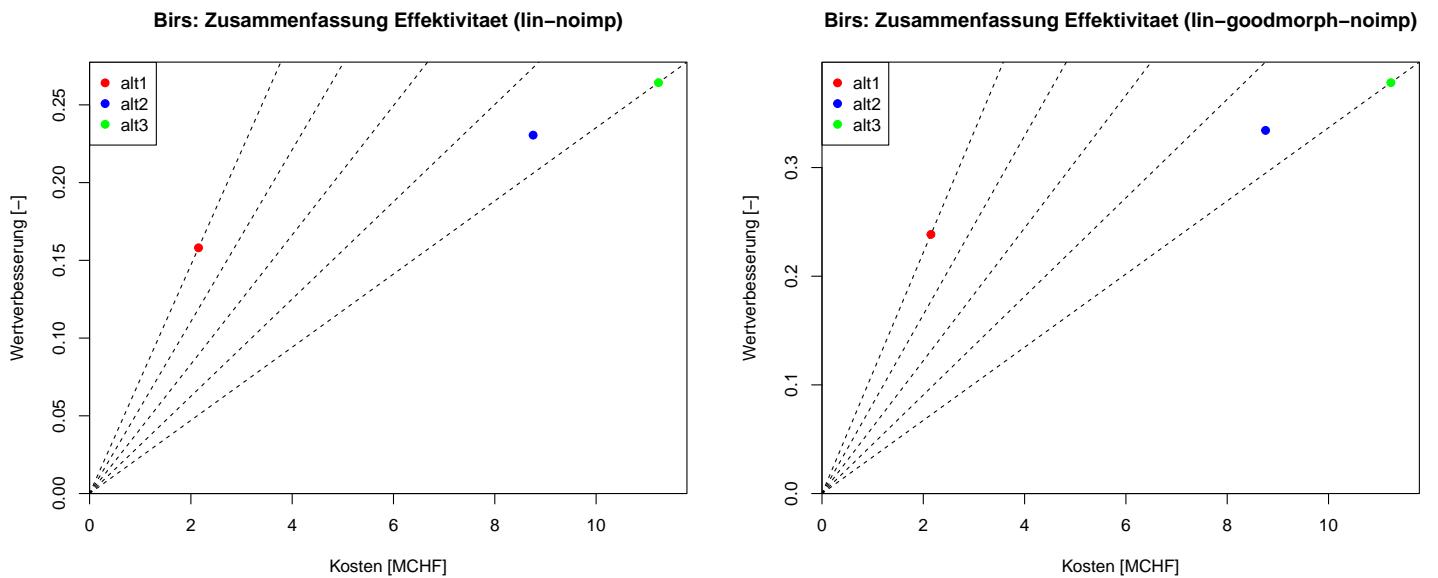


Abbildung A1.32: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.31 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

### A1.3 Aare Thun-Bern

Der Aareabschnitt von Thun nach Bern weist 6 grössere Zuflüsse auf. Von oben nach unten sind dies die Zulg, der Glütschbach, die Rotache, die Chise, die Giesse und die Gürbe. In den Abschnitten A1.3.1 bis A1.3.6 werden diese Zuflüsse einzeln analysiert und RevitalisierungsVarianten ausgearbeitet. Anschliessend wird in Abschnitt A1.3 eine einzugsgebietsübergreifende Bewertung durchgeführt.

Die Bewertung der fischökologischen Bedeutung von Fliessstrecken bedarf der Einschätzung lokaler Fischfachleute und muss in jedem Fall begründet werden. Zur Konsistenzsicherung in einer einzugsgebietsübergreifenden Analyse ist es wichtig, einheitliche Kriterien auf alle Teileinzugsgebiete anzuwenden. Aus diesem Grund werden die Kriterien hier, vorgängig zu den Analysen in den einzelnen Teileinzugsgebieten, diskutiert. Die Festlegung erfolgte basierend auf der Kriterienliste und dem Quantifizierungsvorschlag in Abschnitt 3.4.1.3, der Bedeutung der Kriterien für das System der Aare zwischen Thun und Bern und der Verfügbarkeit geografischer Daten, die die Implementation ermöglichen.

Wir verwenden die folgenden beiden positiven Kriterien (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- In Abwesenheit von artspezifischer Information werden die drei Kriterien der Möglichkeit der Kolonisierung aus artenreicheren Strecken, von seltenen Arten und von Wanderfischen in ein Kriterium zusammengefasst und auf den Bereich angewandt, der unter naturnahen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreicht werden kann. Das ist eine naheliegende Möglichkeit, wenn keine artspezifische Information vorliegt, aber ein untenliegendes Gewässer sehr viel artenreicher ist, wie dies bei der Aare der Fall ist. Dieses Verfahren erhöht die Gewichtung des Ziels der von der Mündung erreichbaren Habitate im Vergleich zum Ziel von generell grossen Habitaten in der Zielhierarchie.
- Auengebiete von nationaler Bedeutung sind in digitaler Form verfügbar und können deshalb gut als weiteres Kriterium berücksichtigt werden.

Zusätzlich verwenden wir das negative Kriterium (siehe Liste in Abschnitt 3.4.1.3):

- Strecken mit gestörtem Geschieberegime.

Da wir zwei positive Kriterien berücksichtigen, wählen wir einen Faktor von  $\sqrt{2} \approx 1.414$  für jedes Kriterium (siehe Vorschlag in Abschnitt 3.4.1.3). Das ergibt eine Erhöhung des Gewichts um den Faktor 1.414 bei Vorliegen eines positiven Kriteriums und 2 bei Vorliegen beider positiver Kriterien, also in einer Aue von nationaler Bedeutung, die in der unter natürlichen Bedingungen von nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbaren Region liegt. Umgekehrt ergibt sich eine Reduktion des Gewichts um den Faktor  $1/\sqrt{2} \approx 0.707$  bei Vorliegen des negativen Kriteriums, also in diesem Fall eines gestörten Geschieberegimes. Die Kriterien können sich auch kompensieren, etwa wenn das Geschieberegime in der unter natürliche Verhältnissen für nicht-Salmoniden erreichbaren Region gestört ist. Dies führt dann zu einem Gewicht von  $\sqrt{2} \cdot 1/\sqrt{2} = 1$ , wie wenn kein Kriterium vorliegen würde. Von den 6 Zuflüssen zur Aare zwischen Thun und Bern weisen nur zwei, die Giesse und die Gürbe, wesentliche Auengebiete von nationaler

Bedeutung auf (jeweils im Aaretal kurz vor dem Zufluss in die Aare) und nur der Glütschbach hat teilweise ein gestörtes Geschieberegime. Trotzdem verwenden wir aus Konsistenzgründen in allen Teileinzugsgebieten dieselben, oben genannten, Gewichtsfaktoren.

### A1.3.1 Zulg

Die Zulg ist der erste rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees und mündet gleich nach Thun in die Aare.

#### A1.3.1.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.33 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Zulg. Die Zulg hat

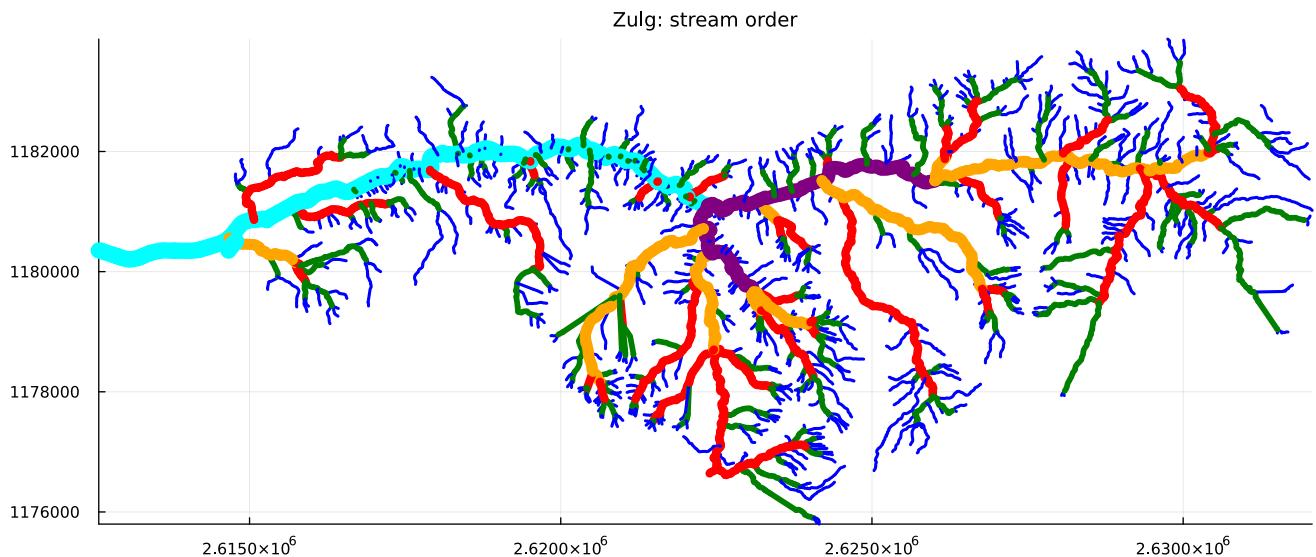


Abbildung A1.33: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

ein Einzugsgebiet von ca.  $90 \text{ km}^2$  und erreicht bis zum Zufluss in die Aare die Flussordnung 6.

#### A1.3.1.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.34 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Zulg. Mit

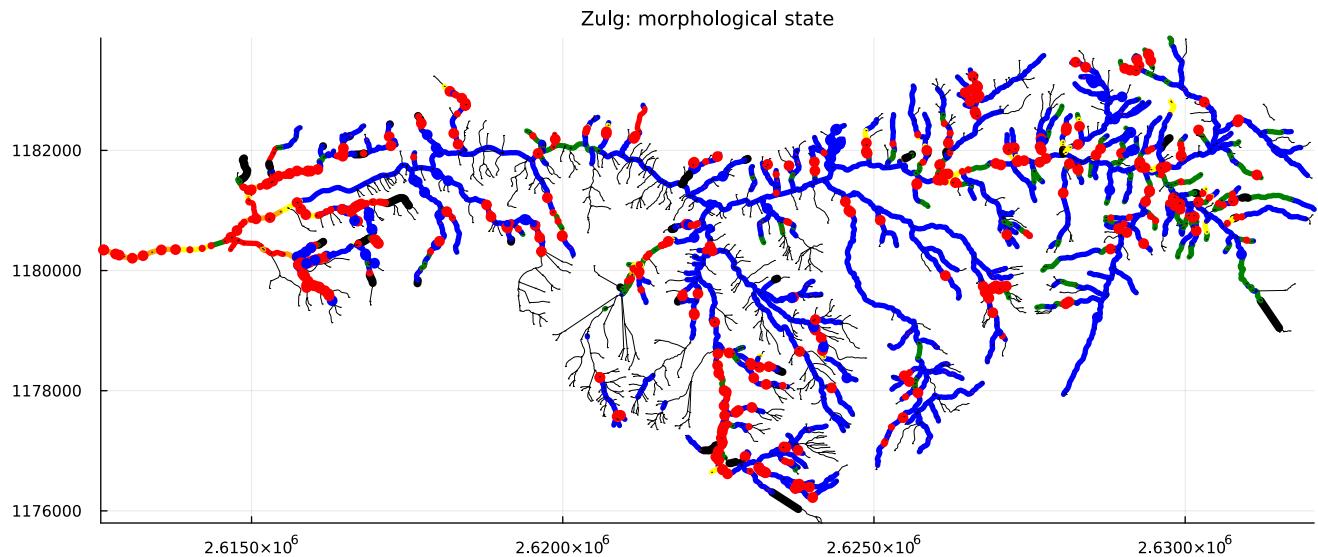


Abbildung A1.34: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

Ausnahme des Unterlaufs ist die Zulg in einem sehr guten ökomorphologischen Zustand.

#### A1.3.1.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.35 zeigt die für diese Analyse verwendet Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe

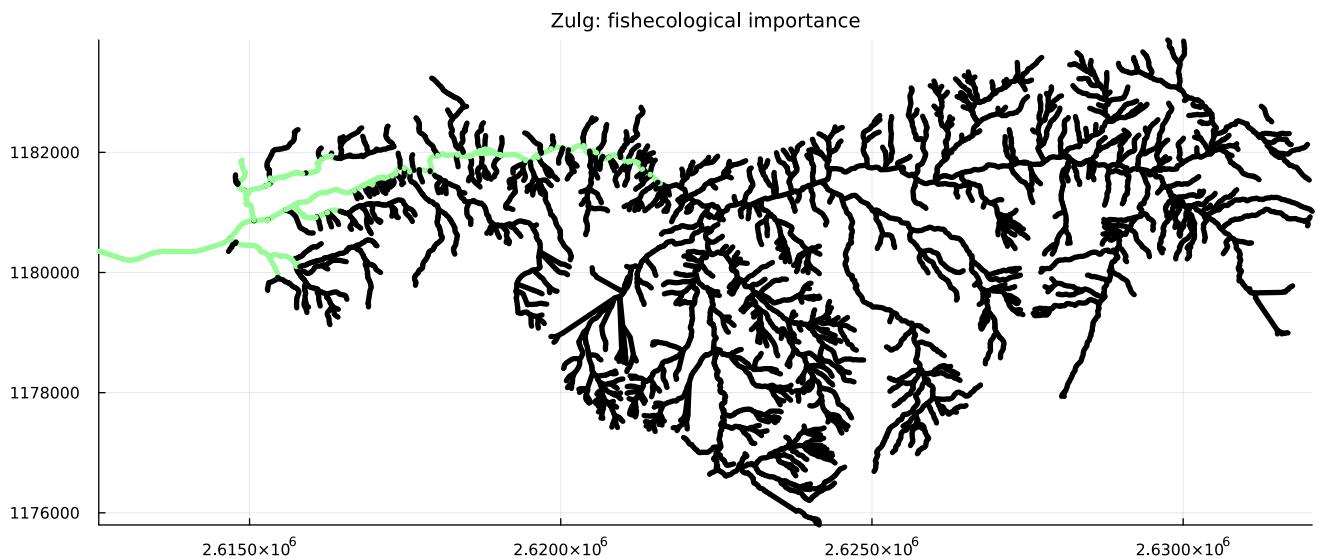


Abbildung A1.35: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Zulg enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Beginn von Kapitel A1.3. Da die Zulg keine Auen von nationaler Bedeutung enthält weist sie eine positive Bewertung in der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden von der Mündung aus erreichbaren Region auf (vergleiche mit dem oberen Teil der Abbildung A1.37).

#### A1.3.1.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.36 und A1.37 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand.

Durch die dichte Folge von Wanderhindernissen im untersten Teil des Unterlaufs ist der Fischaufstieg vollständig unterbunden. Demgegenüber gibt es im Oberlauf grössere zusammenhängende Regionen. Dies widerspiegelt sich in den Berwertungen in Abbildung A1.38: Die Erreichbarkeit von der Mündung ist sowohl für Salmoniden als auch für nicht-Salmoniden im schlechtestmöglichen Zustand, während die grösseren zusammenhängenden Regionen im Oberlauf zu einer etwas besseren Bewertung für die Habitatgrösse unabhängig von der Erreichbarkeit führen.

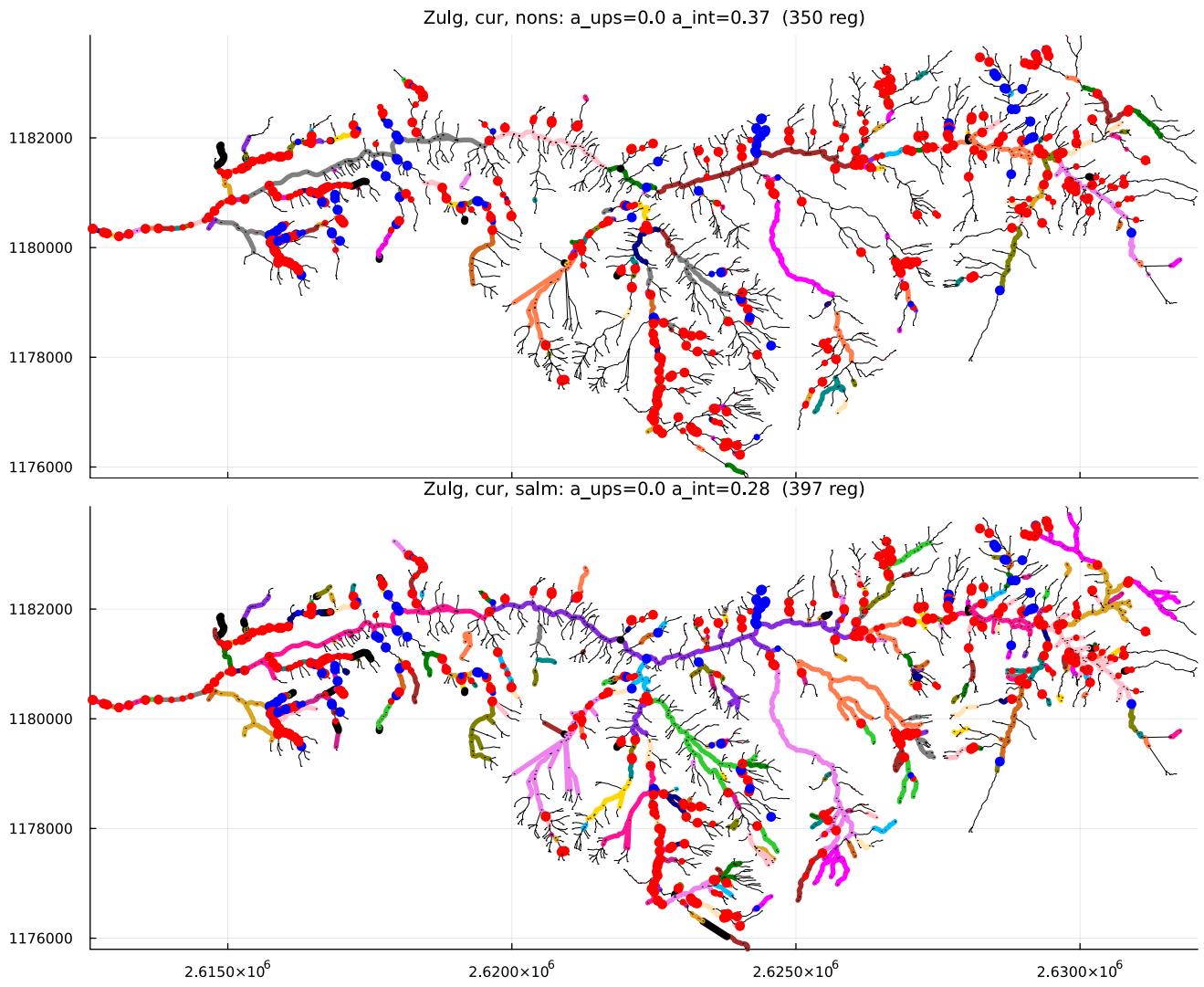


Abbildung A1.36: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

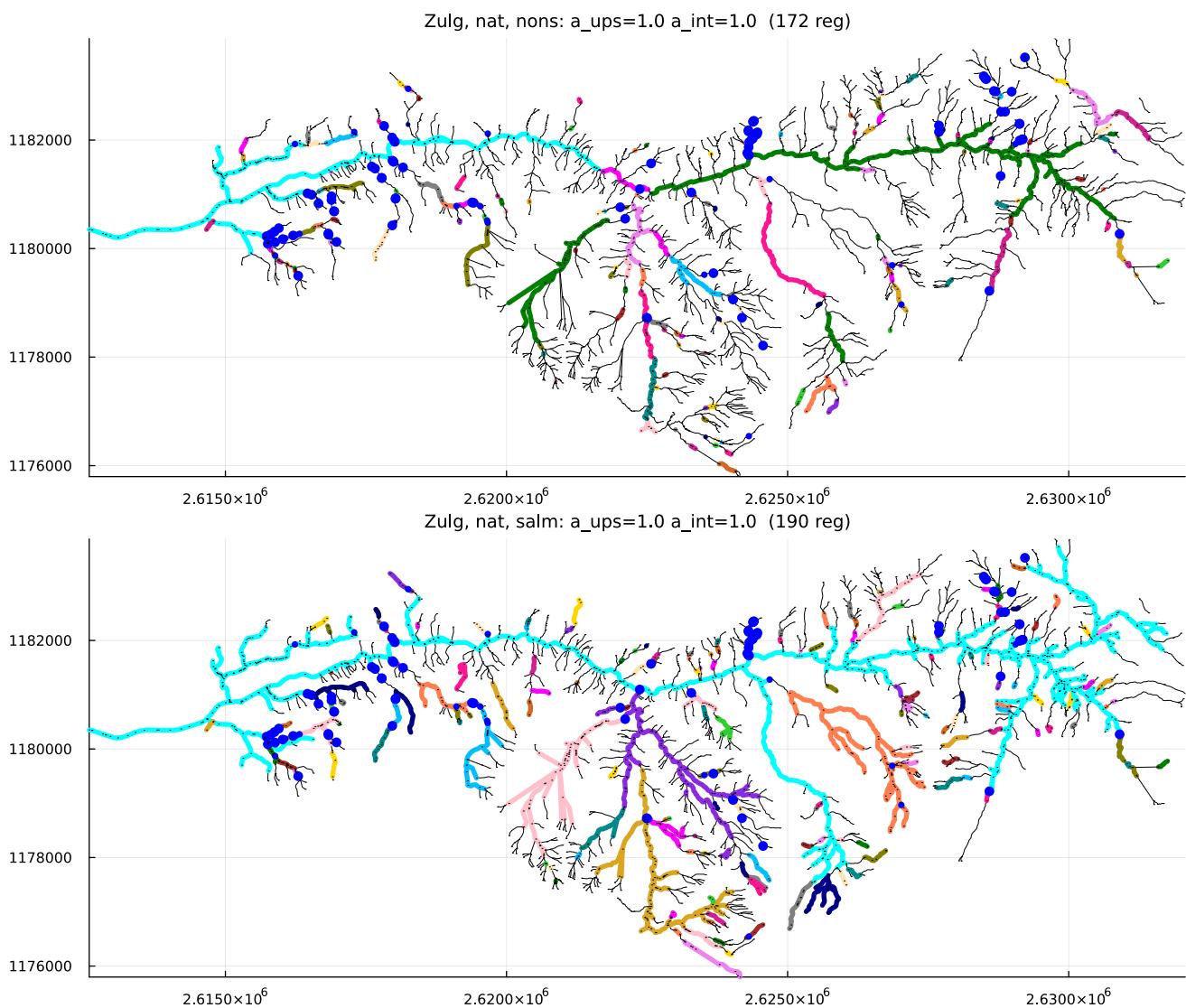


Abbildung A1.37: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.38 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie.

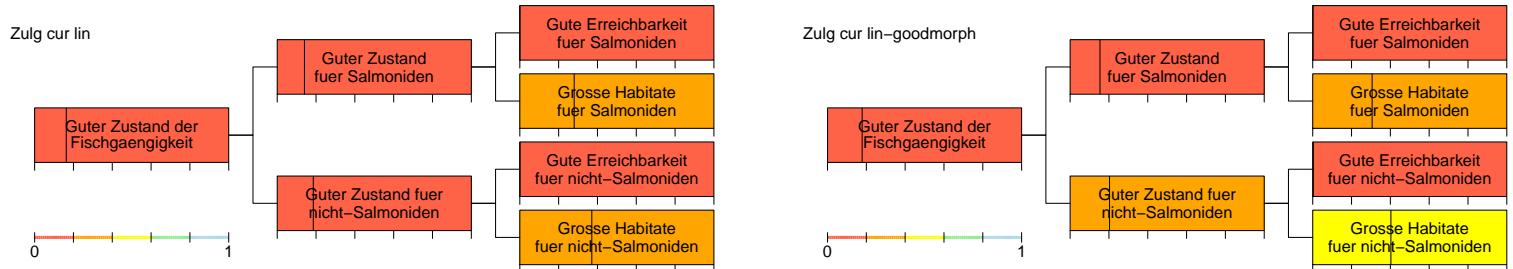


Abbildung A1.38: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

### A1.3.1.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.3 gibt einen

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	21	0 m	2.0 MCHF	Anschluss des Unterlaufs der Zulg an die Mündung
2	22	0 m	2.1 MCHF	Erweiterung der Variante 1
3	24	0 m	2.1 MCHF	Anschluss des untersten rechtseitigen Nebenbachs für nicht-Salmoniden

Tabelle A1.3: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Zulg.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.39 bis A1.44 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.3 gelisteten Varianten. Es zeigt sich, dass wenn die Hindernisse im Unterlauf fischgängig gemacht wurden, mit relativ geringen Kosten weitere Verbesserungen möglich sind. Dies ist eine Konsequenz aus den relative grossen zusammenhängenden Regionen im Oberlauf, wie sie in Abbildung A1.36 ersichtlich sind. Die relativ grosse Verbesserung, die mit den Varianten 2 und 3 erreicht werden kann, ist auch dem guten morphologischen Zustand vieler Flussabschnitte zu verdanken.

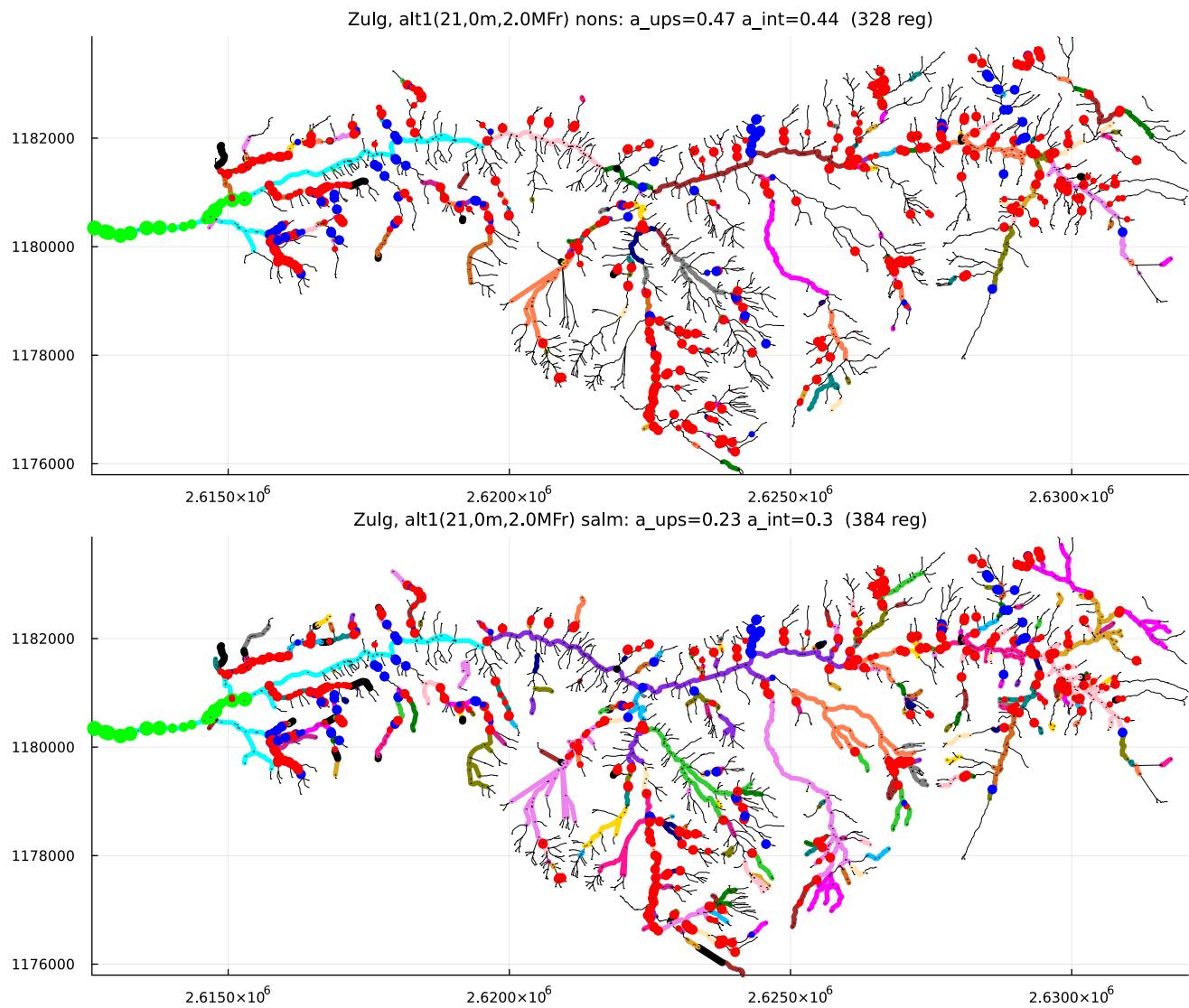


Abbildung A1.39: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.36 beschrieben.

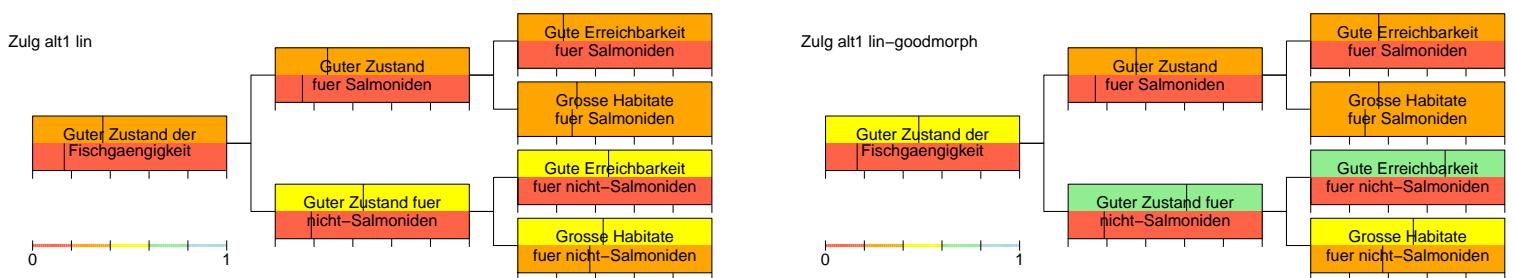


Abbildung A1.40: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälften der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.38 für eine Erklärung der Linien und Farben.

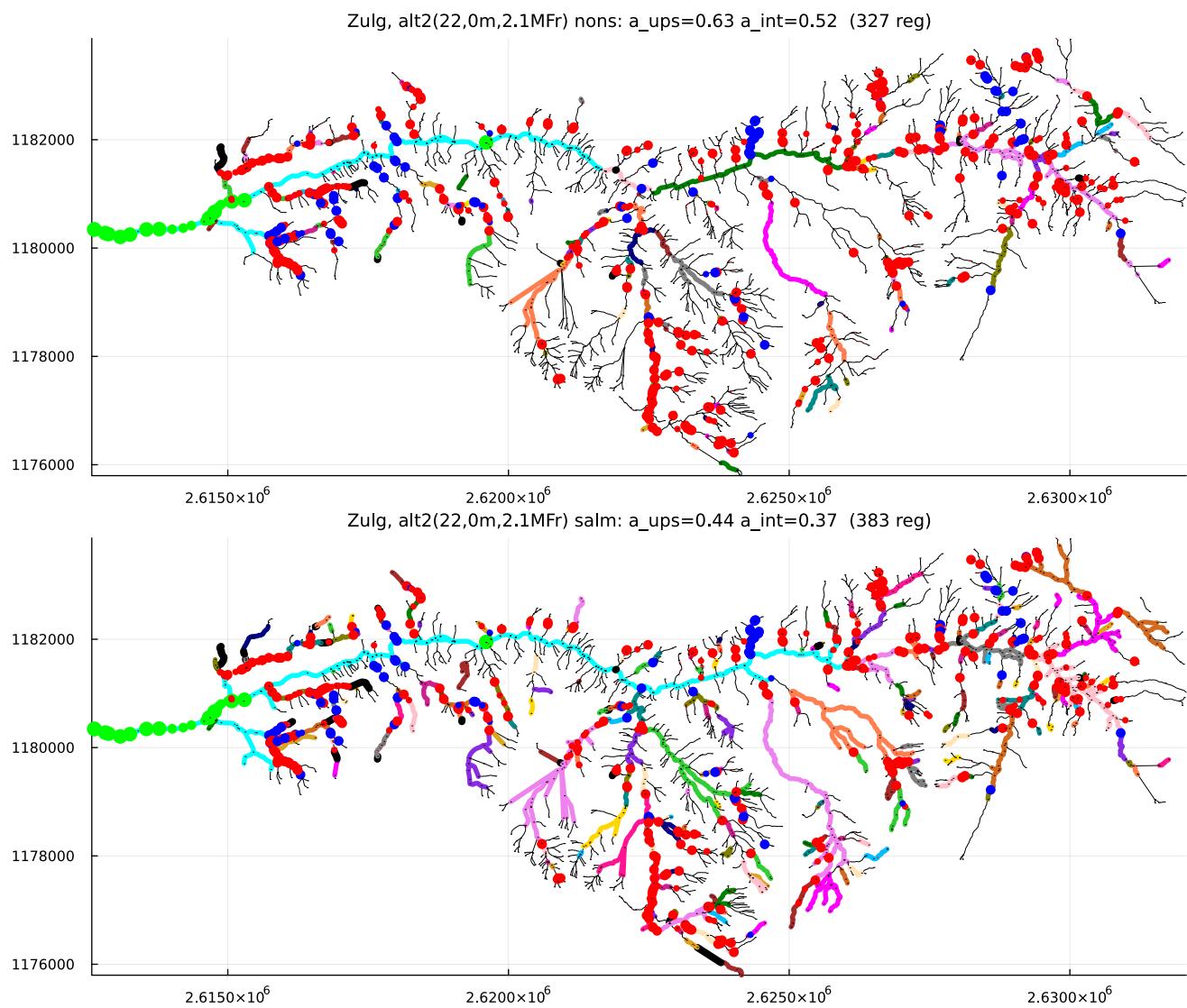


Abbildung A1.41: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.36 beschrieben.

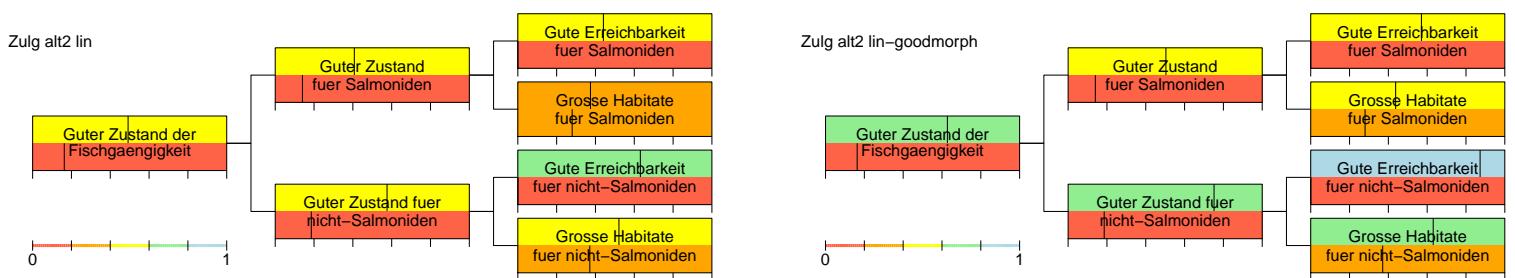


Abbildung A1.42: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälften der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.38 für eine Erklärung der Linien und Farben.

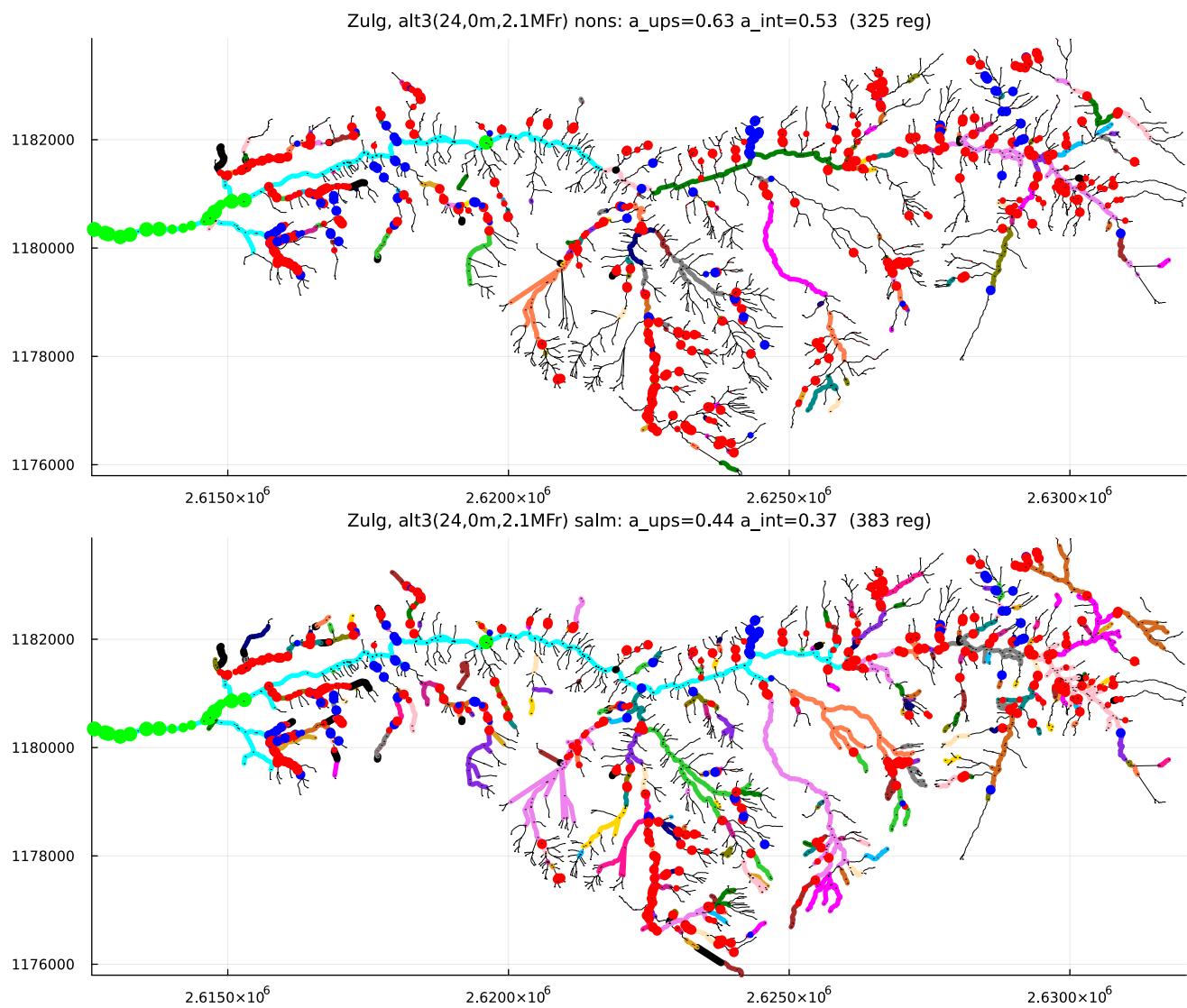


Abbildung A1.43: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.36 beschrieben.

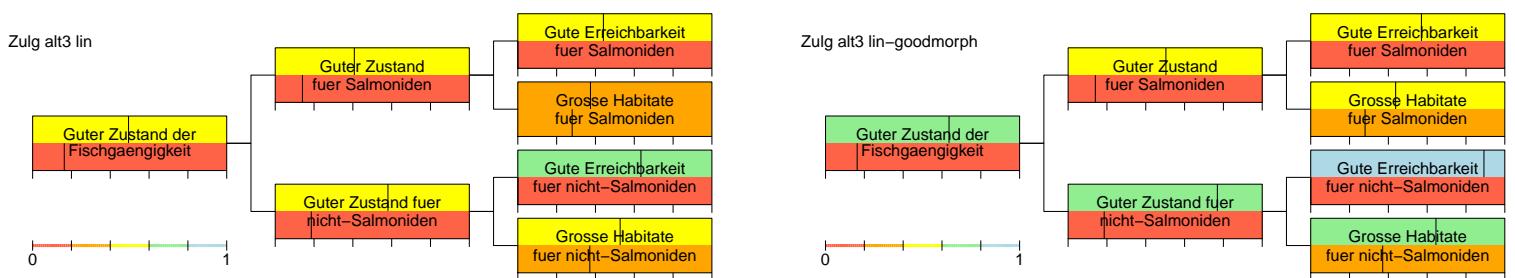


Abbildung A1.44: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.38 für eine Erklärung der Linien und Farben.

### A1.3.1.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.45 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Wie schon im vorherigen Abschnitt vermerkt, kann man bei der Zulg nach der Elimination der

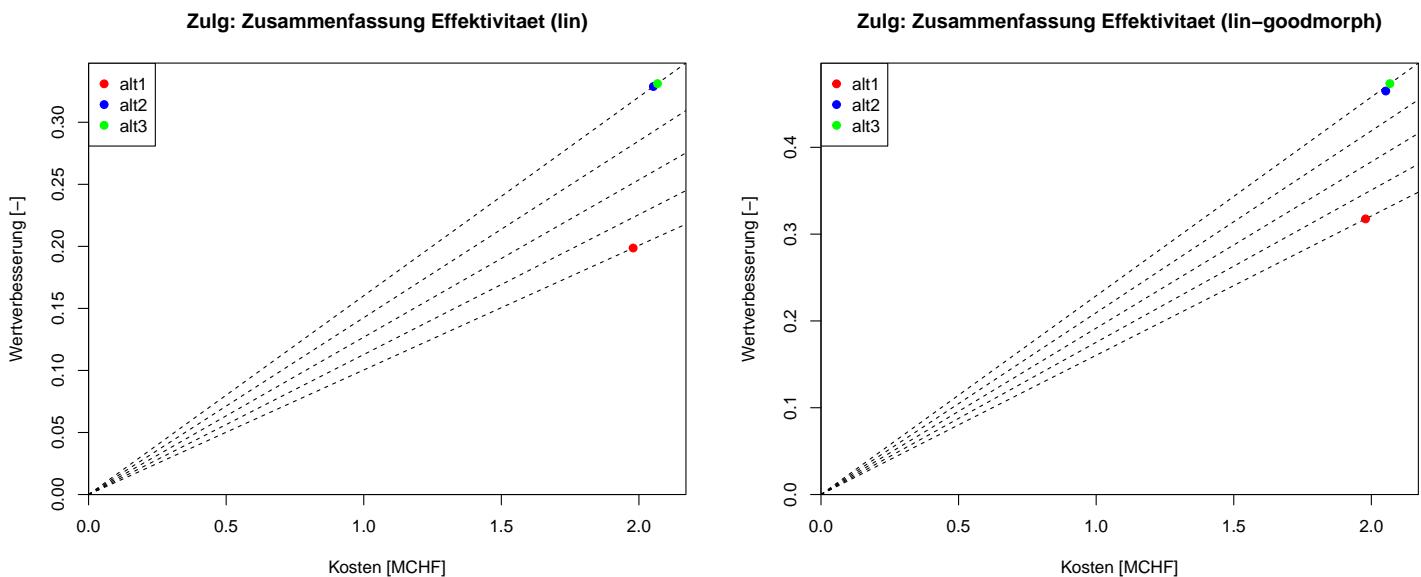


Abbildung A1.45: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

Hindernisse im Unterlauf relativ kostengünstig relativ viel erreichen. Die Varianten 2 und 3 zeigen deshalb eine bessere Effektivität als die Variante 1, die aber in diesen enthalten ist.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.46 die analogen Resultate zur Abbildung A1.45, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung nur einen sehr geringen Einfluss auf die in Abbildung A1.45 gezeigten Resultate hat.

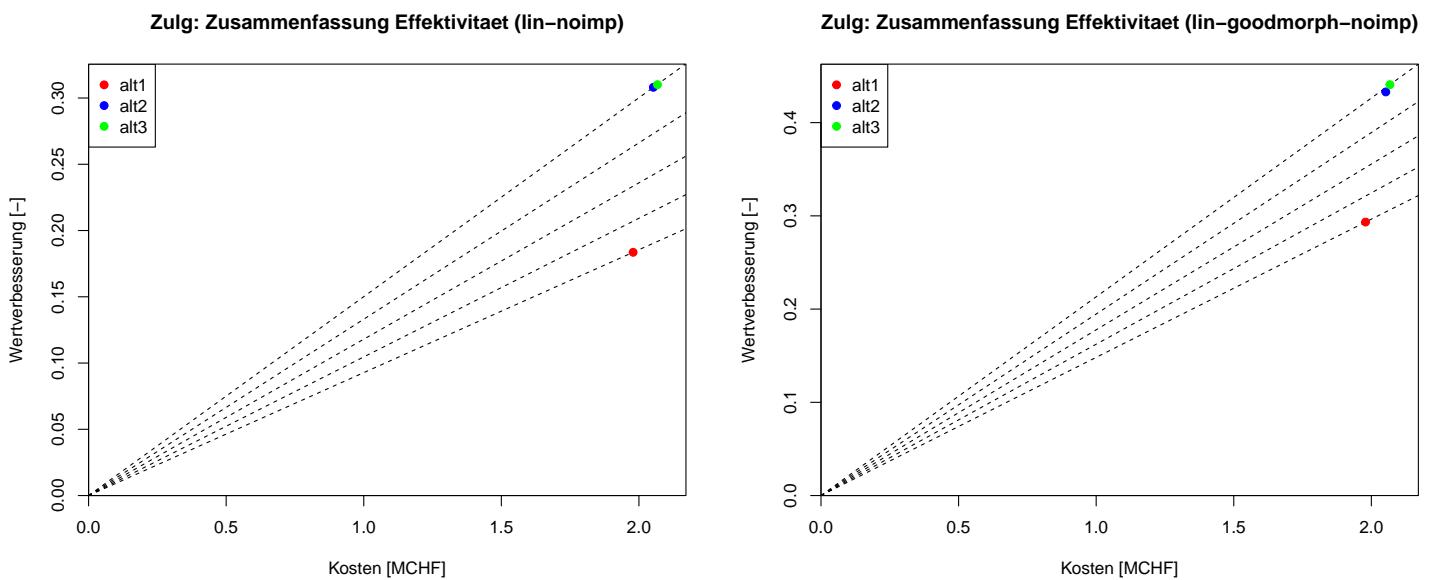


Abbildung A1.46: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.45 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

### **A1.3.2 Glütschbach**

Der Glütschbach ist der erste wesentliche linksseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees. Im Mittel- und Unterlauf fliesst er im ehemaligen Kandertal, welches wegen der Kanderkorrektion von 1714 (Ableitung der Kander in den Thunersee, siehe auch Abschnitt A1.1) frei wurde. Ein Teil des Wassers, und insbesondere des Geschiebes, wird in die Kander abgeleitet.

#### **A1.3.2.1 Einzugsgebiet**

Die Abbildung A1.47 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen des Glütschbachs. Das Einzugsgebiet des Glütschbachs umfasst ca. 55 km<sup>2</sup> und der Fluss erreicht die Flussordnung 5.

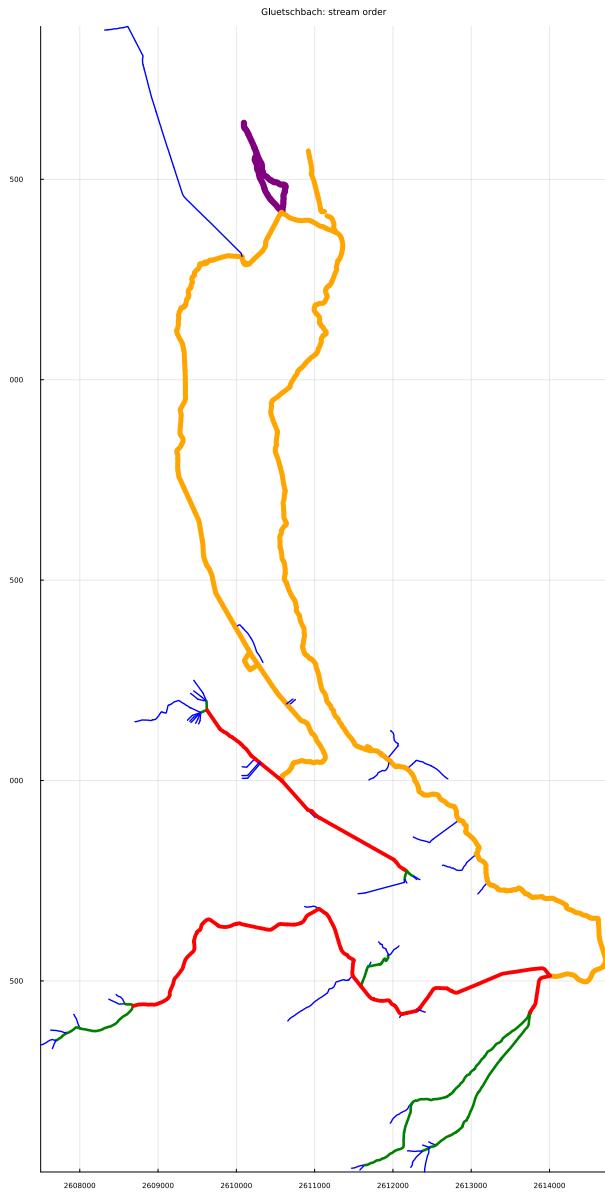


Abbildung A1.47: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

### **A1.3.2.2 Ökomorphologie**

Die Abbildung A1.48 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte des Glütschbachs. Insbesondere im oberen Teil des ehemaligen Kandertals, kurz nach der Teil-Ausleitung in die Kander, ist er in einem sehr guten morphologischen Zustand.

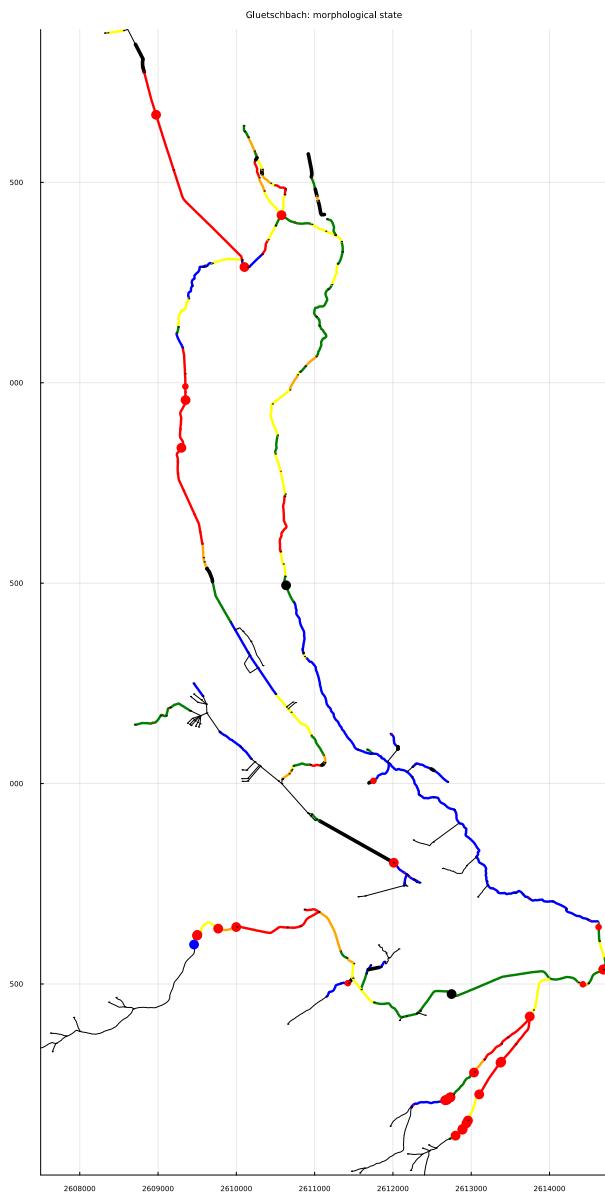


Abbildung A1.48: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

### **A1.3.2.3 Fischökologische Bedeutung**

Die Abbildung A1.49 zeigt die für diese Analyse verwendet Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe Beginn von Kapitel A1.3. Da der Abschnitt mit der negativen Bewertung gleichzeitig zu der unter naturnahen Bedingungen von der Mündung her erreichbaren Region befindet (siehe Abbildung A1.51, links), ergeben sich in der Abbildung A1.49 keine roten Bereiche, sondern der rechte Ast des Flusses wird schwarz anstatt grün, da sich der negative und der positive Effekt kompensieren.

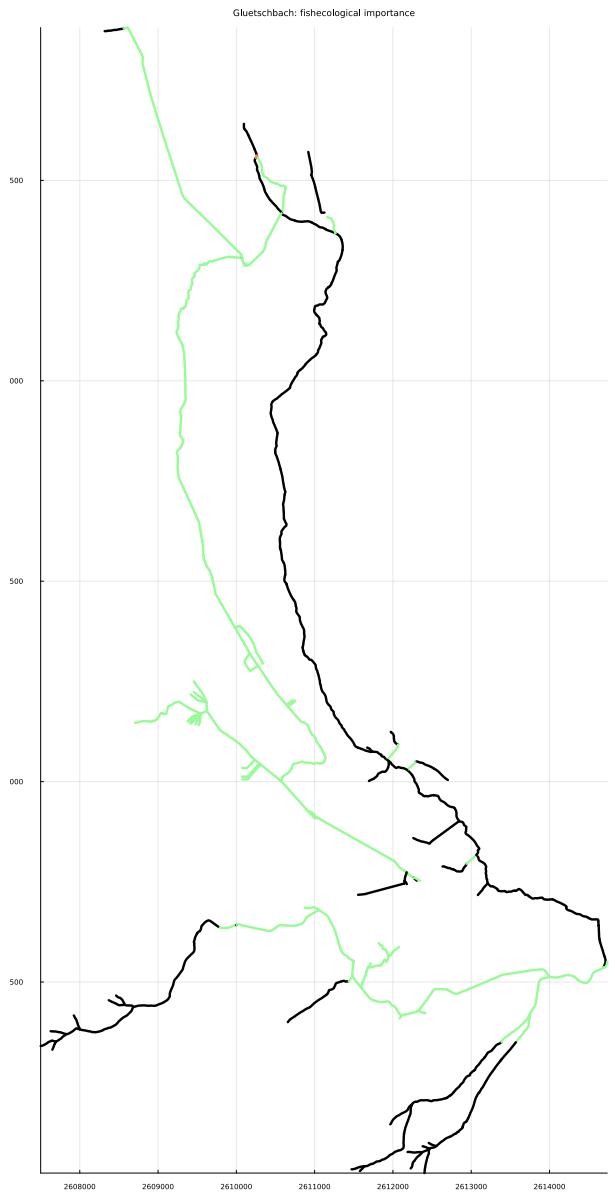


Abbildung A1.49: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Der Glütschbach enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

#### **A1.3.2.4 Aktueller und naturnaher Zustand**

Die Abbildungen A1.50 und A1.51 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand.

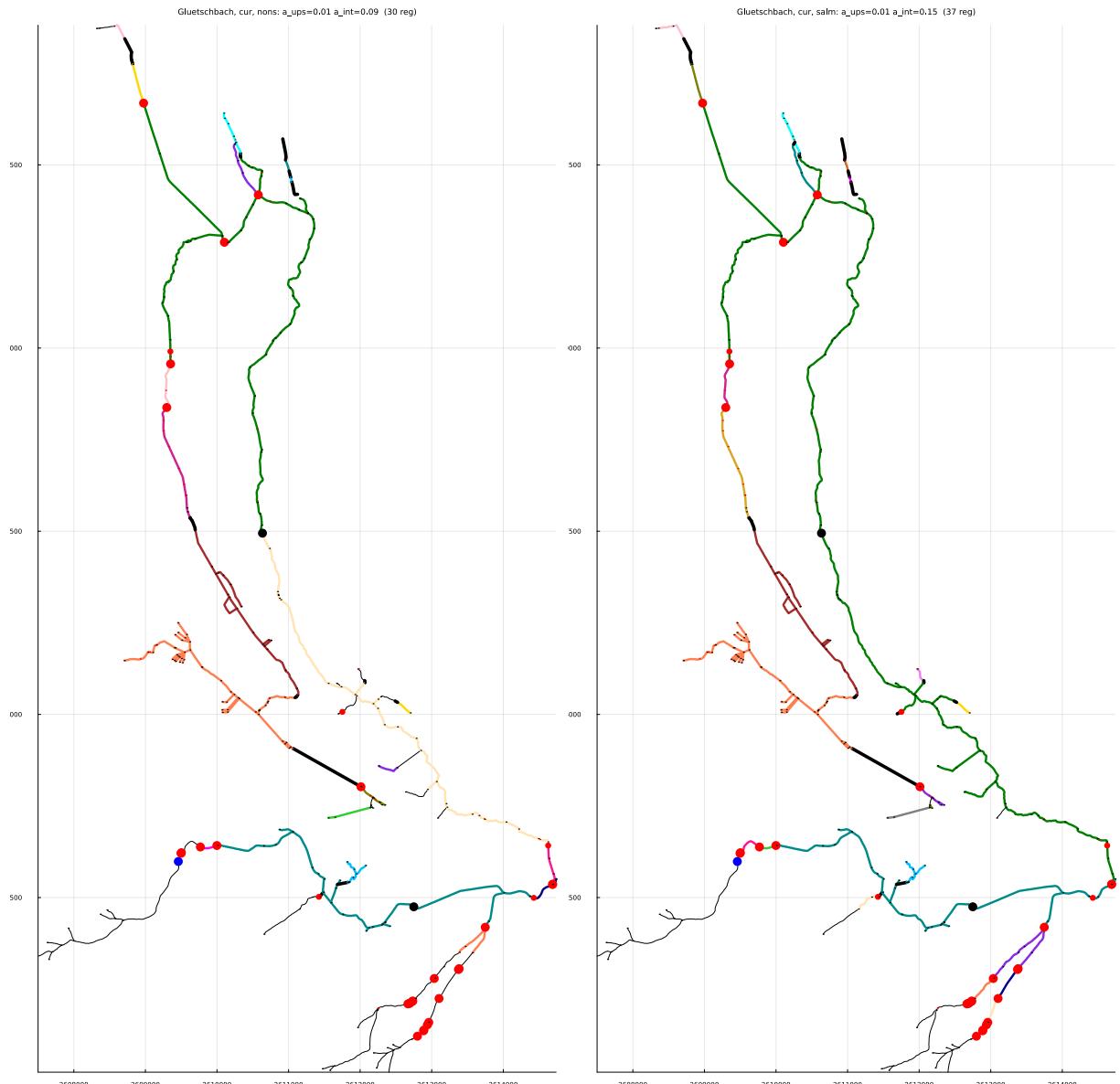


Abbildung A1.50: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

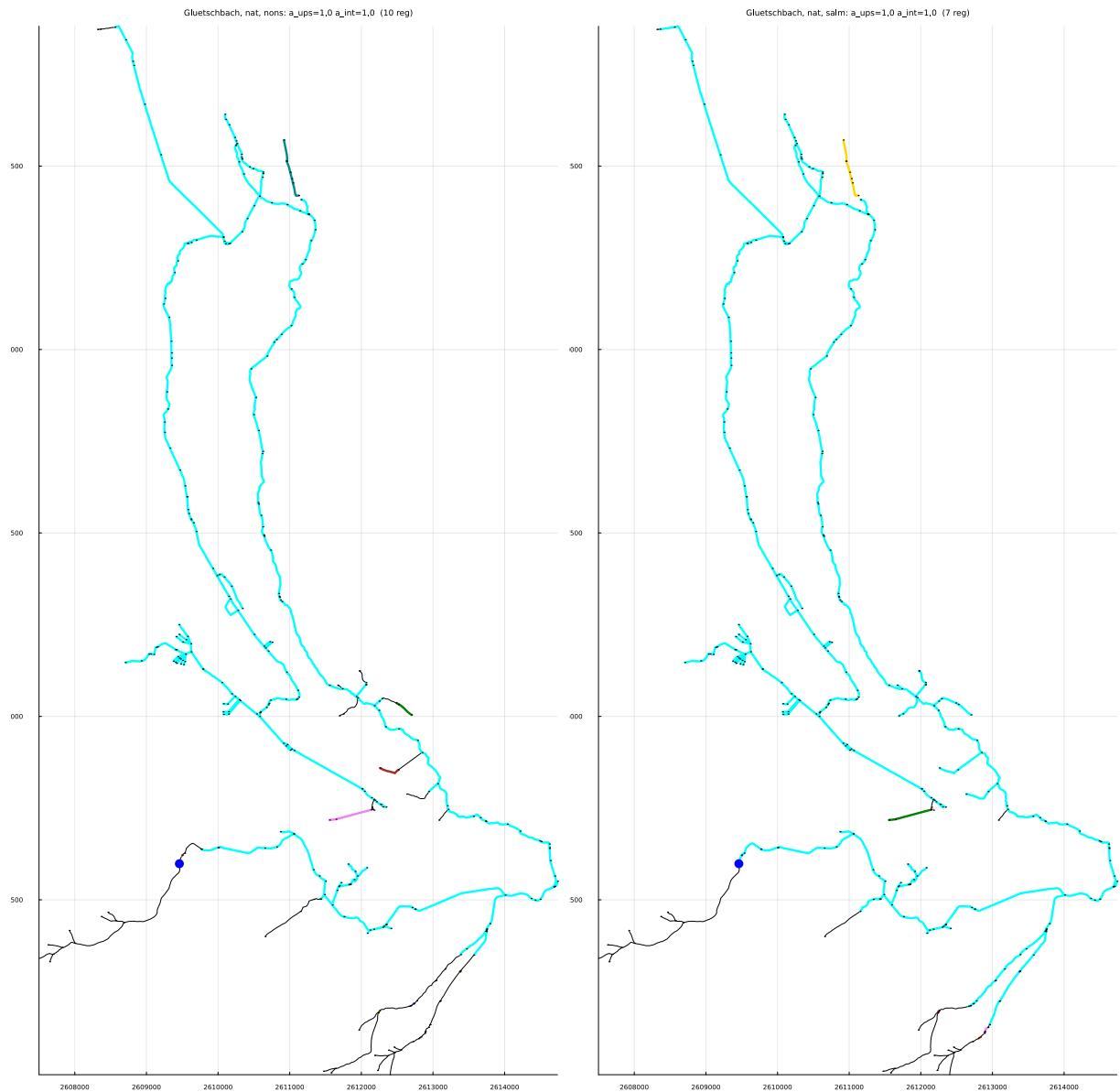


Abbildung A1.51: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.52 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Aufgrund der starken Fragmentierung durch künstliche Hindernisse ist die Bewertung sehr schlecht.

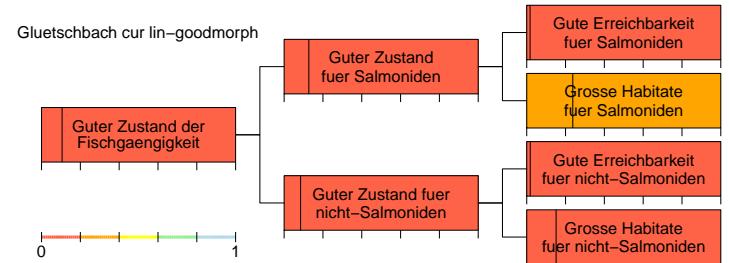
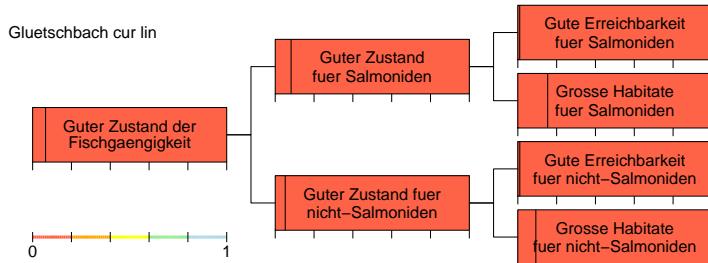


Abbildung A1.52: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

### A1.3.2.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.4 gibt einen

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	0	60 m	0.1 MCHF	Anschluss des Mittellaufs des Glütschbachs an die Mündung
2	1	60 m	0.2 MCHF	Erweiterung der Variante 1 auf den Oberlauf
3	5	60 m	0.3 MCHF	Erweiterung der Variante 2 auf den Oberlauf
4	8	60 m	0.3 MCHF	Erweiterung der Variante 3 auf den Oberlauf
5	8	250 m	0.7 MCHF	Erweiterung der Variante 4 auf den wichtigsten Nebenbach
6	8	300 m	0.8 MCHF	Weitere Erweiterung der Variante 5 auf den Oberlauf des Nebenbachs

Tabelle A1.4: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für den Glütschbach.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.53 bis A1.64 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.4 gelisteten Varianten. Die grossen Unterschiede in den Bewertungen der Varianten 3 - 6 für den aktuellen und einen sehr guten morphologischen Zustand (Abbildungen A1.58, A1.60, A1.62, A1.64) zeigen, dass für die Erreichung eines guten Zustandes bezüglich der Fischmigration auch die Revitalisierung der Fliessstrecken wichtig ist.

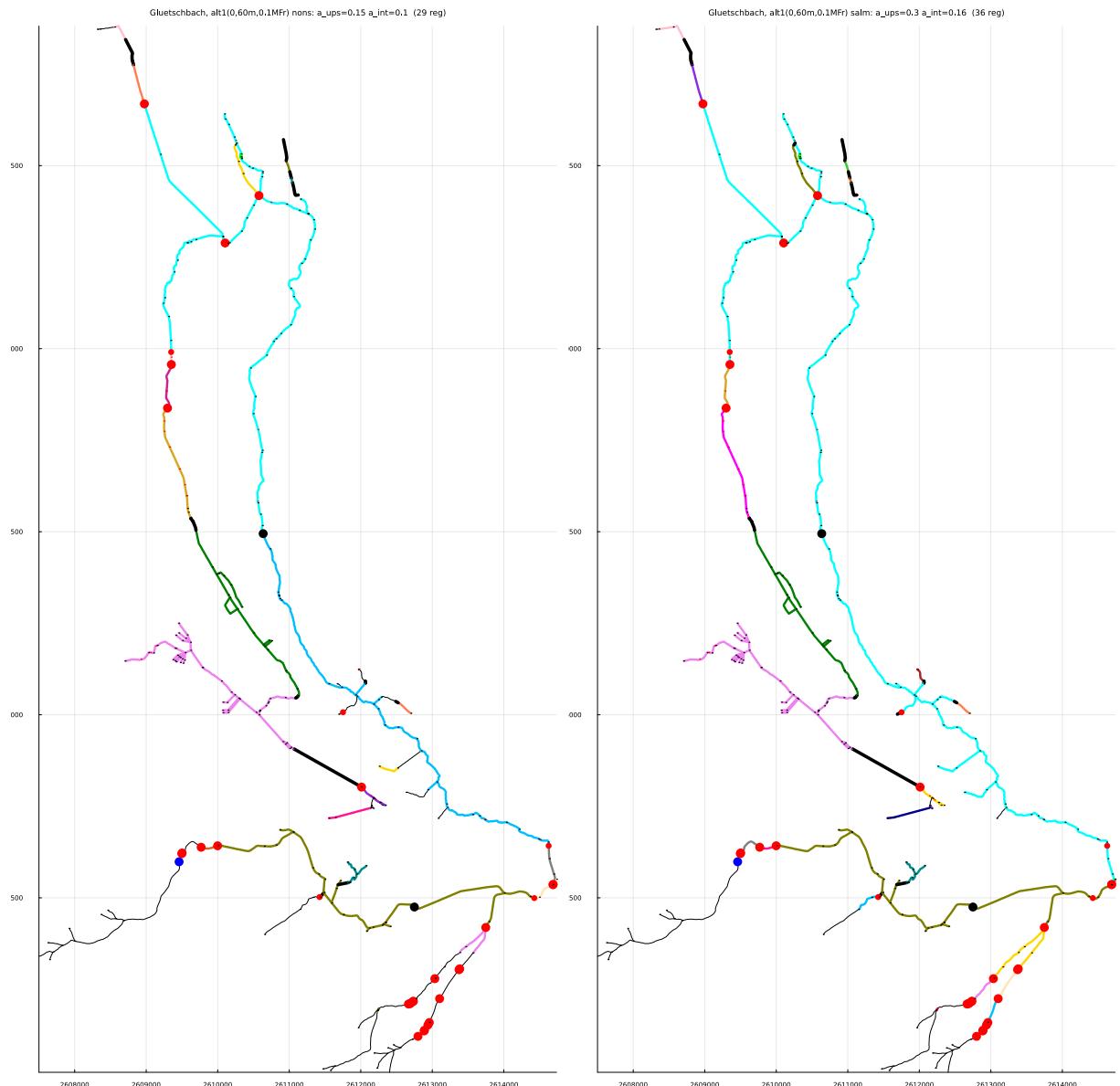


Abbildung A1.53: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

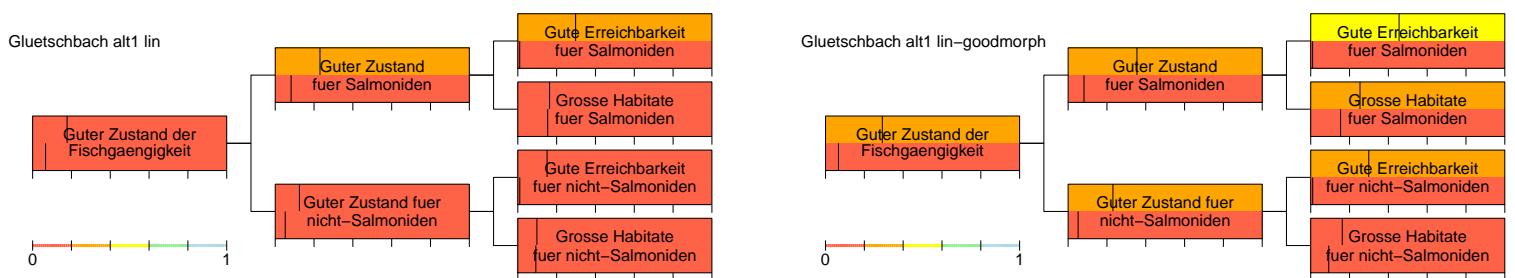


Abbildung A1.54: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

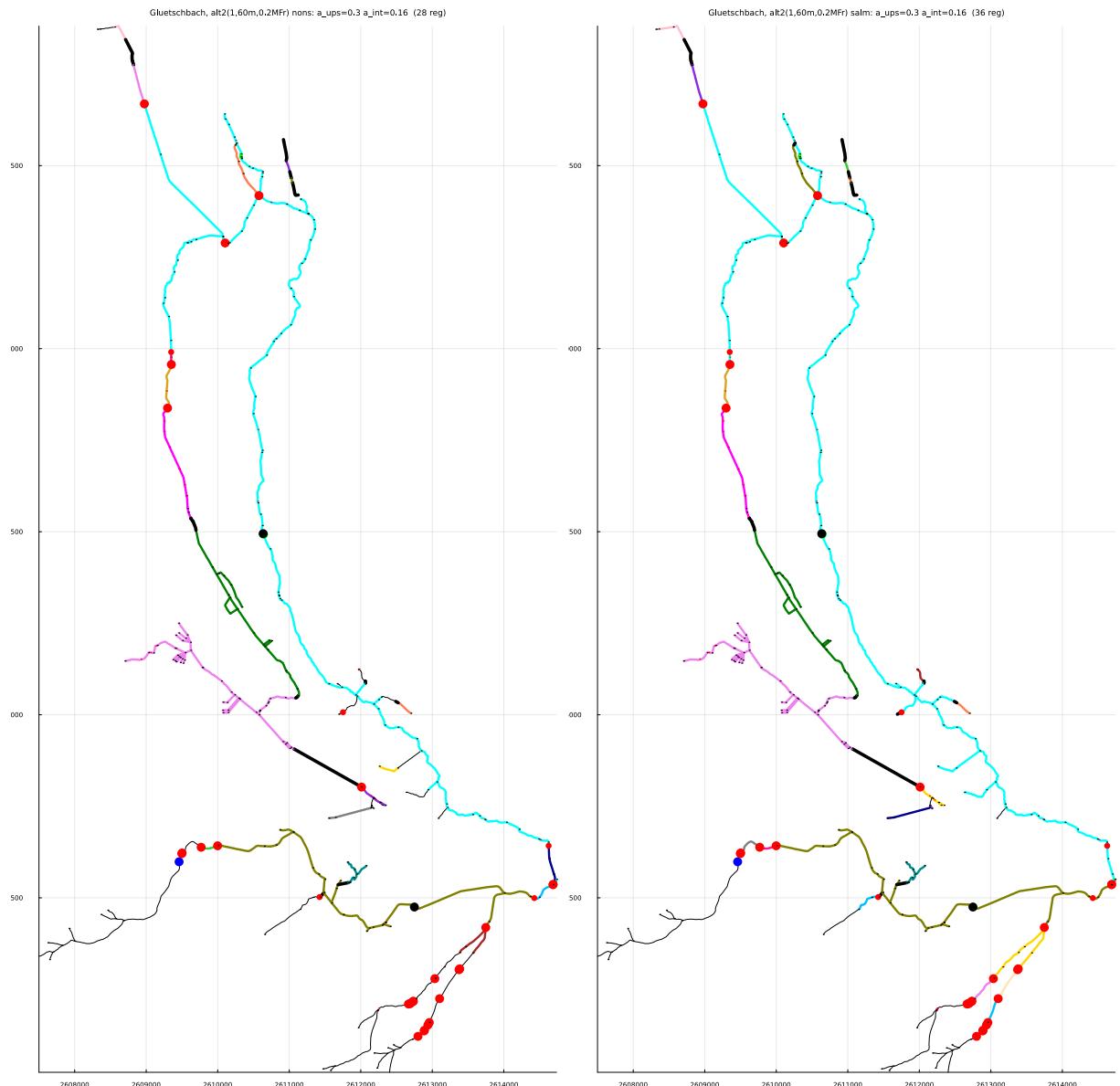


Abbildung A1.55: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

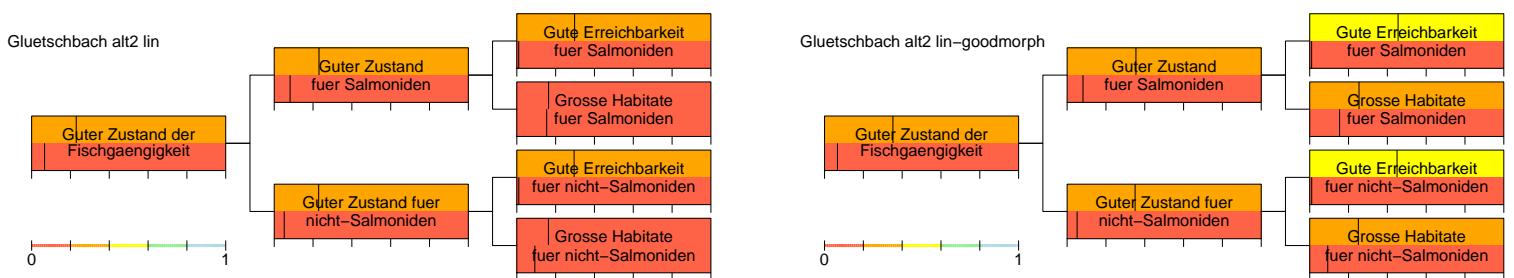


Abbildung A1.56: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

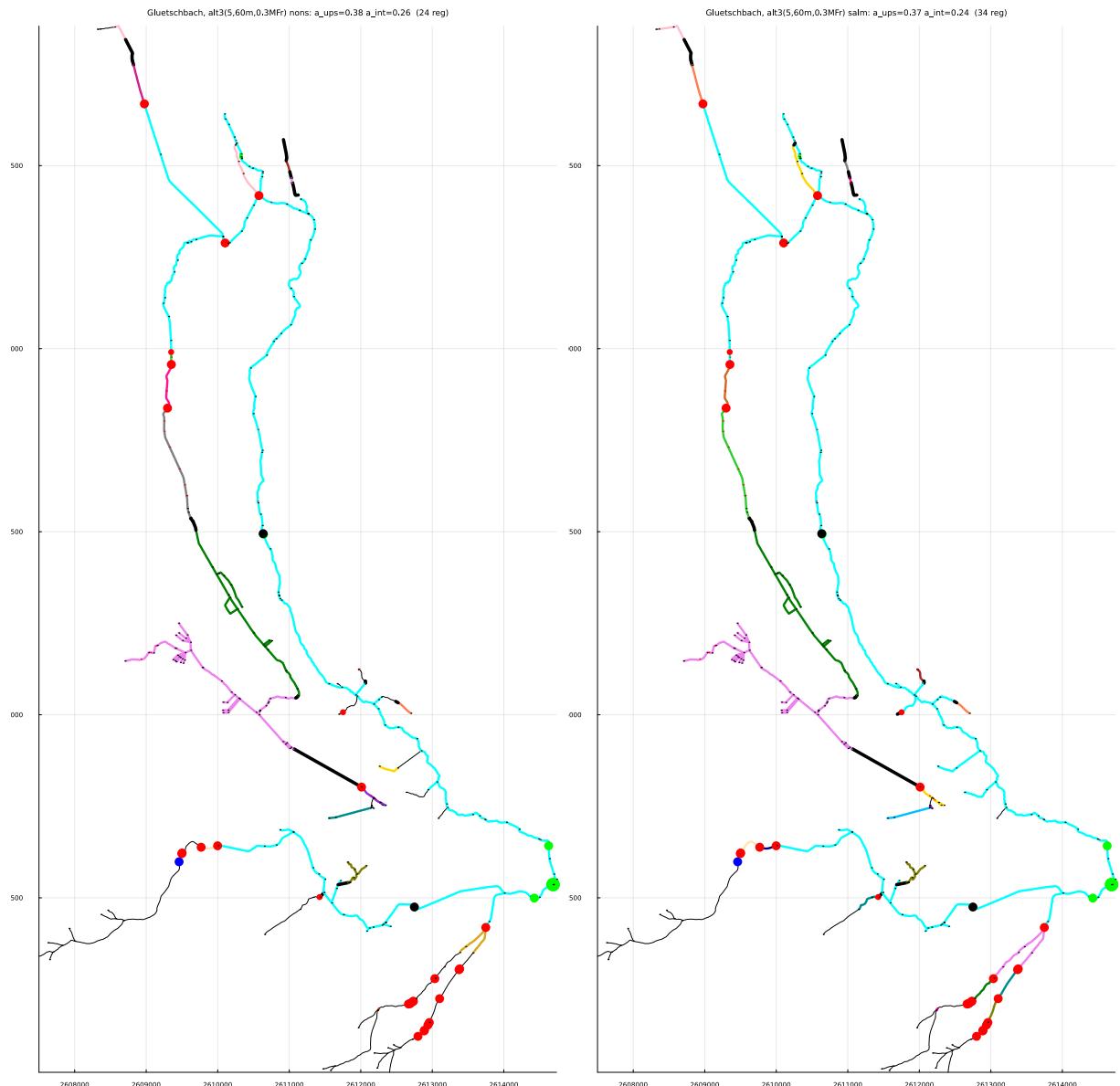


Abbildung A1.57: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

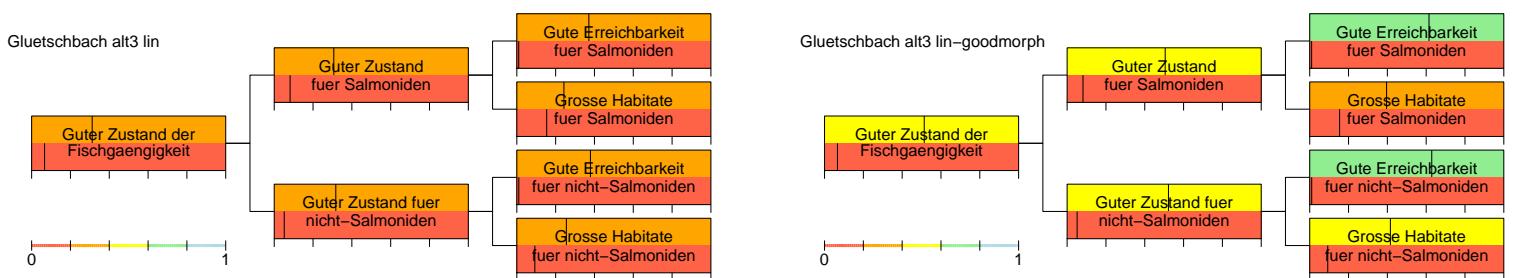


Abbildung A1.58: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

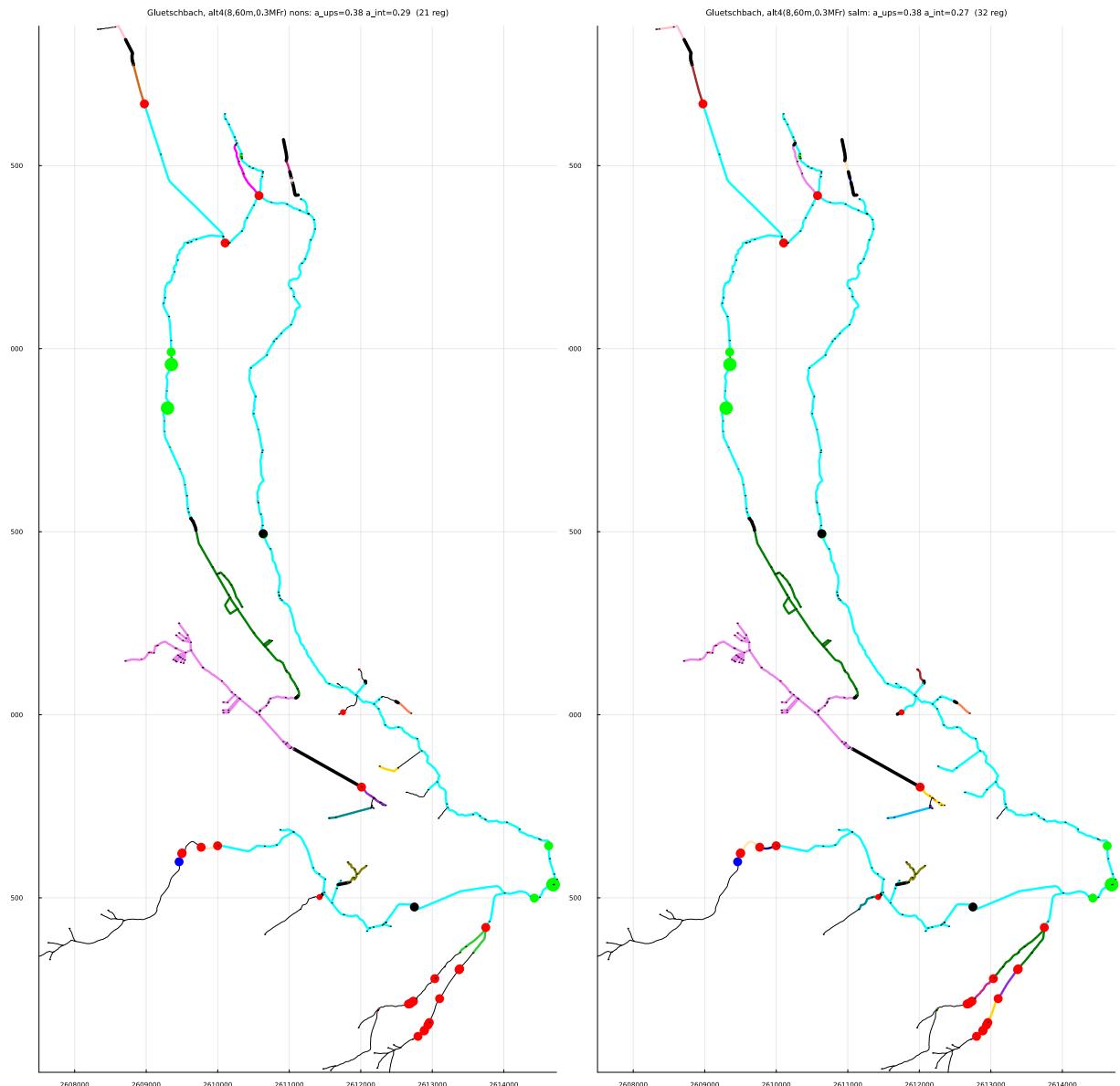


Abbildung A1.59: Variante 4. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

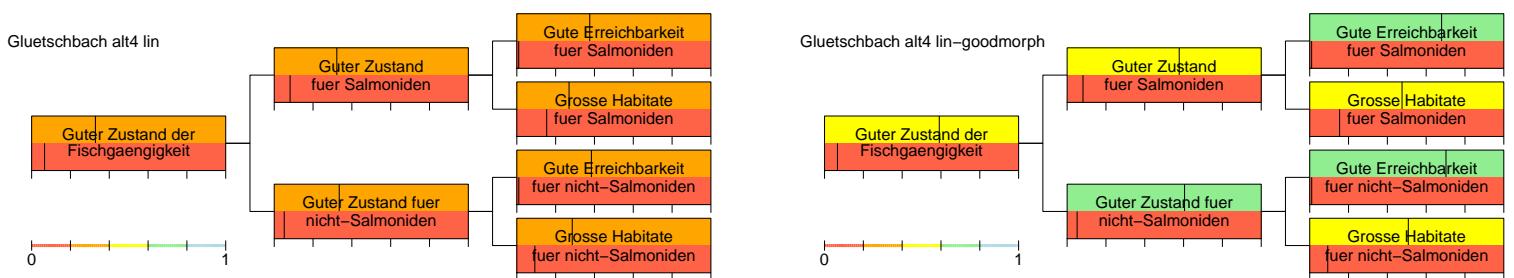


Abbildung A1.60: Vergleich der Bewertung der Variante 4 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

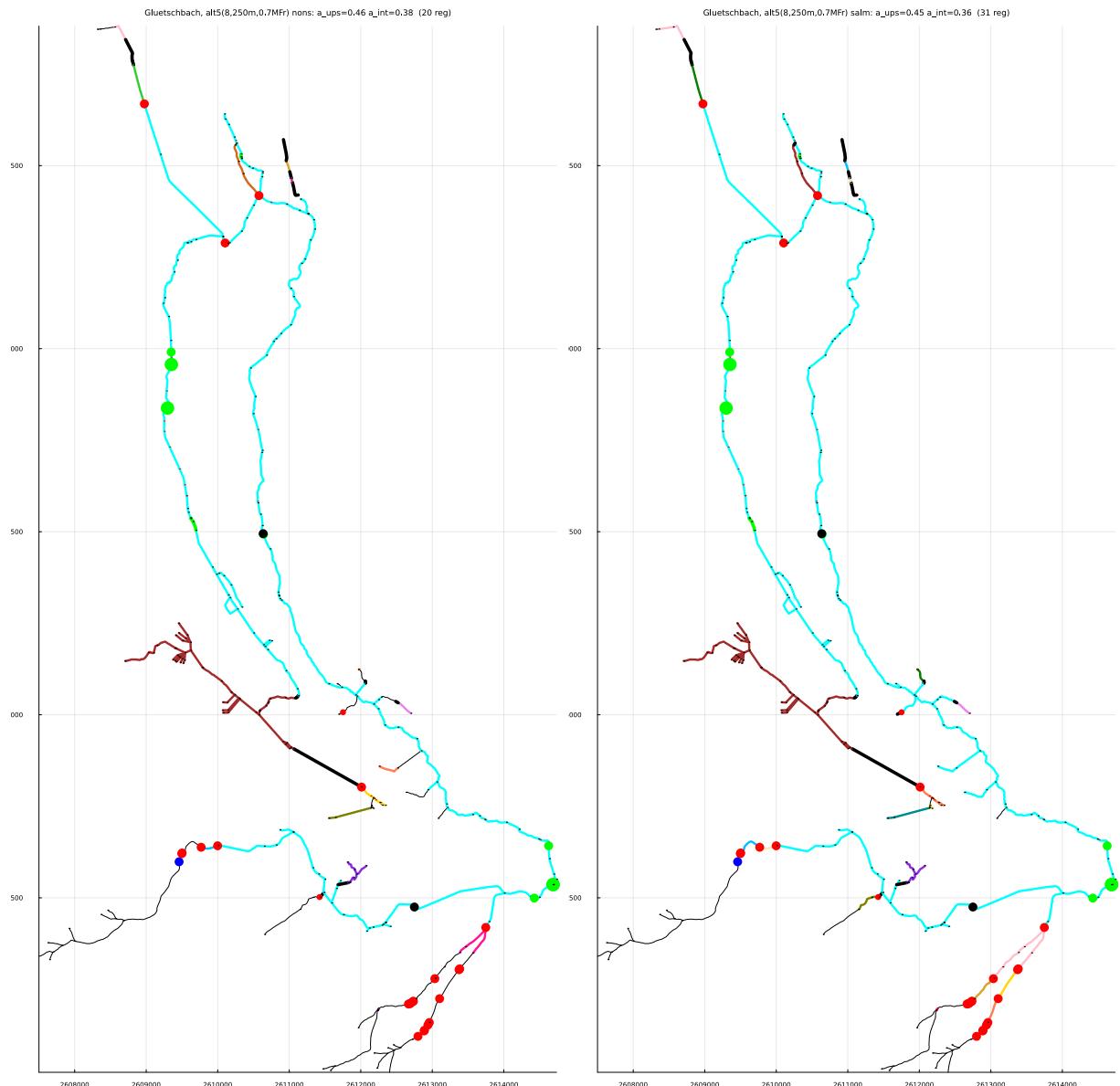


Abbildung A1.61: Variante 5. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

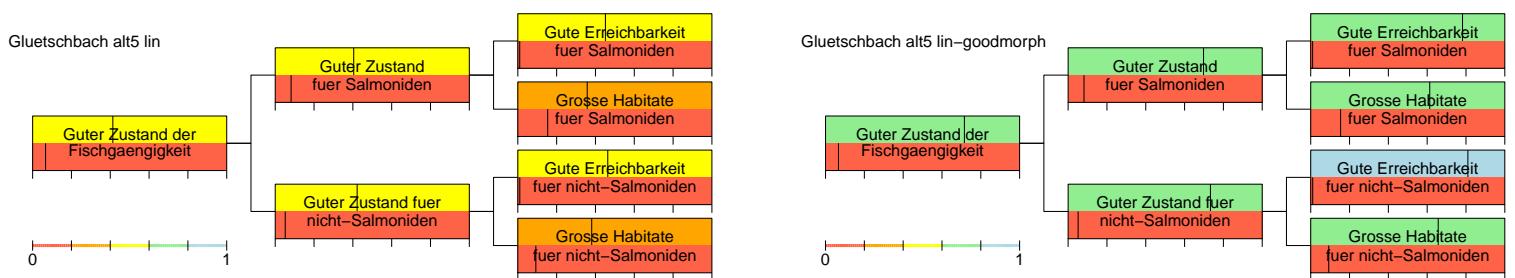


Abbildung A1.62: Vergleich der Bewertung der Variante 5 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

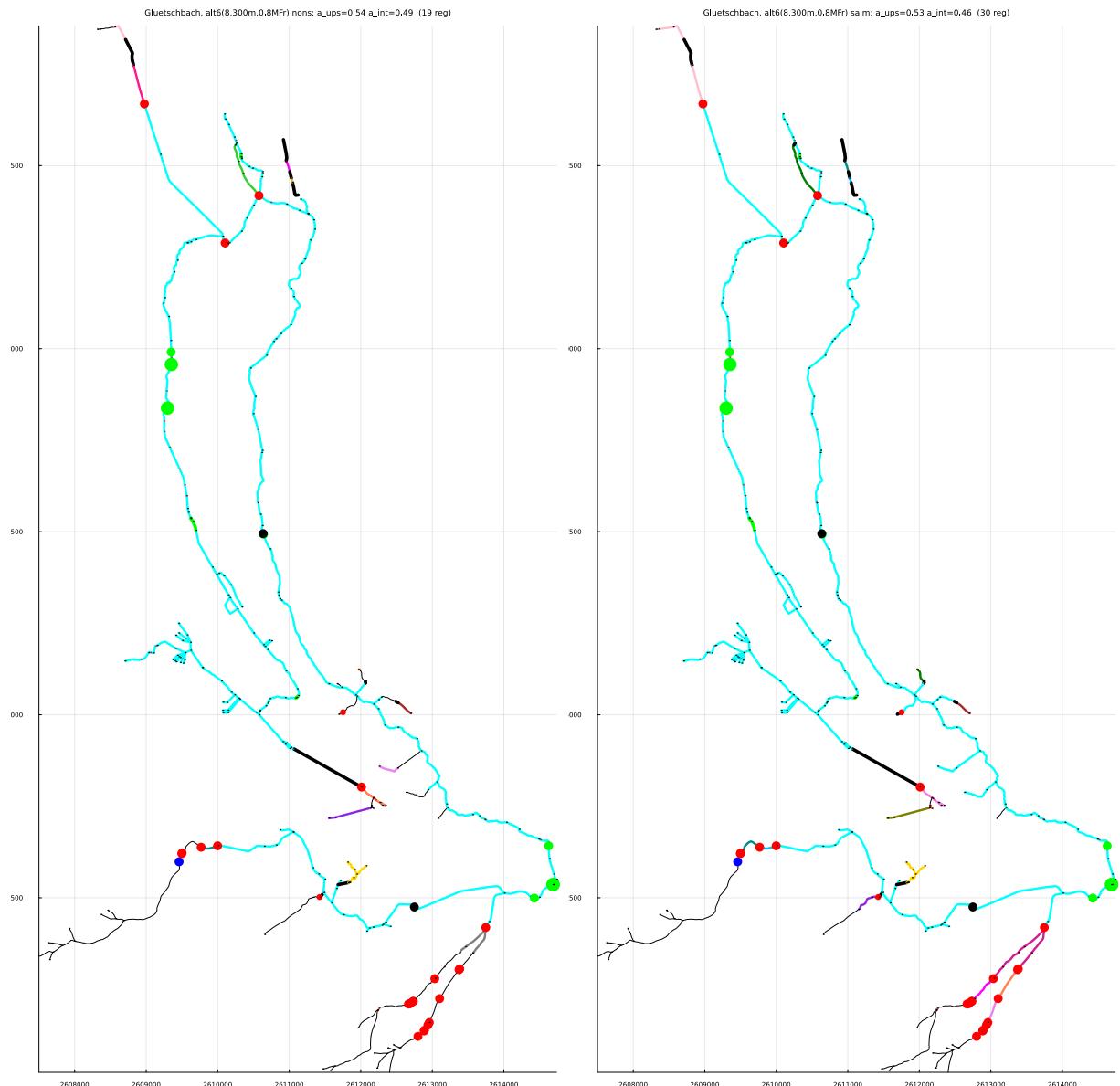


Abbildung A1.63: Variante 6. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.50 beschrieben.

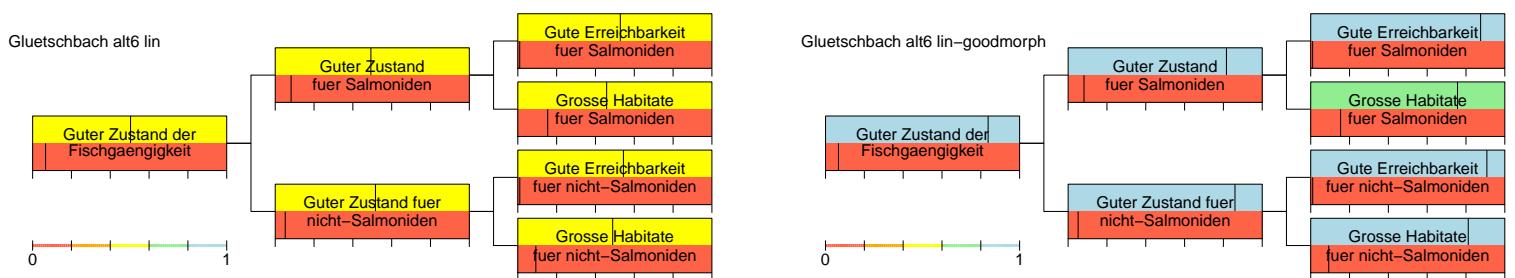


Abbildung A1.64: Vergleich der Bewertung der Variante 6 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.52 für eine Erklärung der Linien und Farben.

### A1.3.2.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.65 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Es zeigt sich, dass die Varianten 1 - 4 kosteneffektiver sind als die Varianten 5 und 6. Allerdings

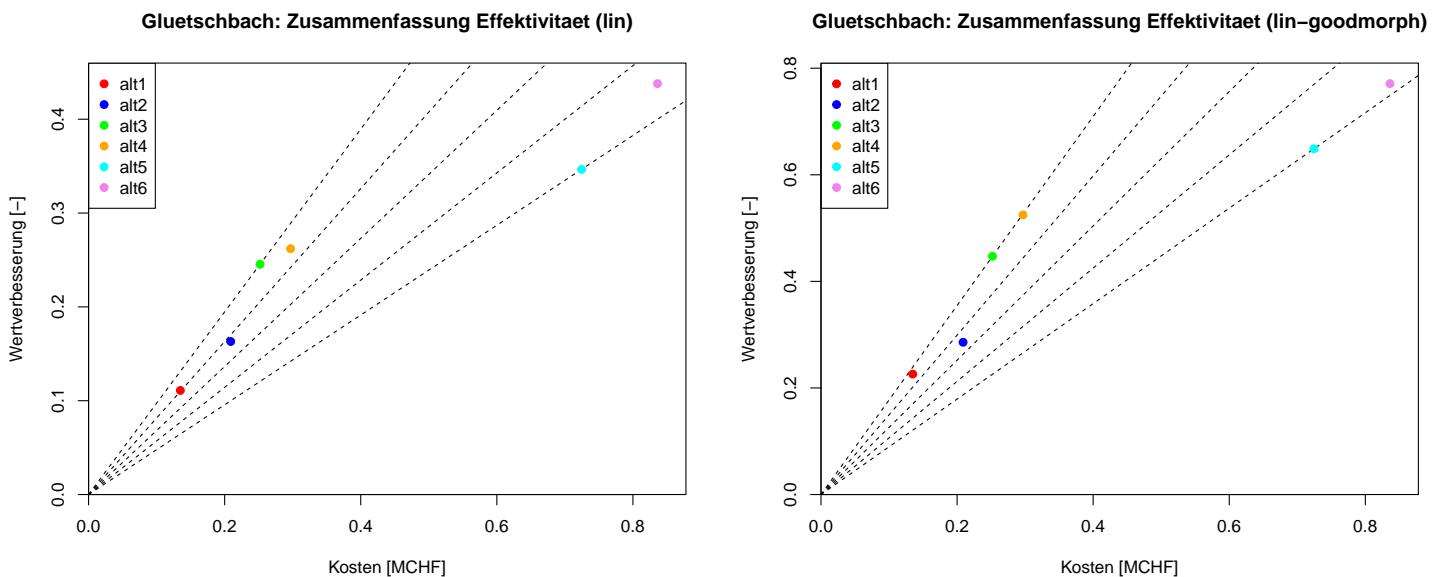


Abbildung A1.65: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

ist der Unterschied nicht so gross wie bei anderen Einzugsgebieten.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.66 die analogen Resultate zur Abbildung A1.65, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung kaum einen Einfluss auf das in Abbildung A1.65 gezeigte Resultat hat.

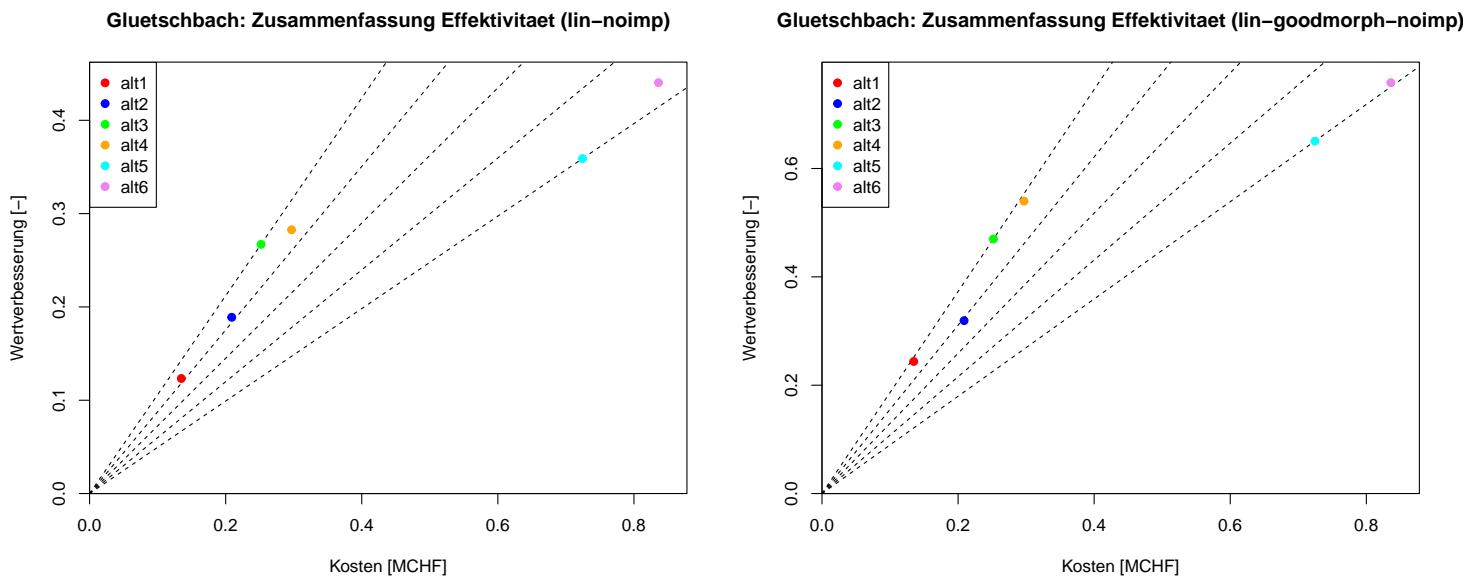


Abbildung A1.66: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.65 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

### A1.3.3 Rotache

Die Rotache ist der zweite rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees.

#### A1.3.3.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.67 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Rotache. Die Rotache

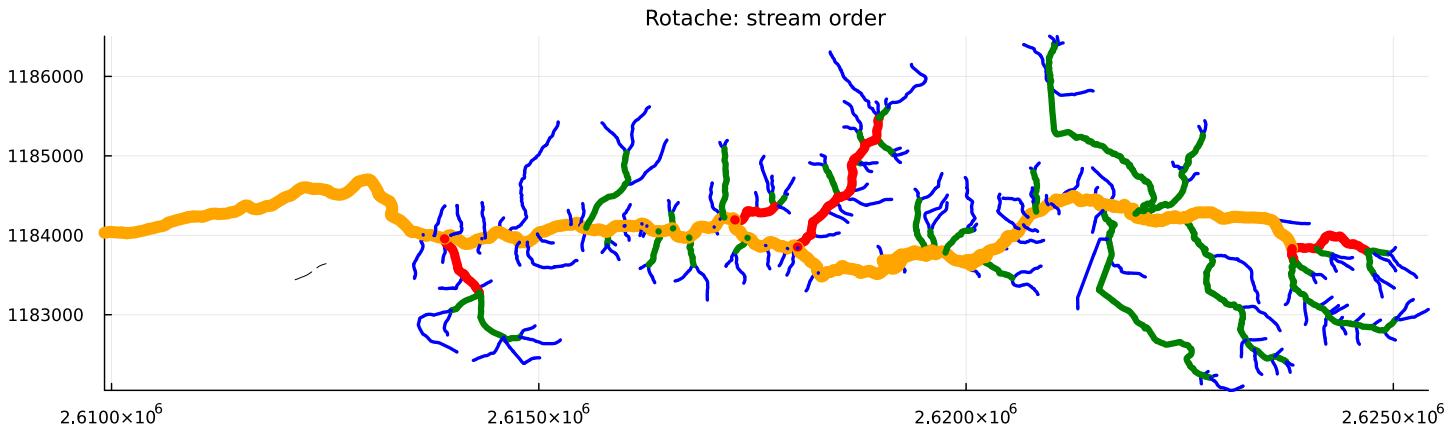


Abbildung A1.67: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

erreicht die Flussordnung 4.

#### A1.3.3.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.68 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Rotache.

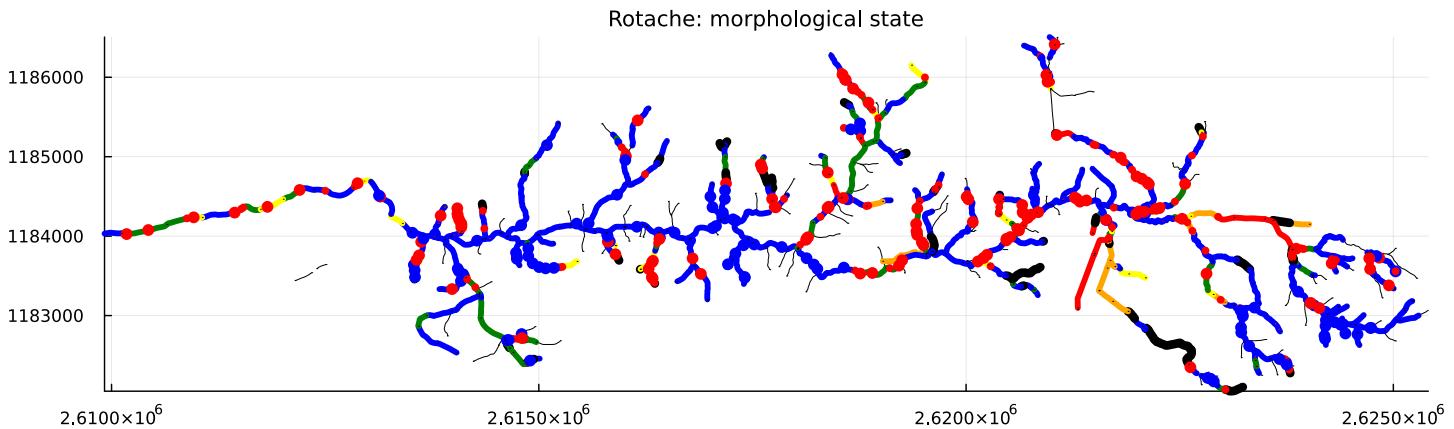


Abbildung A1.68: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

#### A1.3.3.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.69 zeigt die für diese Analyse verwendet Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe

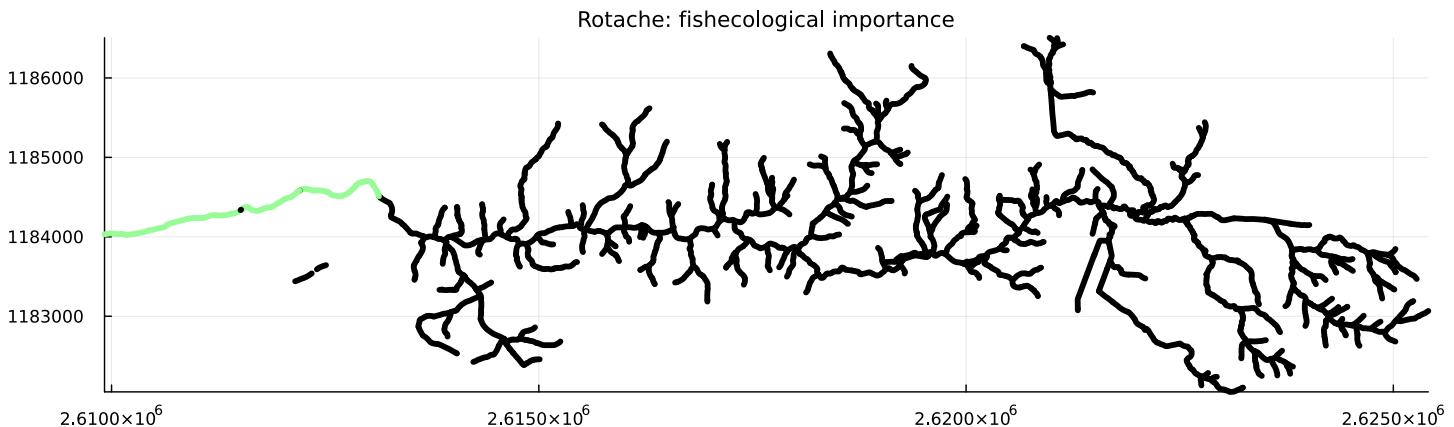


Abbildung A1.69: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Rotache enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Beginn von Kapitel A1.3. Da die Rotache keine Auen von nationaler Bedeutung enthält und weist sie ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf (vergleiche mit dem oberen Teil der Abbildung A1.71).

#### A1.3.3.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.70 und A1.71 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Die Rotache ist offenbar im Mittel-

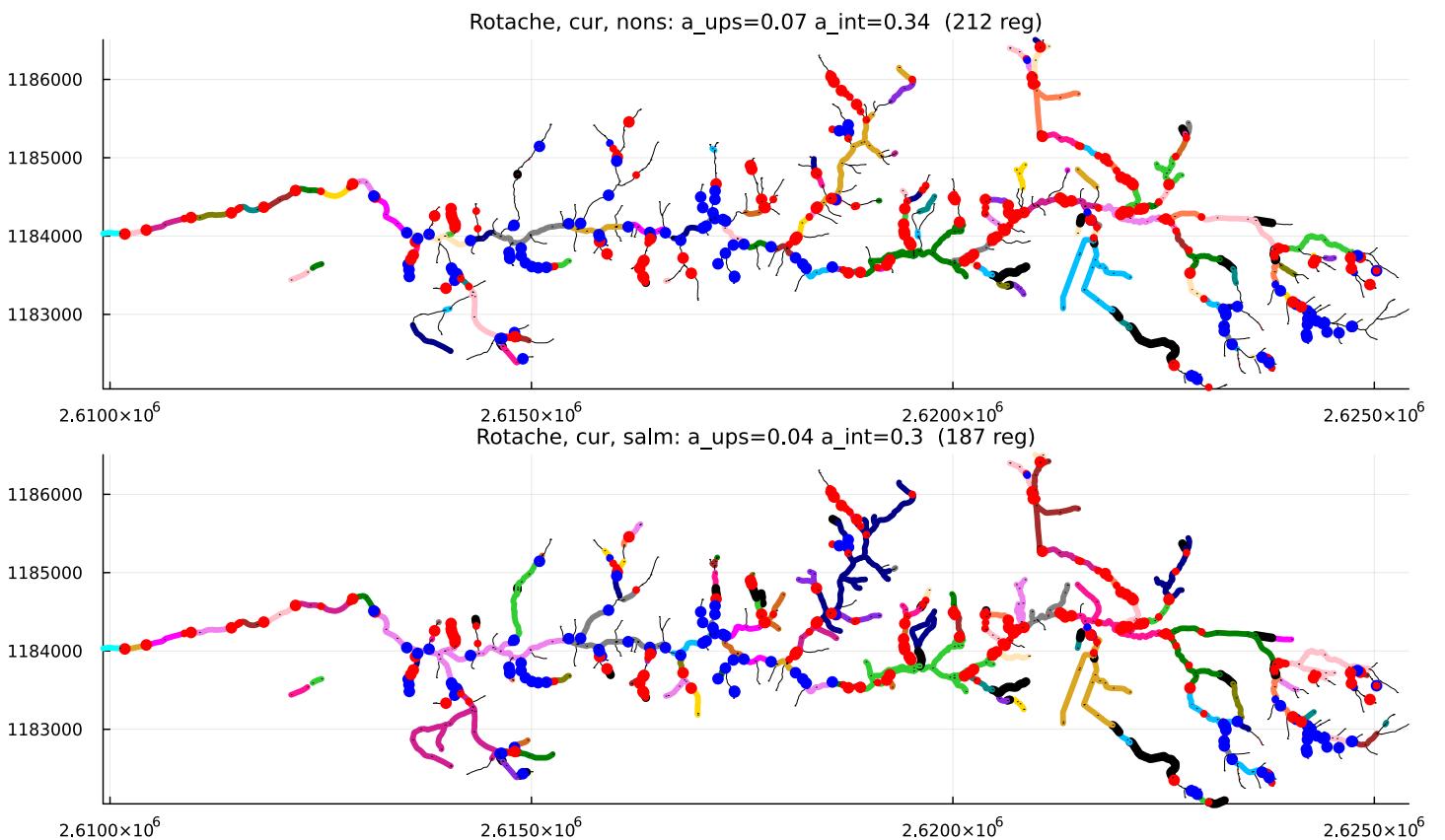


Abbildung A1.70: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

lauf schon aus natürlichen Gründen sehr stark fragmentiert. Das limitiert schon im natürlichen Zustand die erreichbaren Habitate für Fische, die aus der Aare aufsteigen. Im aktuellen Zustand ist der Fischaufstieg bis auf den Mündungsbereich völlig verunmöglich.

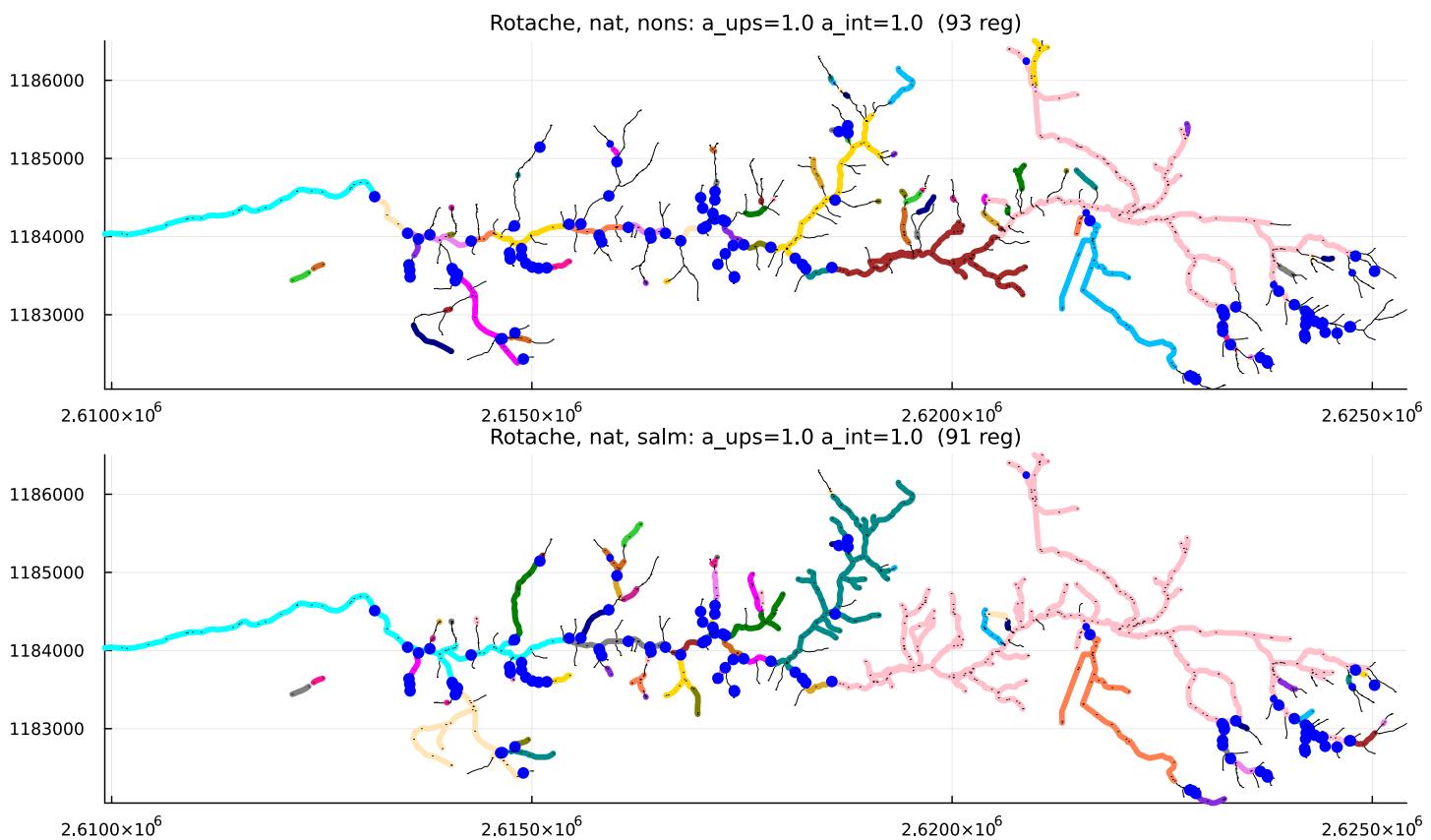


Abbildung A1.71: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.72 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Wegen der grösseren

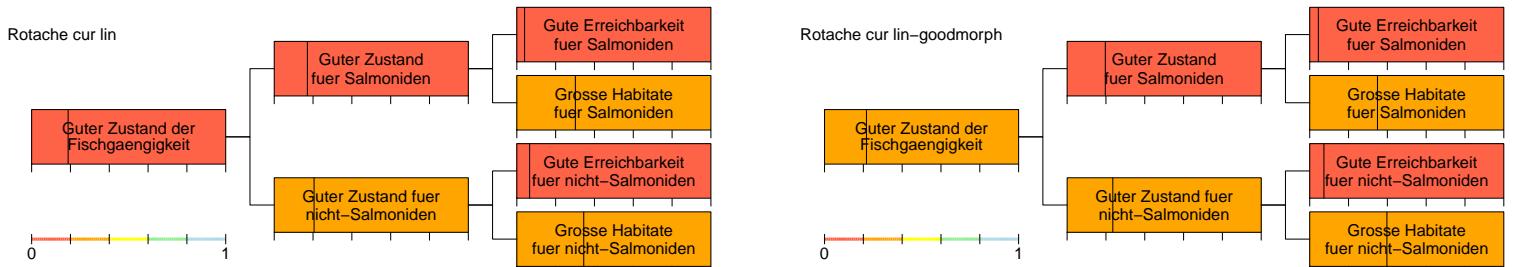


Abbildung A1.72: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

zusammenhängenden Regionen im Oberlauf ist die Beurteilung der Ziele von grossen Habitaten besser als diejenigen der Erreichbarkeit von der Mündung her.

### A1.3.3.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchte Variante ist motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.5 gibt einen Überblick

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	12	0 m	1.0 MCHF	Anschluss des Unterlaufs der Rotache an die Mündung

Tabelle A1.5: Überblick über die untersuchte Revitalisierungsvariante für die Rotache.  
über die untersuchte Variante.

Die Abbildungen A1.73 bis A1.74 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.5 gelistete Variante. Wegen der schon unter natürlichen Verhältnissen beschränkten von der Mündung her erreichbaren Region ergibt sich durch die Elimination der Wanderhindernisse im Unterlauf eine wesentliche Verbesserung des Zustandes.

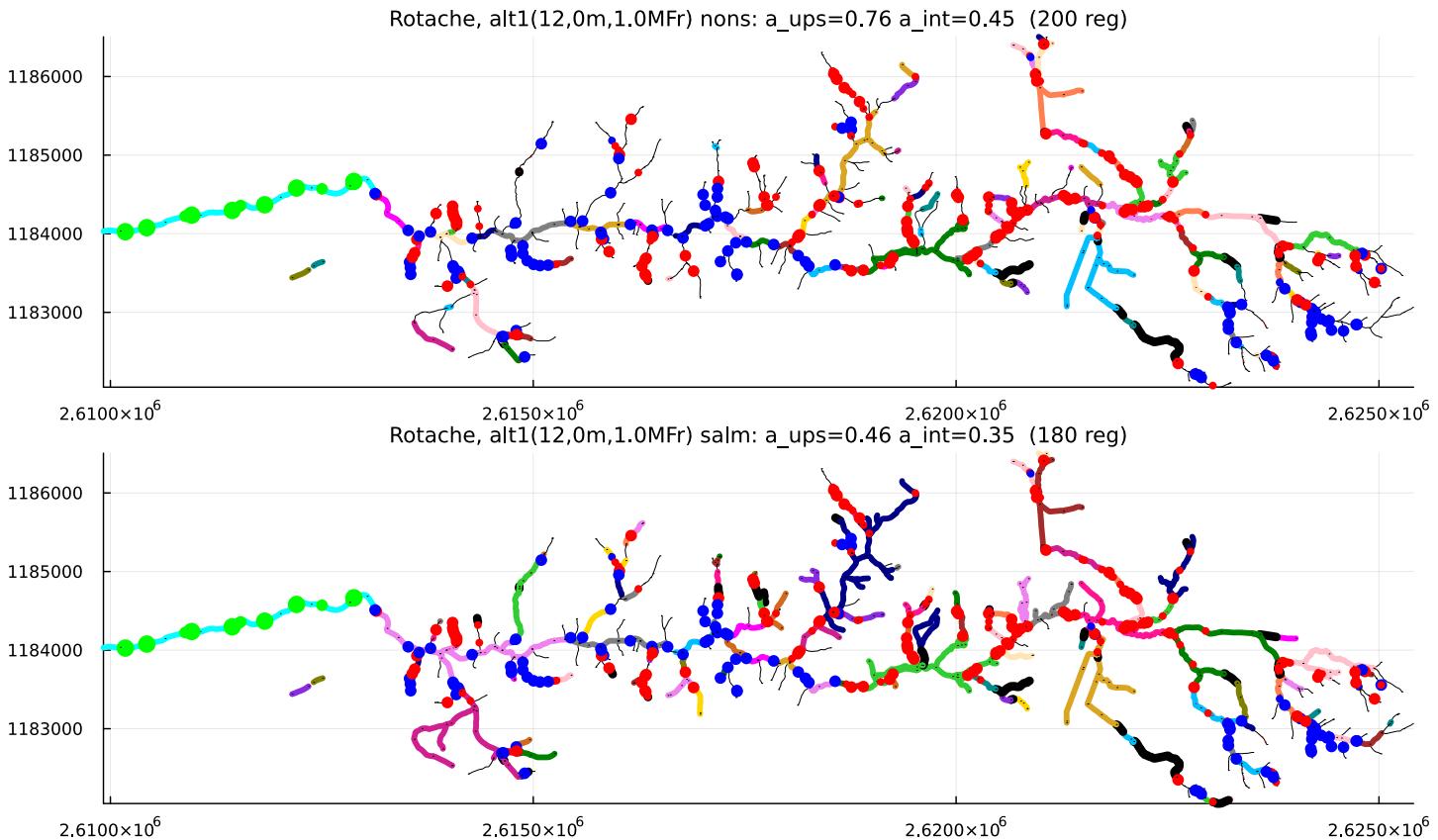


Abbildung A1.73: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (oben) und für Salmoniden (unten). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.70 beschrieben.

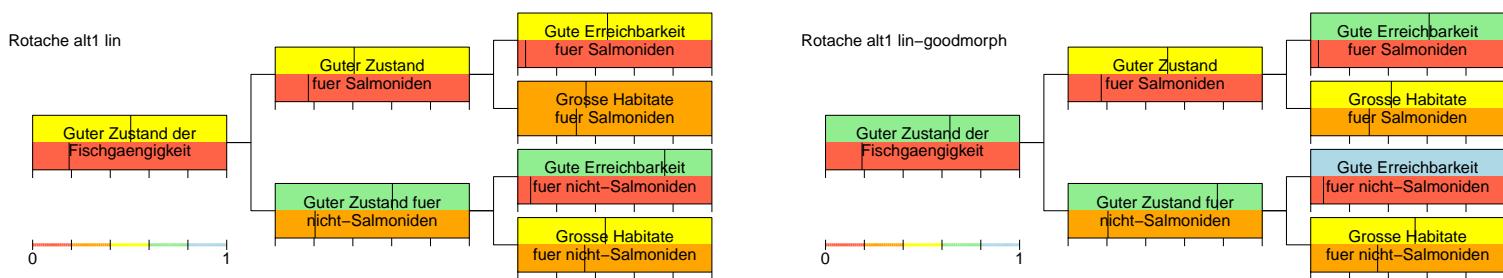


Abbildung A1.74: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.72 für eine Erklärung der Linien und Farben.

### A1.3.3.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.75 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Da wir hier nur eine Variante untersuchen, fällt dieser Vergleich für dieses eine Einzugsgebiet

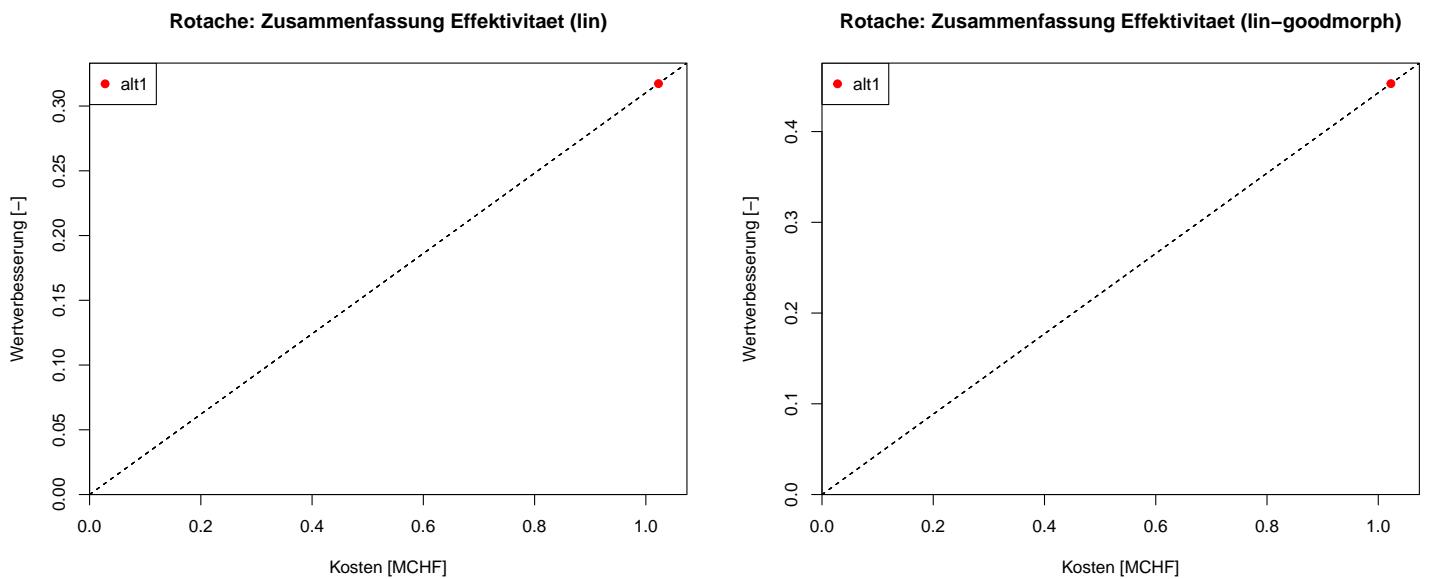


Abbildung A1.75: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

aus. Diese Variante wird aber in Abschnitt A1.3.7 mit ausgewählten Varianten in anderen Einzugsgebieten des Aareabschnitts von Thun bis Bern verglichen.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.76 die analogen Resultate zur Abbildung A1.75, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Der Wertzuwachs ist hier etwas geringer, da die grössere fischökologische Bedeutung der von der Aare aus unter natürlichen Bedingungen erreichbaren Region nicht berücksichtigt wird.

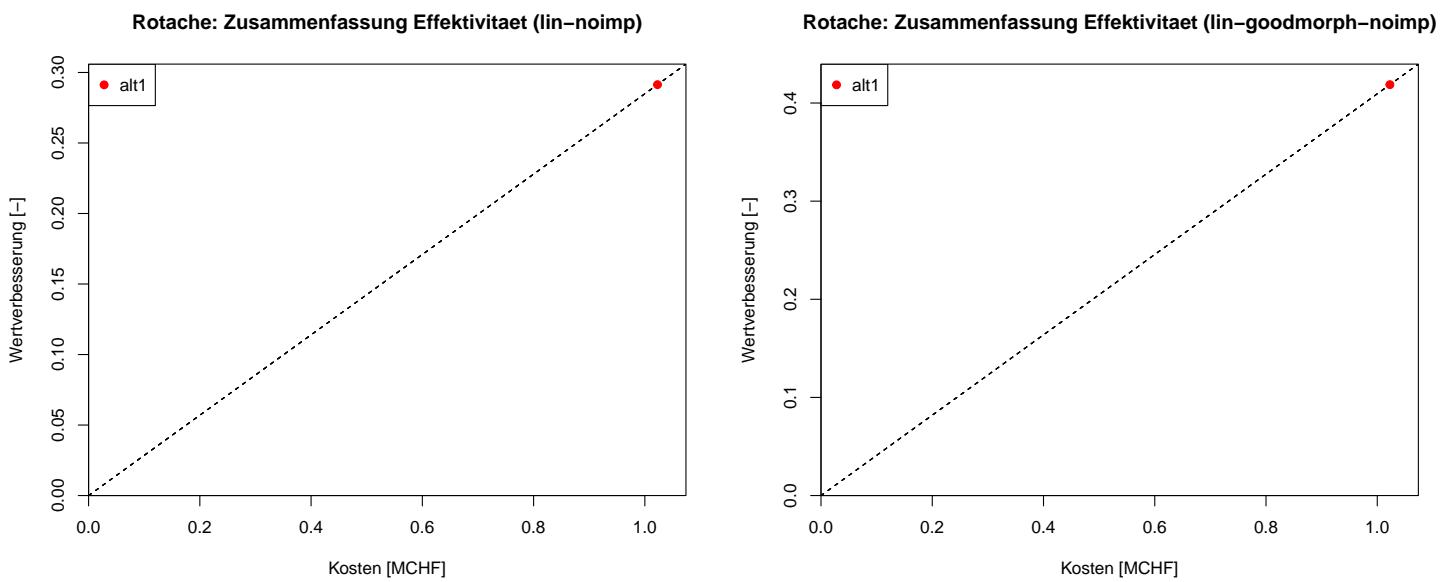


Abbildung A1.76: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.75 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

#### A1.3.4 Chise

Die Chise ist der dritte rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees.

##### A1.3.4.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.77 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Chise. Die Chise

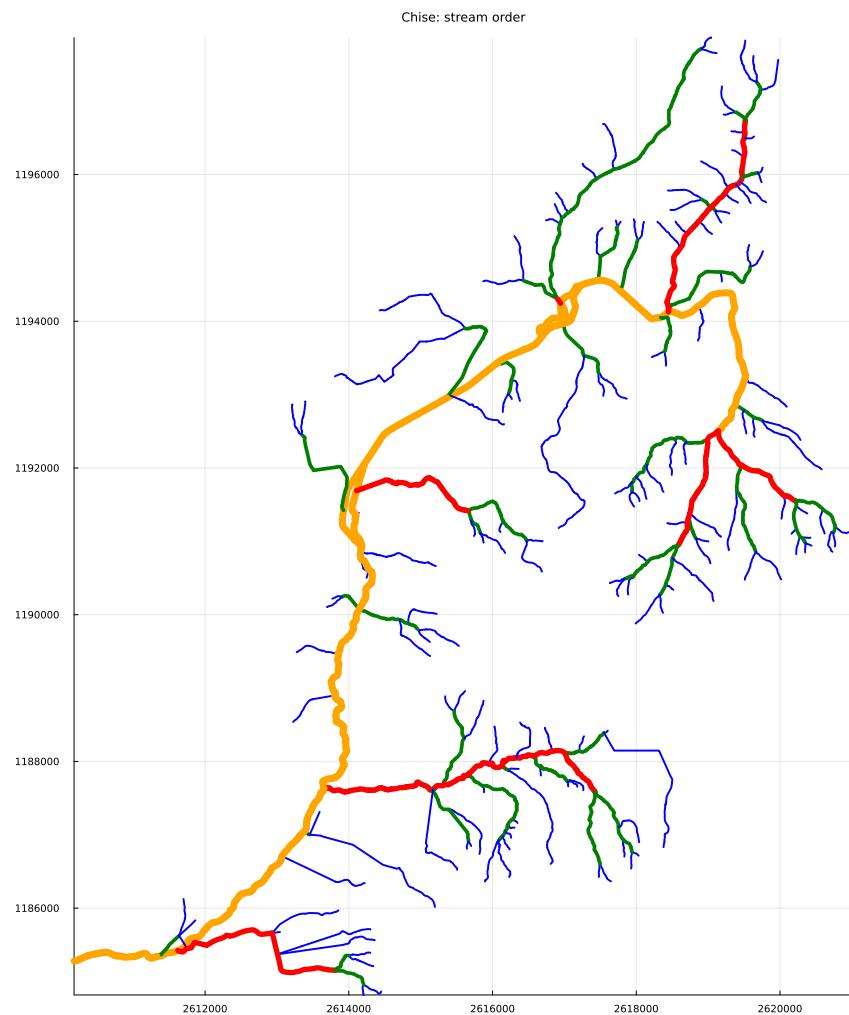


Abbildung A1.77: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

erreicht die Flussordnung 4.

#### A1.3.4.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.78 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Chise. Diese ist weitgehend in einem schlechten ökomorphologischen Zustand.

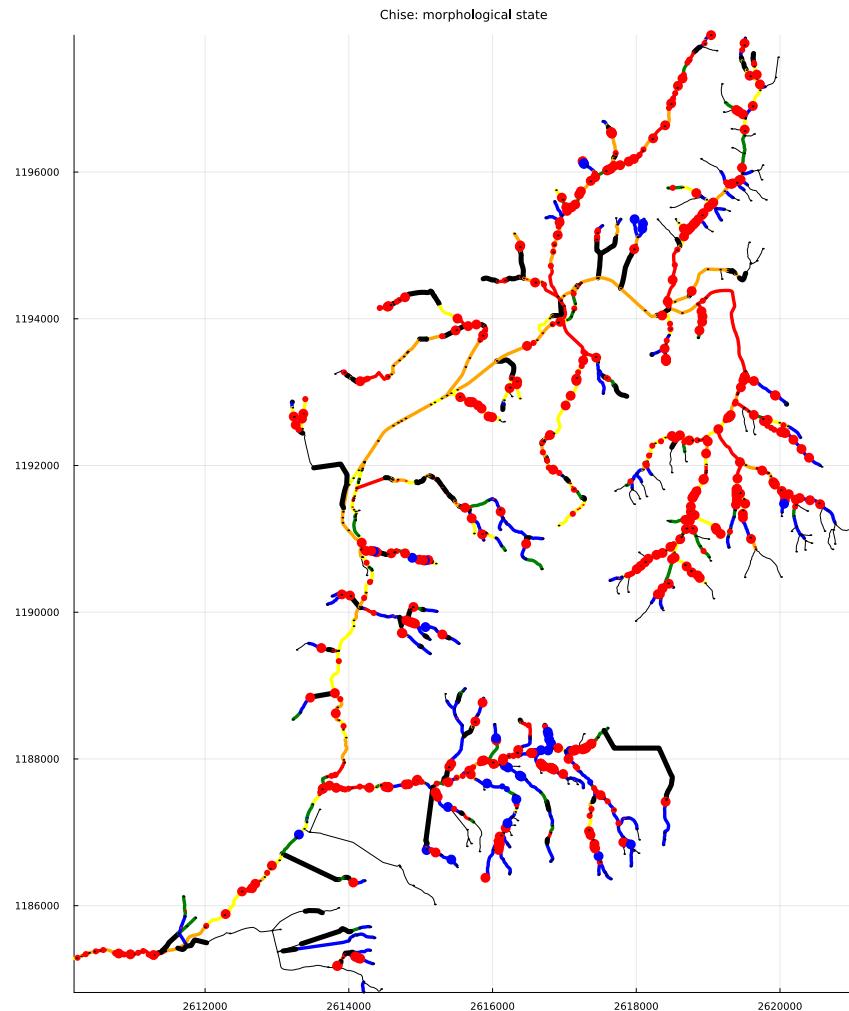


Abbildung A1.78: Ökomorphologischer Zustand der Fliessstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

#### A1.3.4.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.79 zeigt die für diese Analyse verwendet Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss den Empfehlungen in Abschnitt 3.4.1.3. Für die angewandten Kriterien siehe

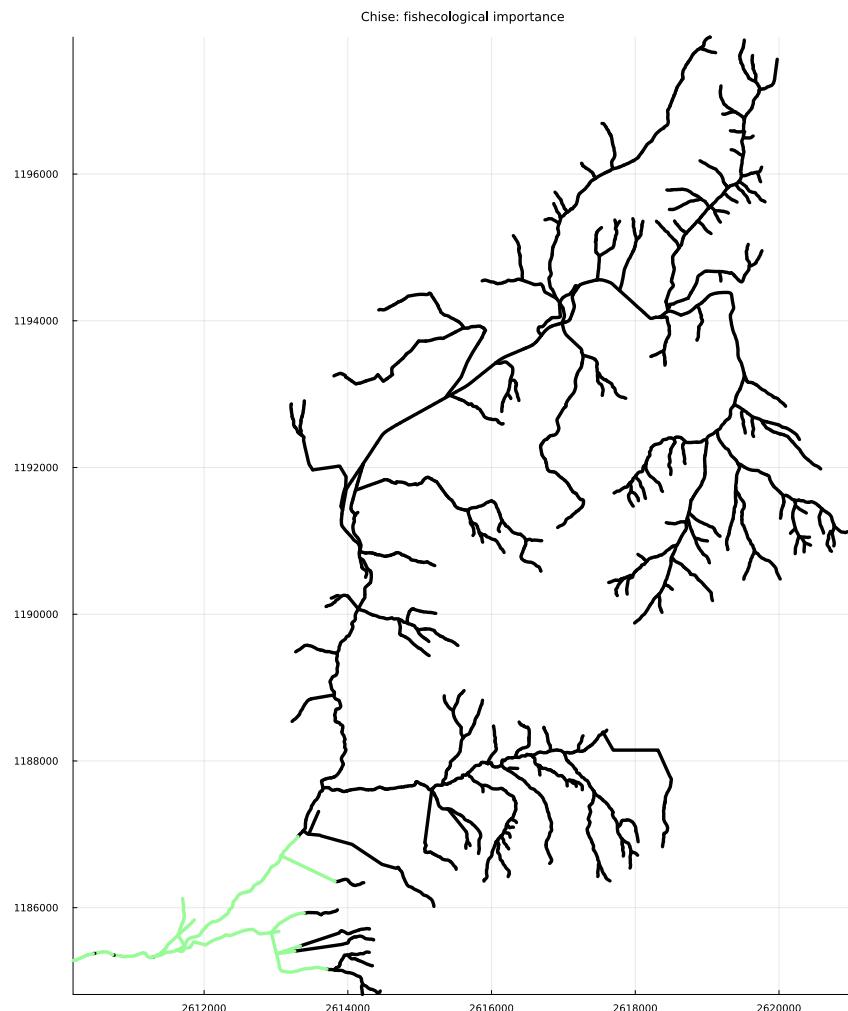


Abbildung A1.79: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Chise enthält keine Auen von nationaler Bedeutung und weist deshalb ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf.

Beginn von Kapitel A1.3. Da die Chise keine Auen von nationaler Bedeutung enthält und weist sie ausschliesslich eine positive Bewertung der im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region auf (vergleiche mit dem linken unteren Teil der Abbildung A1.80).

#### A1.3.4.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildungen A1.80 und A1.81 zeigen die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Die Chise ist sehr stark künstlich

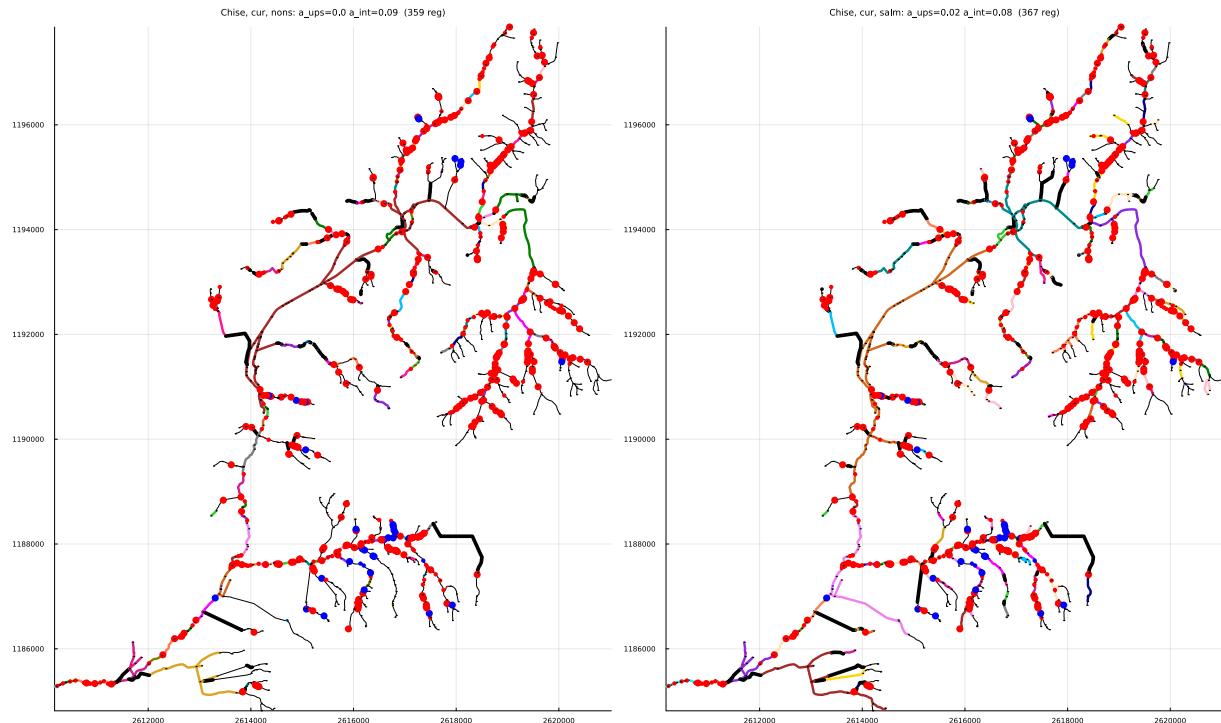


Abbildung A1.80: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

fragmentiert, aber aufgrund des natürlichen Wanderhindernisses zwischen dem Unter- und dem Mittellauf wäre ein Fischaufstieg in den Mittel- und Oberlauf auch unter naturnahen Bedingungen nicht möglich.

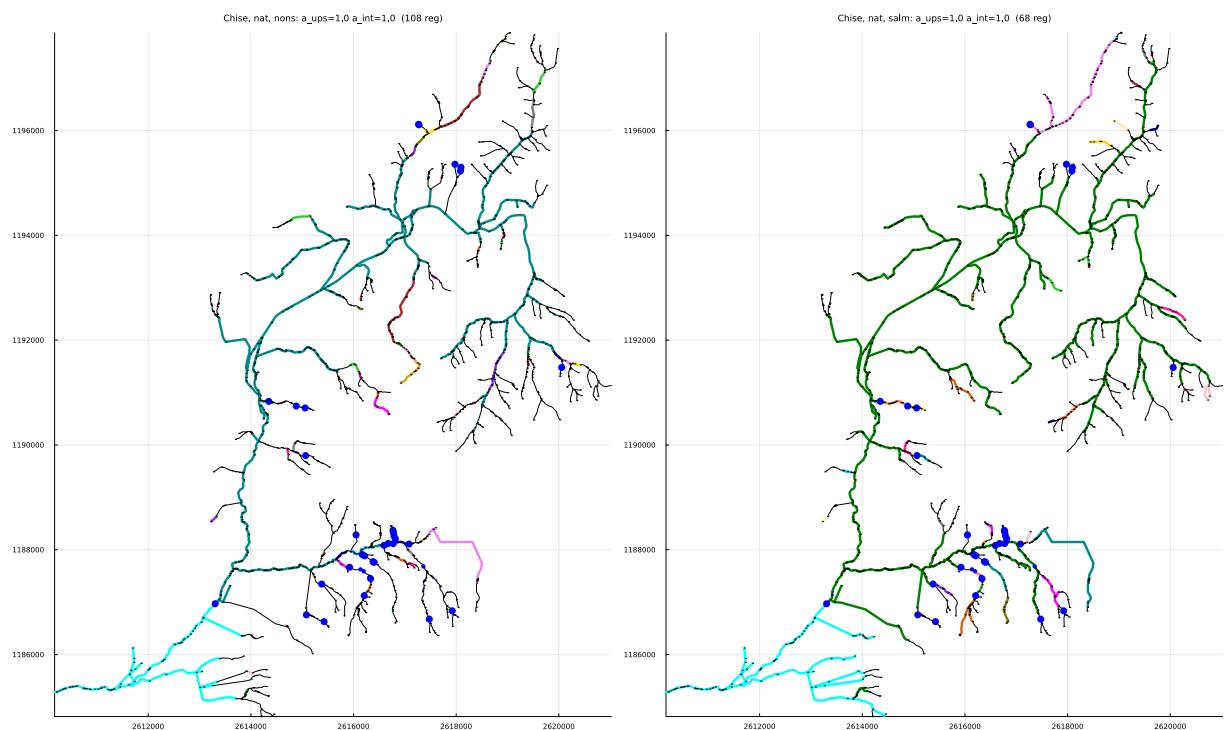


Abbildung A1.81: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen) (unten). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.82 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Die starke Fragmen-

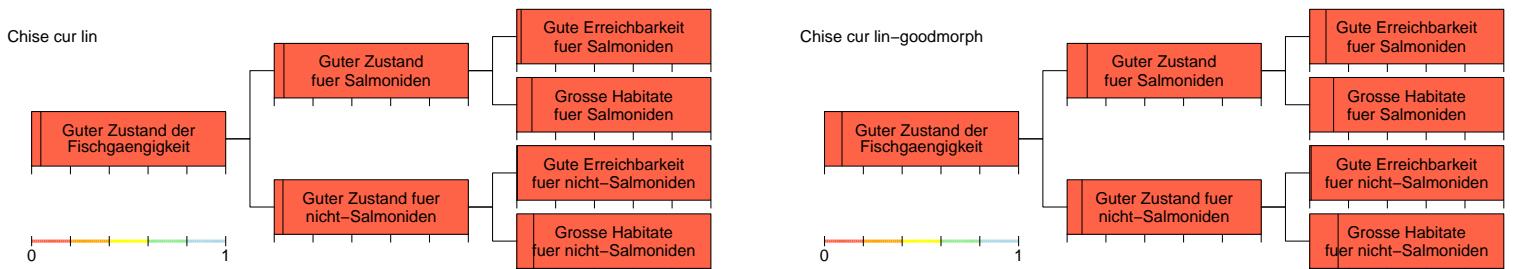


Abbildung A1.82: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

tierung durch künstliche Hindernisse führt zu einer sehr schlechten Bewertung.

#### A1.3.4.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.6 gibt einen

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	16	0 m	0.4 MCHF	Anschluss eines Teils des Unterlaufs der Chise an die Mündung
2	25	0 m	0.9 MCHF	Erweiterung der Variante 1

Tabelle A1.6: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Chise.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.83 bis A1.86 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.6 gelisteten Varianten.

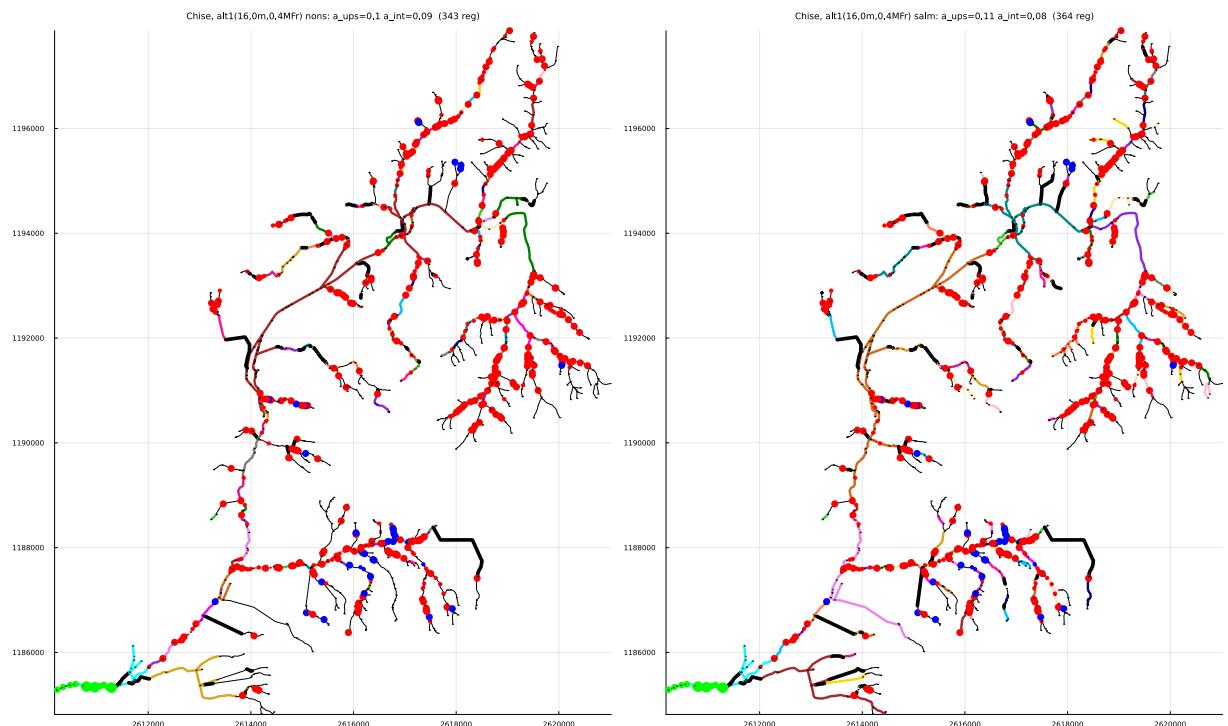


Abbildung A1.83: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.80 beschrieben.

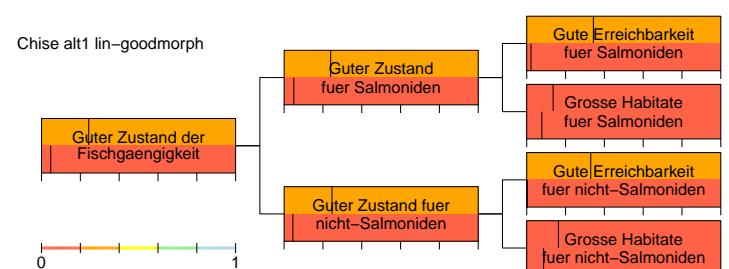
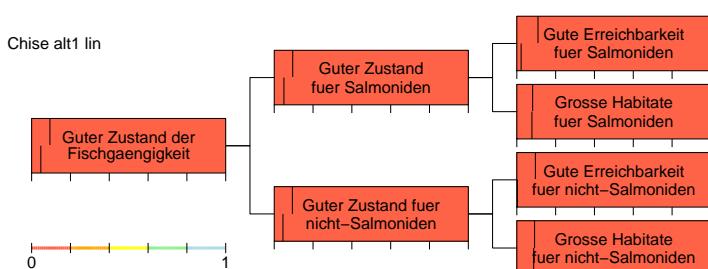


Abbildung A1.84: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.82 für eine Erklärung der Linien und Farben.

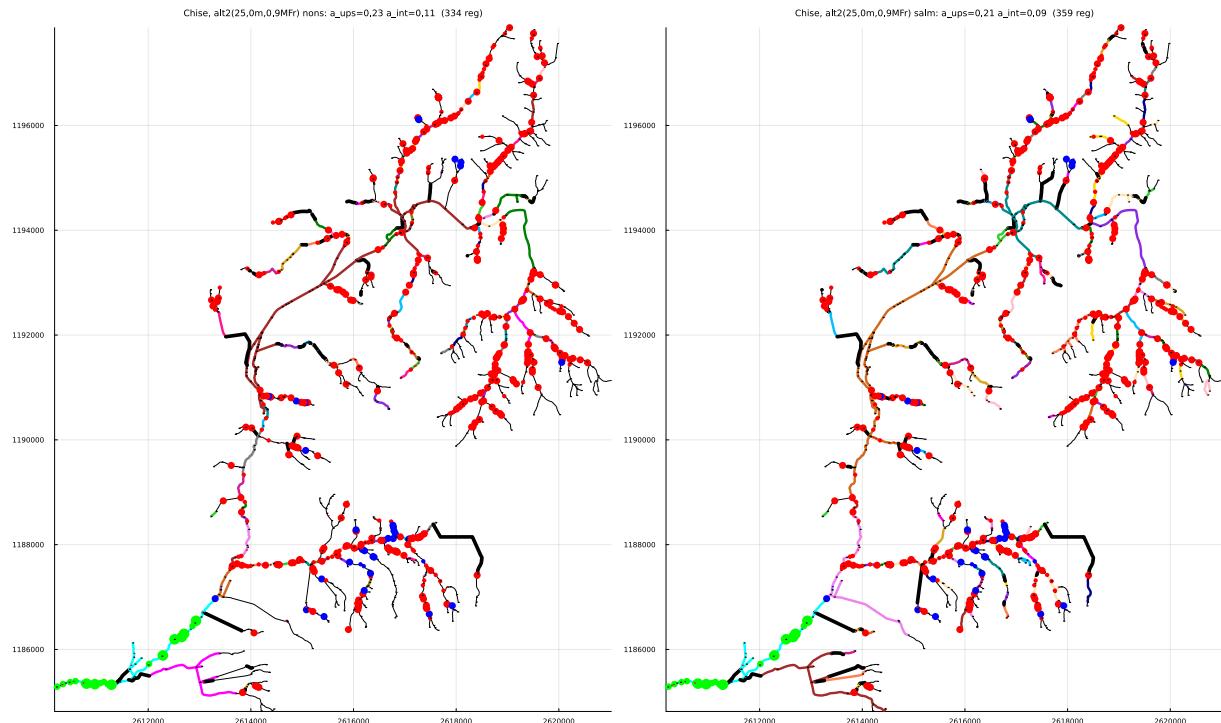


Abbildung A1.85: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.80 beschrieben.

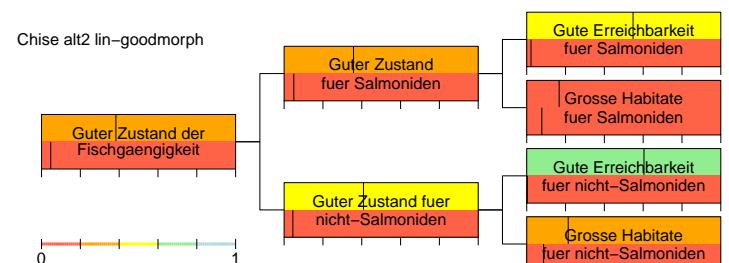
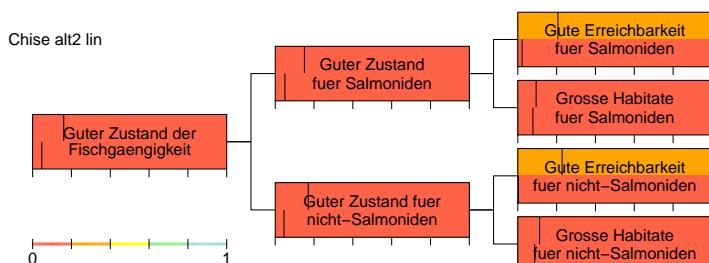


Abbildung A1.86: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.82 für eine Erklärung der Linien und Farben.

#### A1.3.4.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.87 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. In diesem Fall ist das Nutzen zu Kosten - Verhältnis für die beiden Varianten ähnlich. Mit der

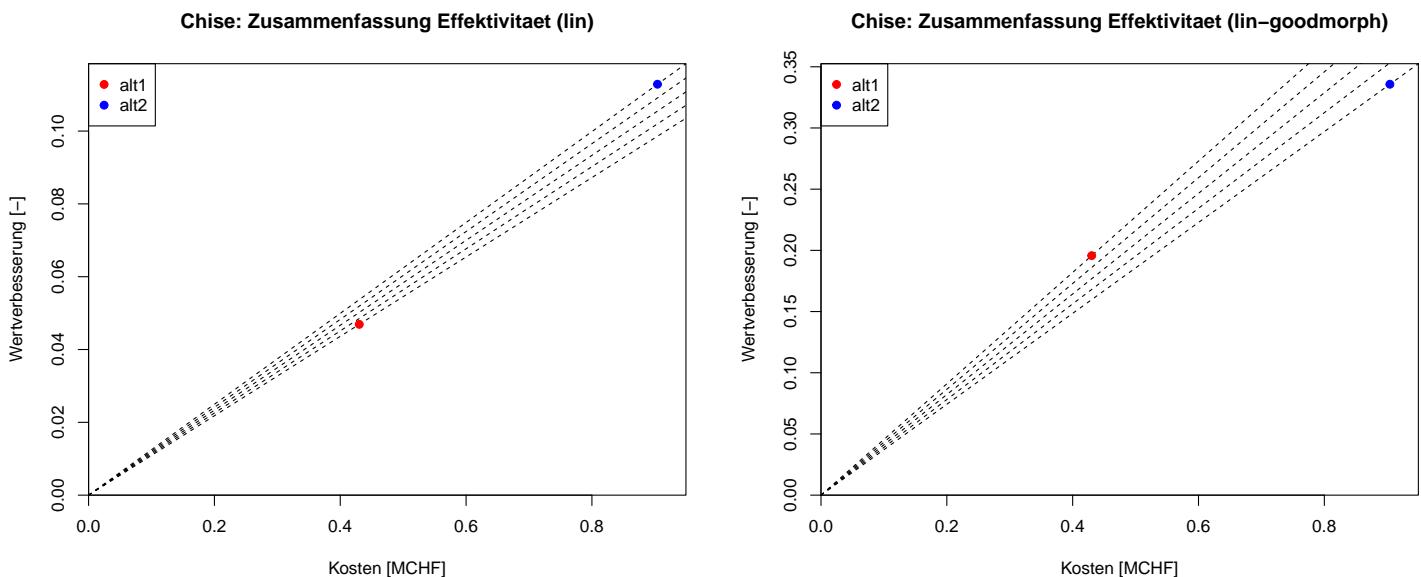


Abbildung A1.87: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

Variante 2 erreicht man mehr mit geringfügig geringeren Kosten pro Wertverbesserungseinheit. Derart kleine Unterschiede sind jedoch nicht signifikant, da sowohl die Kostenschätzung (sehr) ungenau ist als auch der Wertzuwachs. Der geringe Unterschied führt hier auch dazu, dass sich die Effizienz unter der Annahme eines guten morphologischen Zustands umkehrt. Es ist allerdings zu beachten, dass das nur die Annahme eines guten Zustandes ist, um zu sehen, inwiefern der Wertzuwachs durch den morphologischen Zustand der Fließstrecken beschränkt ist. Die Analyse schliesst nicht die Kosten für eine Streckenrevitalisierung ein.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.88 die analogen Resultate zur Abbildung A1.87, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Der Unterschied zur Abbildung A1.87 ist gering.

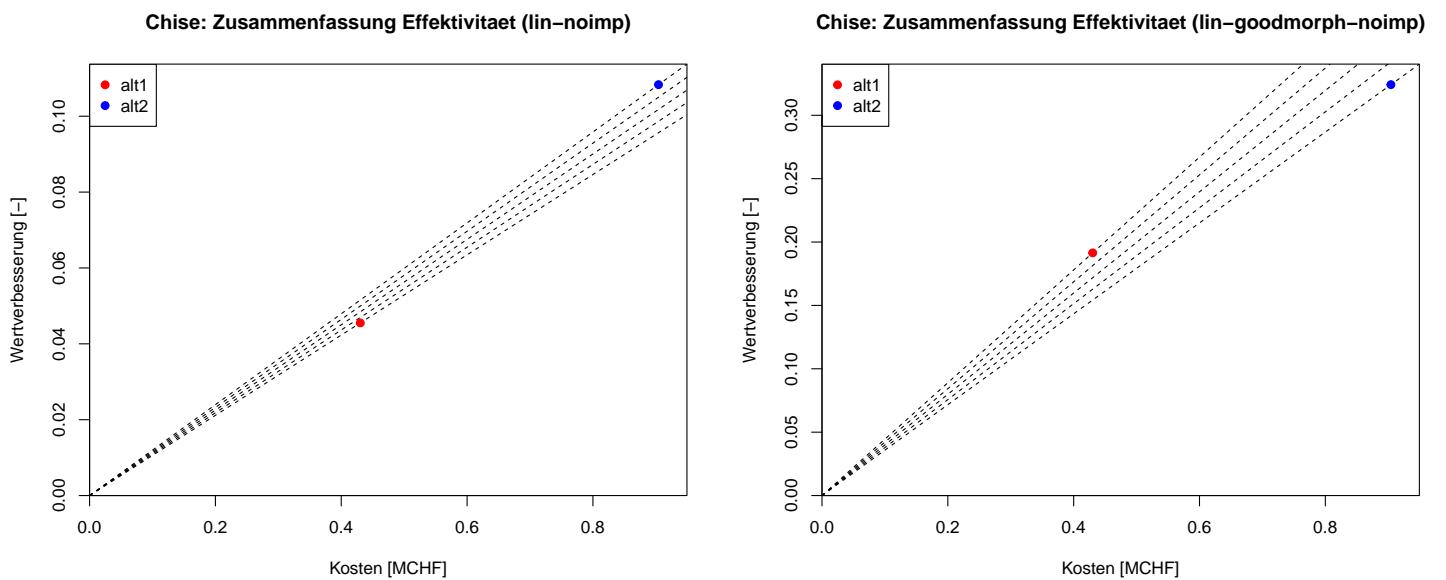


Abbildung A1.88: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.87 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

### A1.3.5 Giesse

Die Giesse ist der vierte rechtsseitige Zufluss zur Aare unterhalb des Thunersees und der letzte rechtsseitige Zufluss vor Bern. Sie fliesst auf ihrem letzten Teil durch die rechtsseitigen Aare-Auen von nationaler Bedeutung.

#### A1.3.5.1 Einzugsgebiet

Die Abbildung A1.89 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Giesse. Das Einzugs-

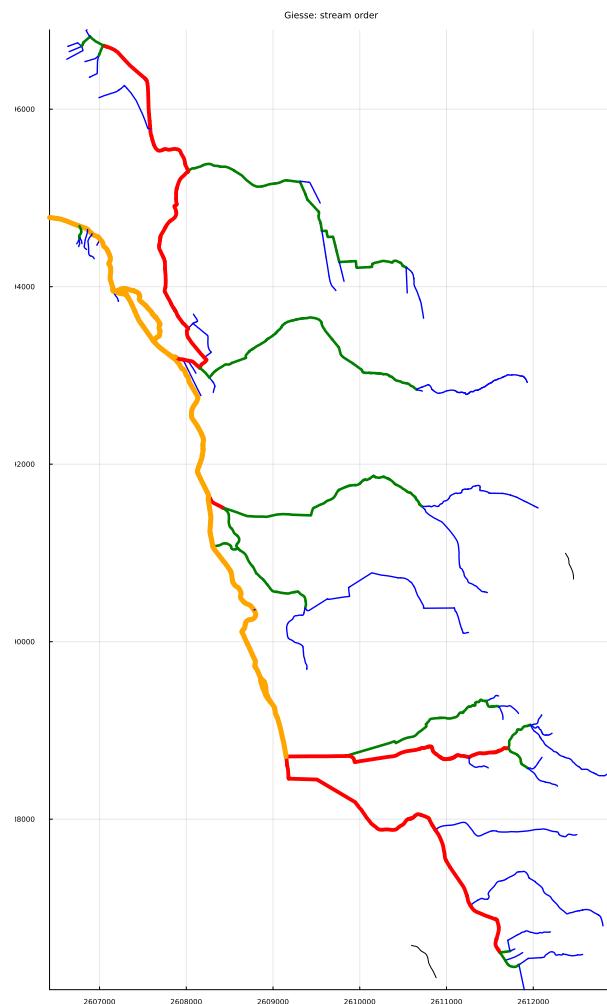


Abbildung A1.89: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

gebiet der Giesse umfasst ca. 45 km<sup>2</sup> und die Giesse erreicht die Flussordnung 4.

### A1.3.5.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.90 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Giesse. Abgesehen von der guten Ökomorphologie in den Aare-Auen ist die Giesse sehr stark durch mor-

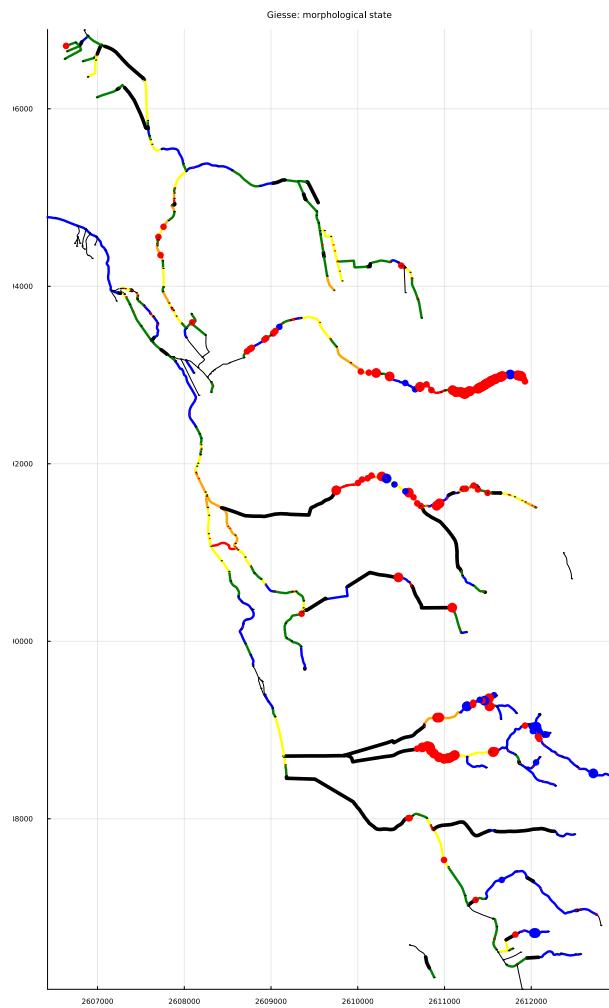


Abbildung A1.90: Ökomorphologischer Zustand der Fließstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

phologische Einschränkungen und sogar Eindolungen im Siedlungsraum geprägt. Die längeren Eindolungen lassen erkennen, dass der kosteneffizienten Revitalisierung Grenzen gesetzt sind.

#### A1.3.5.3 Fischökologische Bedeutung

Die Abbildung A1.91 zeigt die verwendete Gewichtung zur Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung. Es zeigt sich hier (und in Abbildung A1.93), dass ein grosser Teil des Flussnetz-

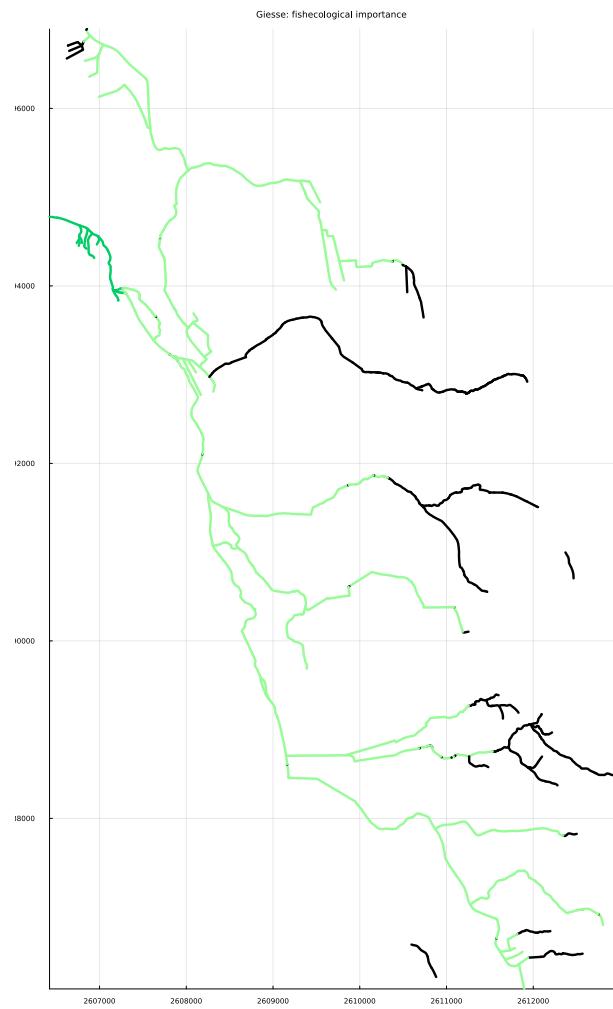


Abbildung A1.91: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Giesse enthält ausschliesslich positive Bewertungen für die im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbaren Region und für Auen von nationaler Bedeutung.

werks unter naturnahen Bedingungen für nicht-Salmoniden von der Mündung her erreichbar wäre. Zudem erkennt man im Unterlauf durch die mittelgrüne Färbung die Auen von nationaler Bedeutung.

#### A1.3.5.4 Aktueller und naturnaher Zustand

Die Abbildung A1.92 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Es zeigt sich, dass nur ein geringer Teil

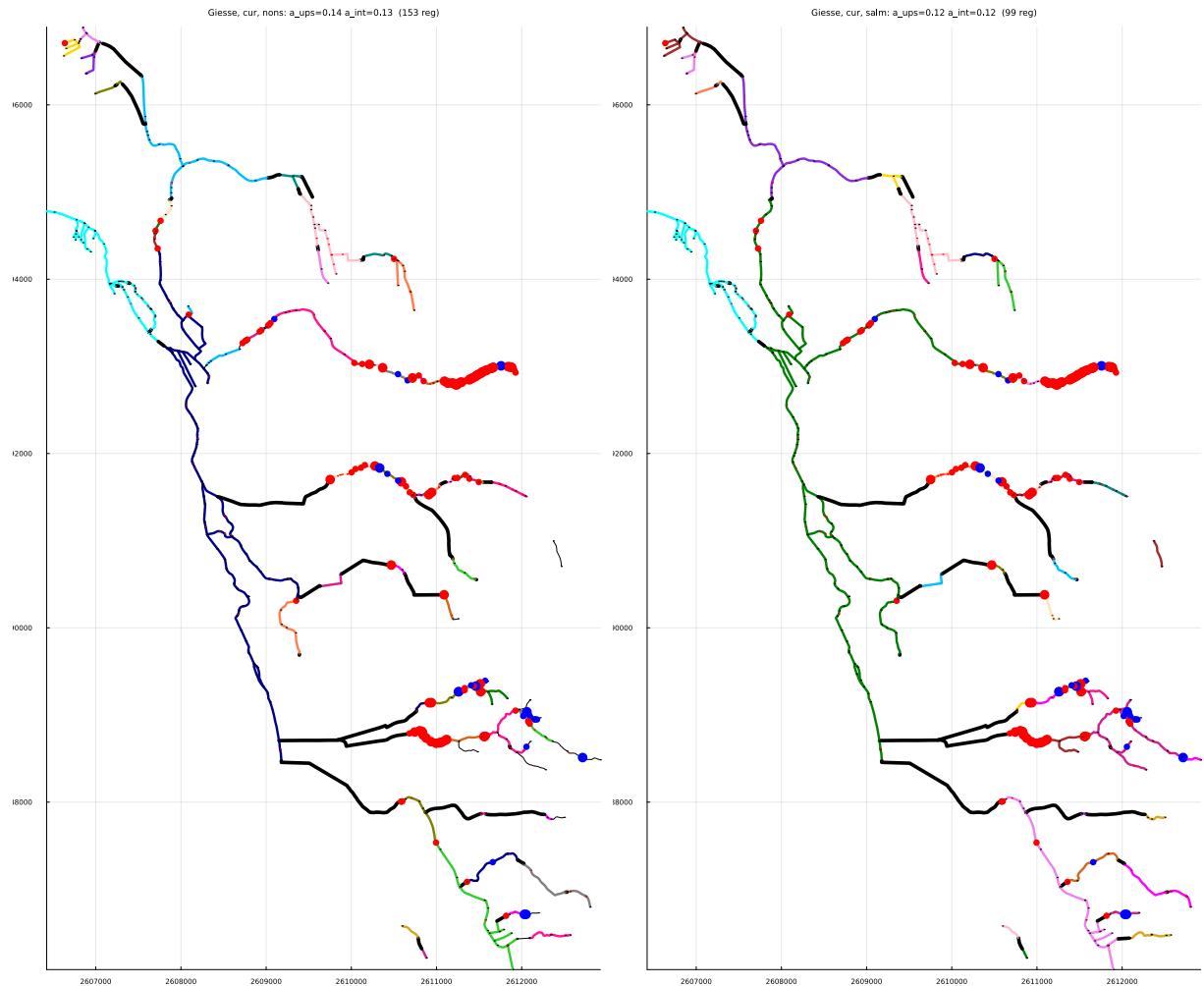


Abbildung A1.92: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

der unter naturnahen Bedingungen von der Mündung aus erreichbaren Region unter aktuellen Bedingungen erreichbar ist. Zudem ist der Oberlauf insbesondere durch Eindolungen sehr stark fragmentiert.

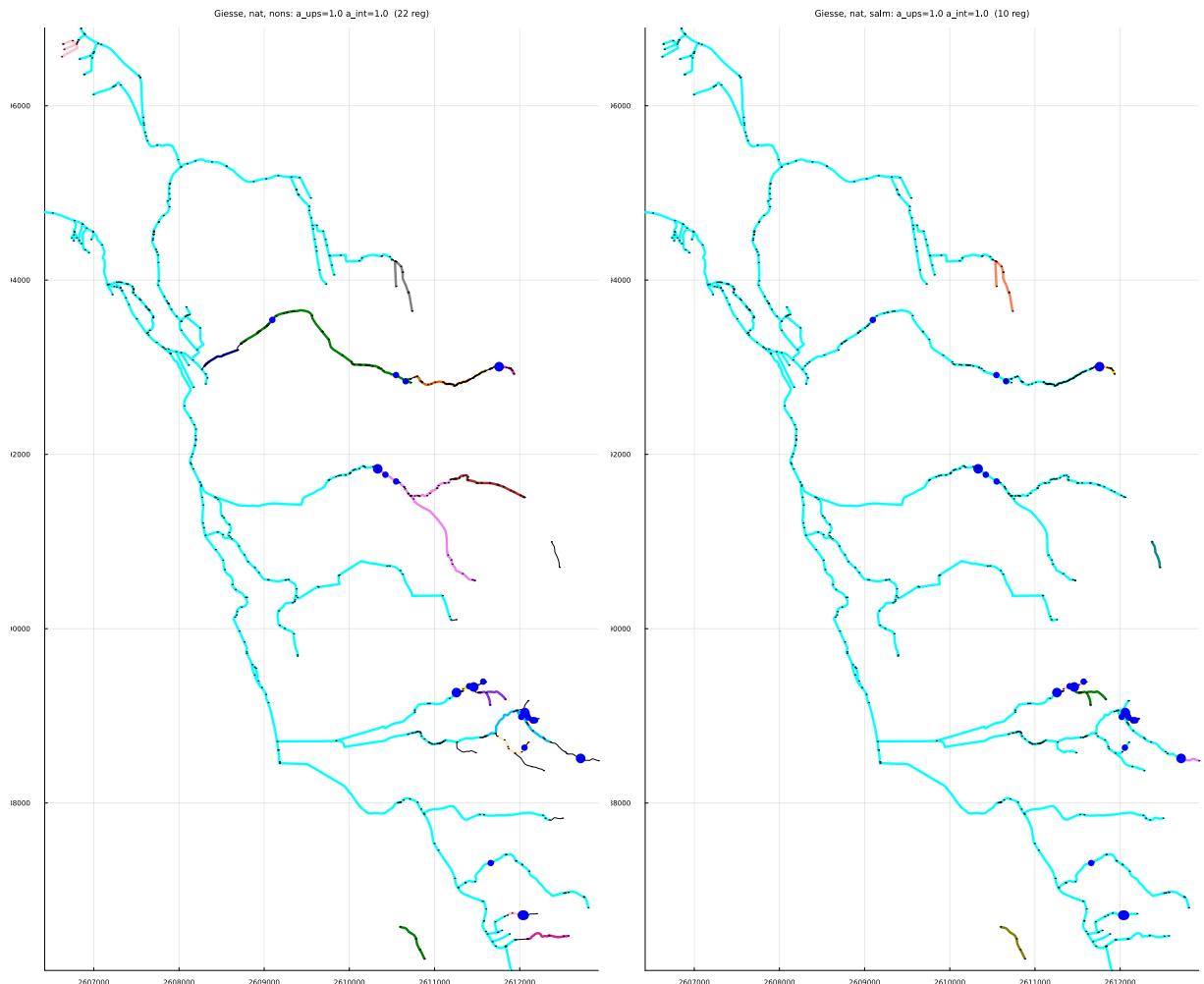


Abbildung A1.93: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.94 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Entsprechend der

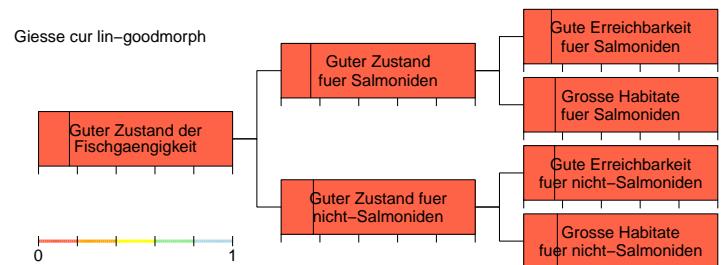
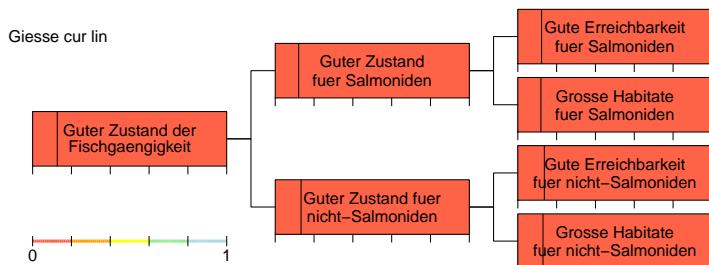


Abbildung A1.94: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fließstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

sehr starken Fragmentierung (siehe Abbildungen A1.92 und A1.93) ist der Zustand bezüglich der Längsvernetzung für Fische sehr schlecht.

### A1.3.5.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.7 gibt einen

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	0	87 m	0.2 MCHF	Anschluss des Mittellaufs der Giesse an die Mündung
2	0	126 m	0.3 MCHF	Erweiterung der Variante 1 im nördlichsten Zufluss für Salmoniden
3	3	151 m	0.4 MCHF	Erweiterung der Variante 2 im nördlichsten Zufluss für nicht-Salmoniden

Tabelle A1.7: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Giesse.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.95 bis A1.100 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.7 gelisteten Varianten.

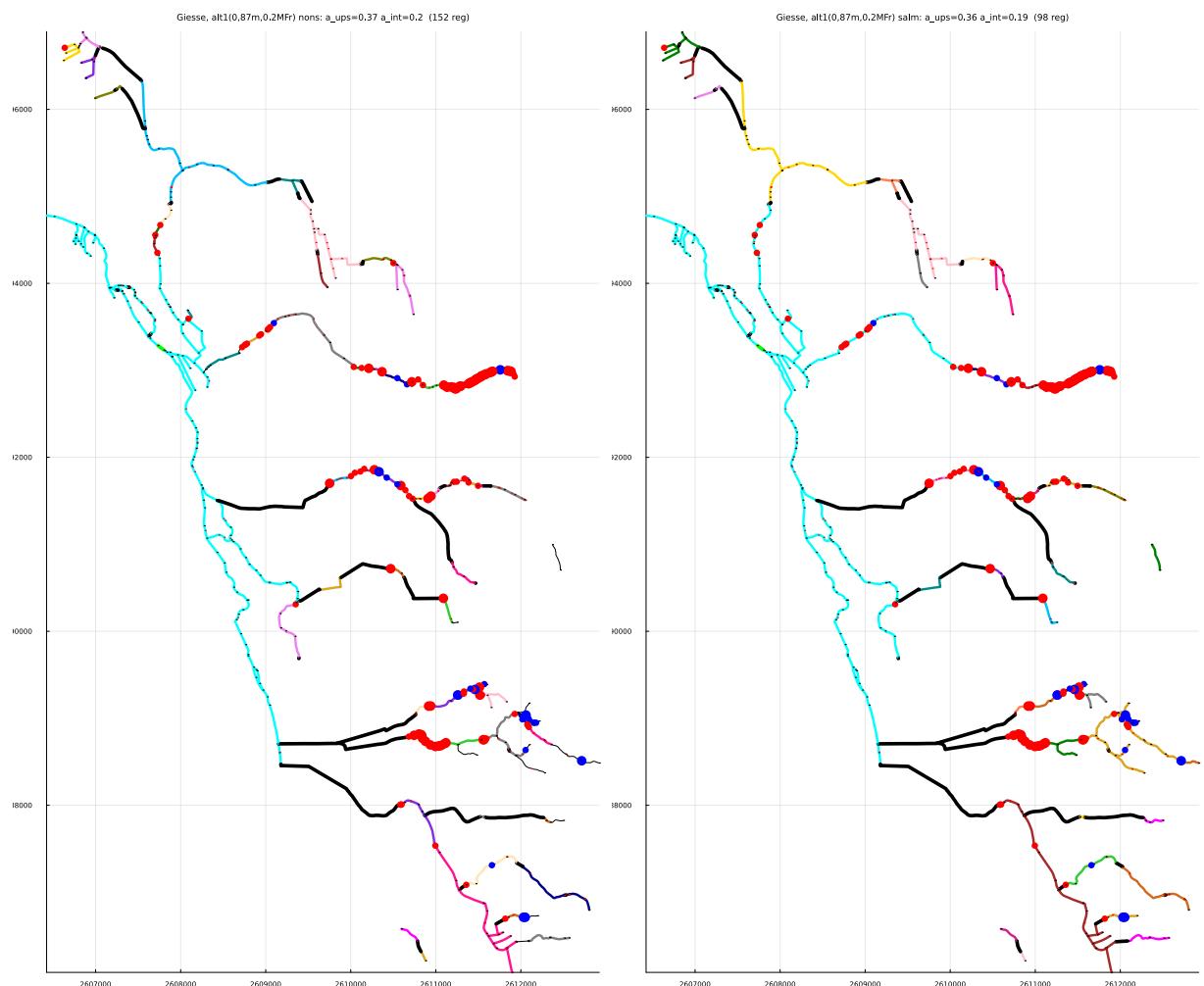


Abbildung A1.95: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.92 beschrieben.

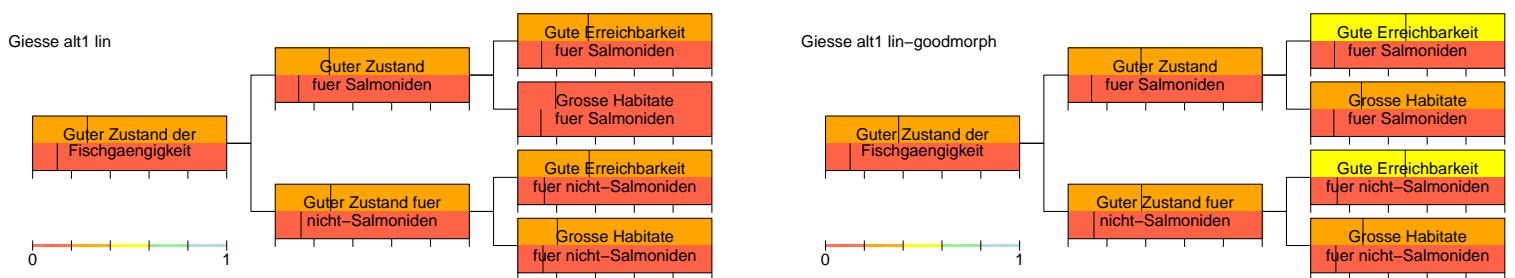


Abbildung A1.96: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesenstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.94 für eine Erklärung der Linien und Farben.

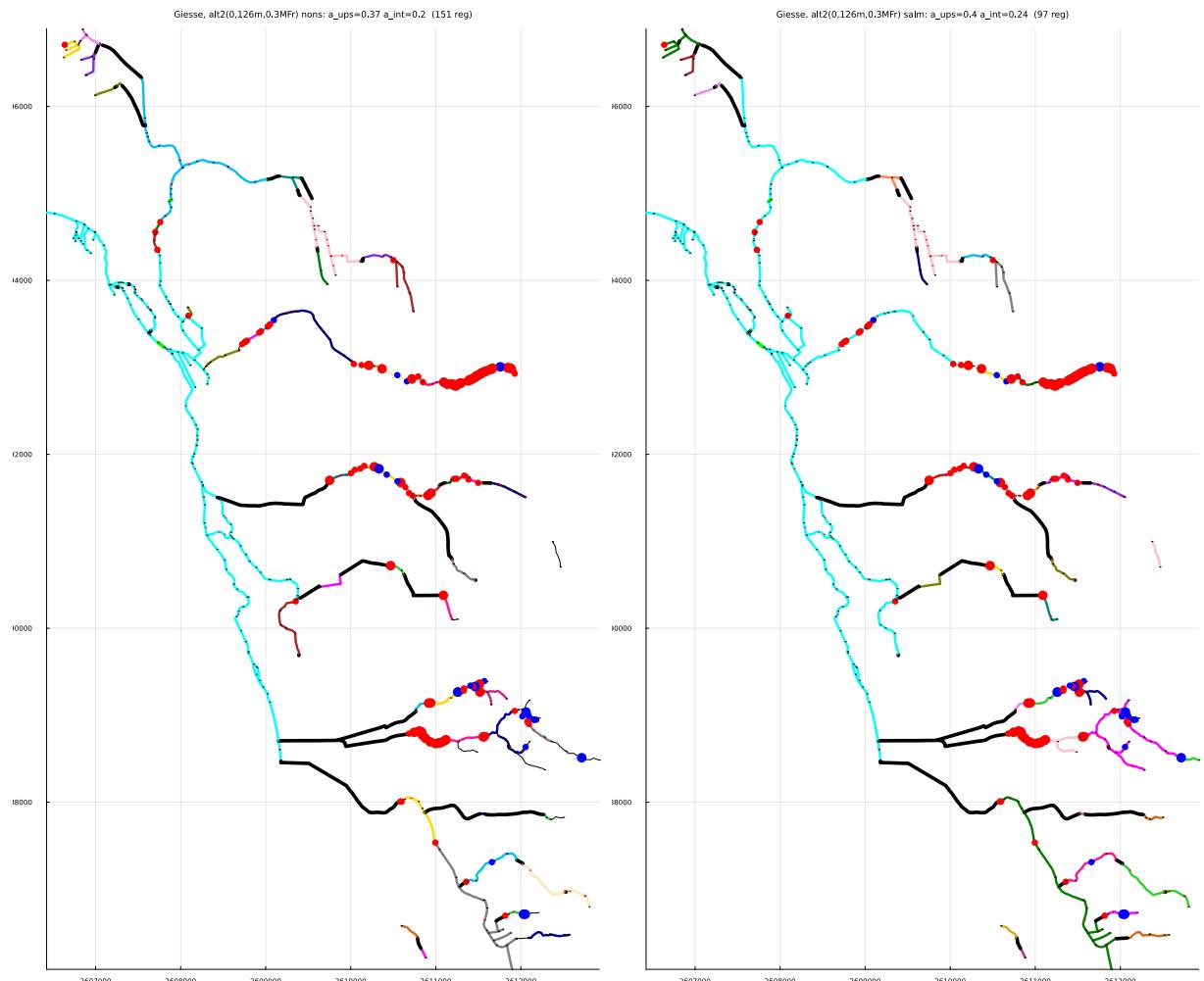


Abbildung A1.97: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.92 beschrieben.

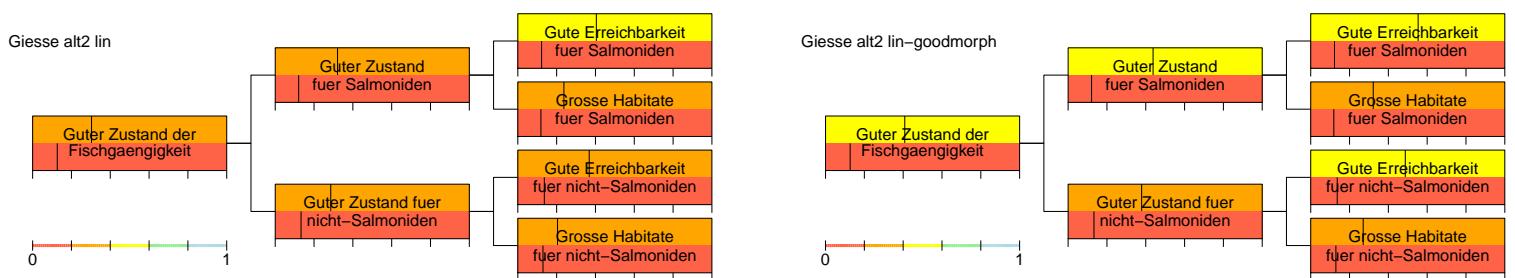


Abbildung A1.98: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.94 für eine Erklärung der Linien und Farben.

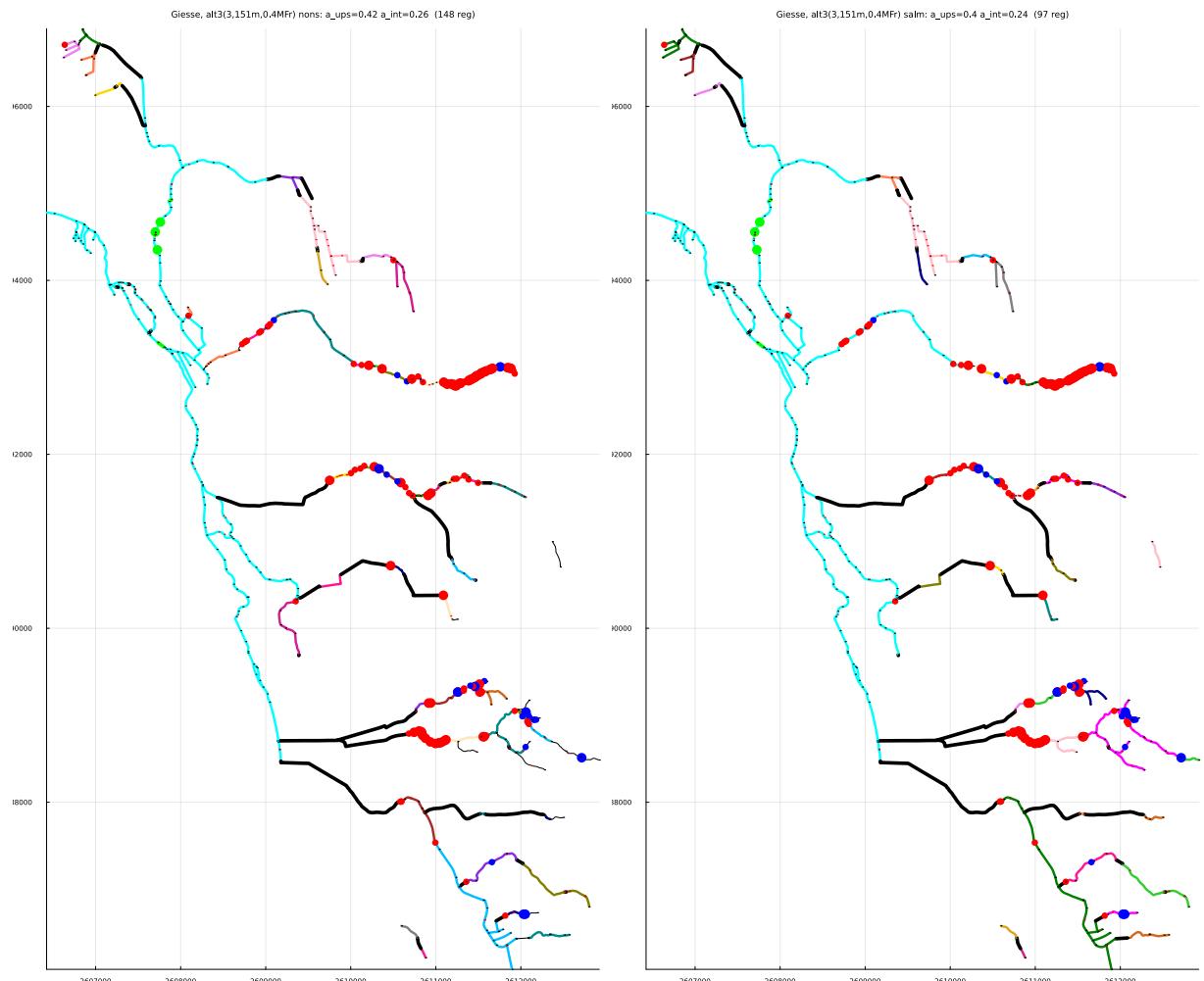


Abbildung A1.99: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.92 beschrieben.

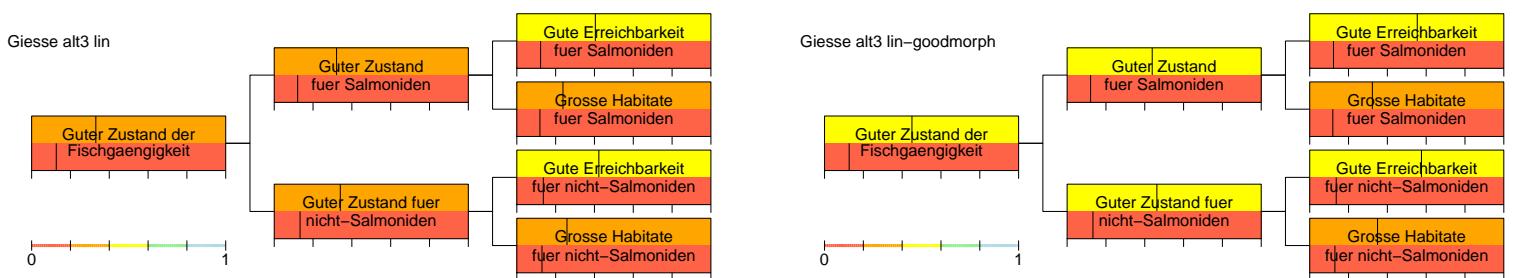


Abbildung A1.100: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.94 für eine Erklärung der Linien und Farben.

#### A1.3.5.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.101 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Offensichtlich weist die Variante 1 das beste Nutzen zu Kosten Verhältnis auf. Primär wegen

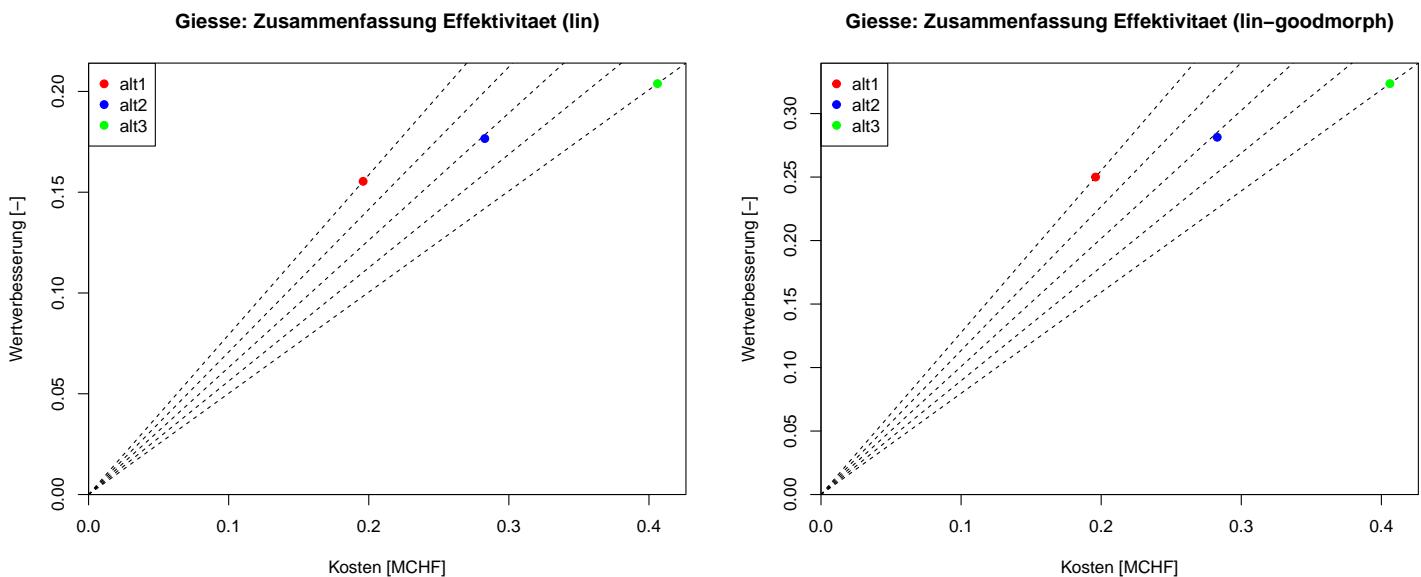


Abbildung A1.101: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

der hohen Kosten für die nötigen Ausdolungen.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.102 die analogen Resultate zur Abbildung A1.101, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Da die Auen bereits im aktuellen Zustand für die Fische von der Mündung her erreichbar sind, ergibt sich hier kein signifikanter Unterschied zur Bewertung mit Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung.

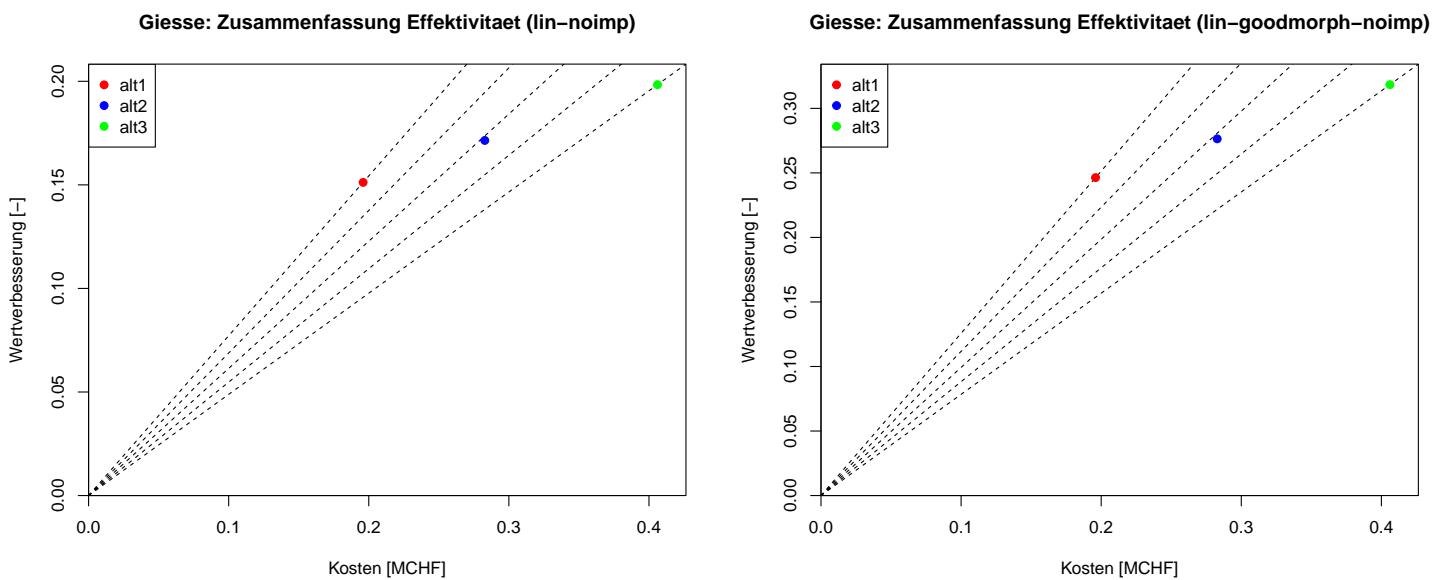


Abbildung A1.102: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.101 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

### **A1.3.6 Gürbe**

Die Gürbe fliesst vom Nordhang der Bergkette vom Gantrisch zum Stockhorn westlich der Aare (durch den Belpberg von dieser getrennt) ins Belpmoos und bildet letztlich den letzten linken Nebenfluss der Aare vor Bern. Kurz vor der Mündung fliesst rechtsseitig die Giesse zu. Diese Giesse ist nicht dieselbe wie die in Abschnitt A1.3.5 beschriebene, die rechtsseitig zur Aare fliesst. Die gemeinsame Eigenschaft beider Giessen sind das Durchfliessen von Auenlandschaften von nationaler Bedeutung bevor sie in die Aare bzw. in die Gürbe einmünden. Der letzte rechtsseitige Zufluss zur Gürbe durchfliesst die linksseitigen Auen der Aare während die in Abschnitt A1.3.5 beschriebene Giesse die rechtsseitigen Auen der Aare durchfliesst.

#### **A1.3.6.1 Einzugsgebiet**

Die Abbildung A1.103 zeigt das Einzugsgebiet und die Flussordnungen der Gürbe. Das Einzugsgebiet der Gürbe umfasst ca. 140 km<sup>2</sup> und die Gürbe erreicht die Flussordnung 5.

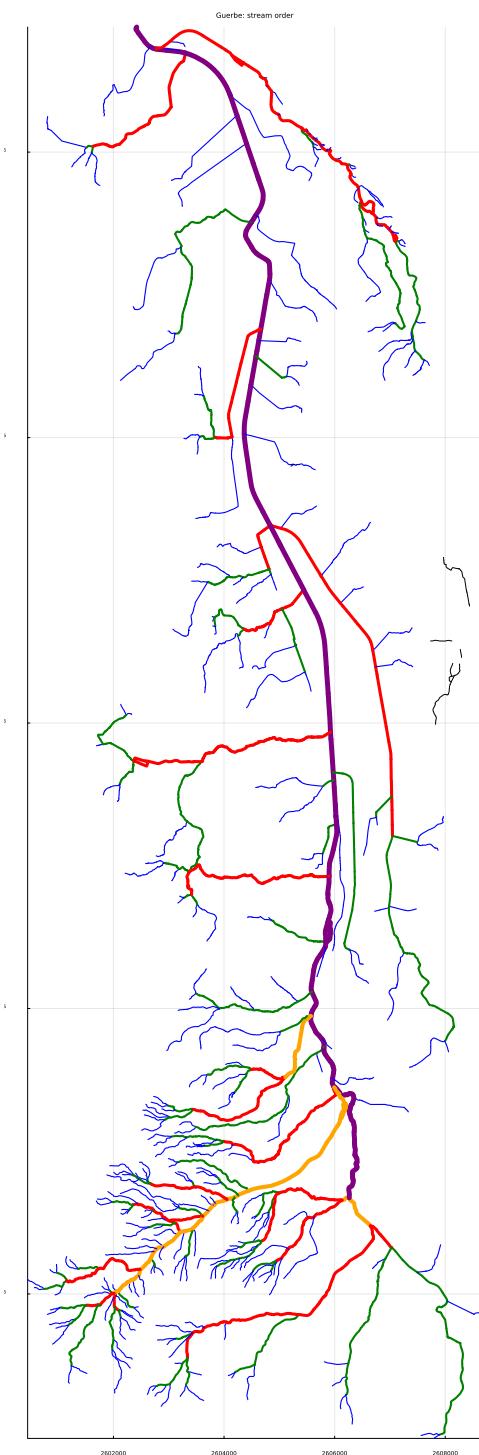


Abbildung A1.103: Flussordnungen im Einzugsgebiet (1=blau, 2=grün, 3=rot, 4=orange, 5=violett, 6=türkis, 7=hell violett).

### A1.3.6.2 Ökomorphologie

Die Abbildung A1.104 zeigt den ökomorphologischen Zustand der Flussabschnitte der Gürbe. Klar zu erkennen ist der sehr gute bis gute ökomorphologische Zustand des untersten, rechten Nebenflusses, der Giesse im Bereich der linksseitigen Aare-Auen. Im Gegensatz dazu ist die Gürbe im stark landwirtschaftlich genutzten Gürtetal in einem schlechten morphologischen Zustand. Man beachte jedoch, dass unsere Daten von 2007 noch nicht die in den Jahren 2008-2009 erfolgten Hochwasserschutzmassnahmen und die damit verbundene Revitalisierung beinhalten. Für die konkrete Planung durch den Kanton, müssten hier nachgeführte Ökomorphologiedaten verwendet werden. Zur Illustration der Priorisierungsmethode ist aber genau diese Situation eines morphologisch schlechten Hauptflusses und eines Nebenflusses aus Auengebieten von nationaler Bedeutung von Interesse.

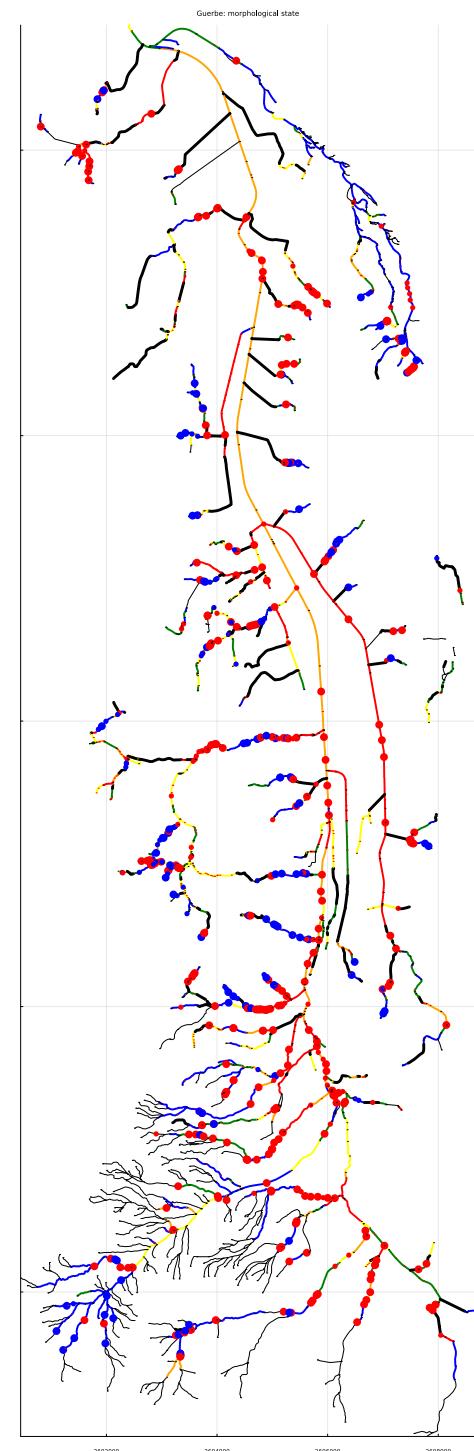


Abbildung A1.104: Ökomorphologischer Zustand der Fliessstrecken (5 Stufen: blau = naturnah, grün = wenig beeinträchtigt, gelb = beeinträchtigt, orange = naturfremd, rot = künstlich; schwarz = eingedolt) und Wanderhindernisse (blau = natürlich, rot = künstlich). Dünne schwarze Linien zeigen Flussabschnitte mit fehlenden Daten.

#### **A1.3.6.3 Fischökologische Bedeutung**

Die Abbildung A1.105 zeigt die verwendete Gewichtung zur Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung. Für die angewandten Kriterien siehe Beginn von Kapitel A1.3. Es zeigt sich hier (und in Abbildung A1.107), dass ein grosser Teil des Hauptastes und der grösseren Nebenflüsse der Gürbe im naturnahen Zustand durch nicht-Salmoniden von der Mündung aus erreichbar wäre. Zusätzlich erkennt man in dunkelgrün die zusätzliche Erhöhung des Gewichts durch die Auen von nationaler Bedeutung im untersten rechten Nebenfluss.

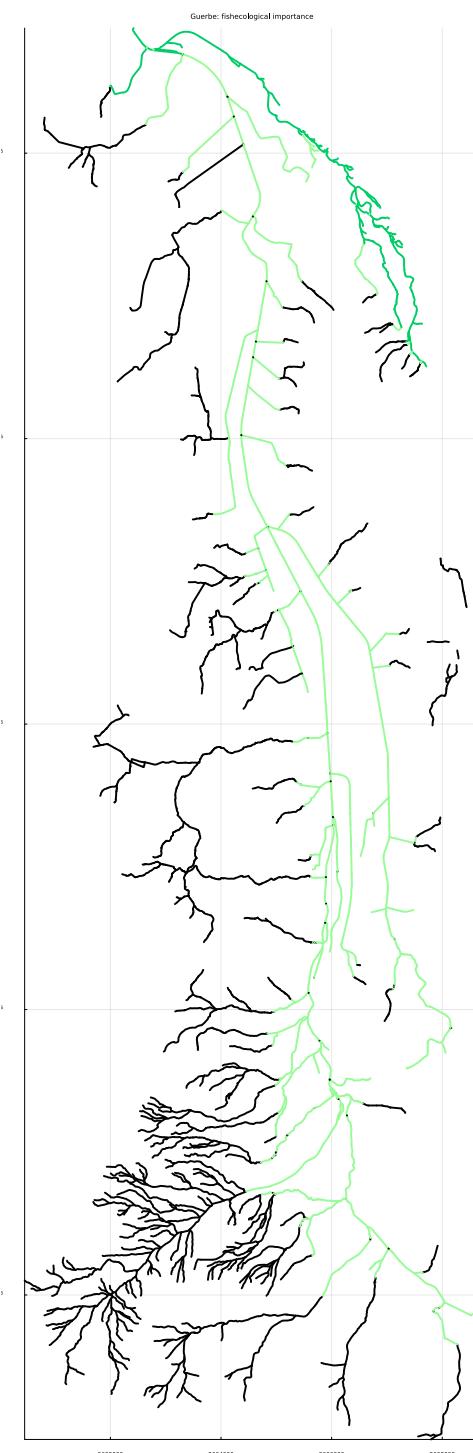


Abbildung A1.105: Beurteilung der fischökologischen Bedeutung gemäss Abschnitt 3.4.1.3 (schwarz = unverändertes Gewicht, rot = Verringerung des Gewichts [hell- oder mittelrot für 1 oder 2 negative Kriterien], grün = Erhöhung des Gewichts [hell- oder mittelgrün für 1 oder 2 positive Kriterien]). Die Gürbe enthält ausschliesslich positive Bewertungen für die im naturnahen Zustand für nicht-Salmoniden erreichbare Region und für Auen von nationaler Bedeutung auf.

#### **A1.3.6.4 Aktueller und naturnaher Zustand**

Die Abbildung A1.106 zeigt die zusammenhängenden Regionen für nicht-Salmoniden und für Salmoniden im aktuellen und im naturnahen Zustand. Es zeigt sich, dass nur ein geringer Anteil der unter natürlichen Bedingungen von der Mündung her erreichbaren Region im aktuellen Zustand erreichbar ist. Zusätzlich ist auch der Oberlauf stark fragmentiert, weist aber auch längere zusammenhängende Regionen auf.

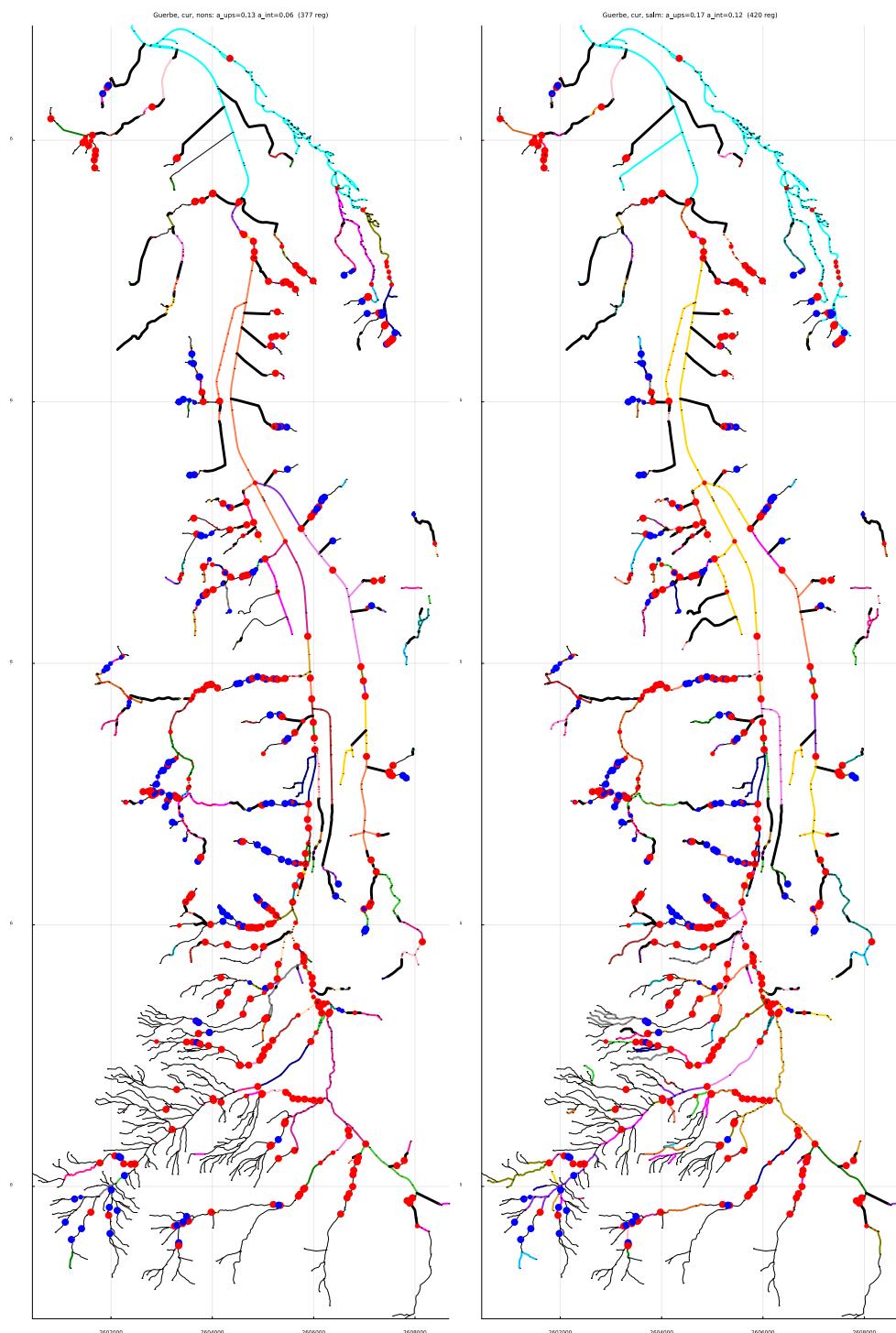


Abbildung A1.106: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im aktuellen Zustand. Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitate. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

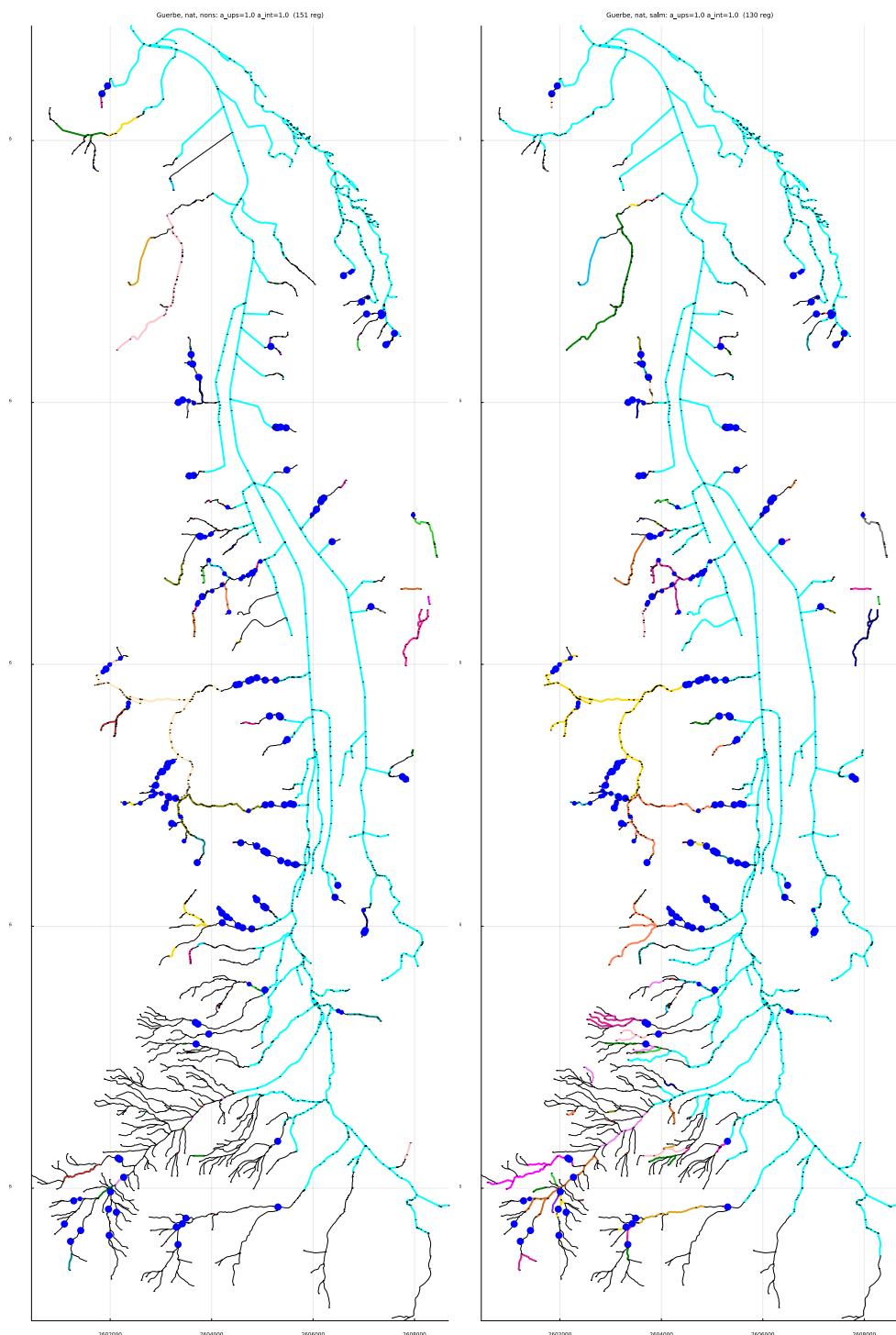


Abbildung A1.107: Zusammenhängende Regionen für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts) im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse und Eindolungen). Die unterste Region, welche die Erreichbarkeit von der Mündung anzeigt, ist türkis, für die anderen Regionen haben die Farben keine spezielle Bedeutung sondern dienen nur der Markierung der zusammenhängenden Regionen. Die dünnen schwarzen Linien repräsentieren zu steile Strecken für Fischhabitatem. Im Titel sind die folgenden Attribute angegeben:  $a_{ups}=a_{ups}$  (3.1),  $a_{int}=a_{int}$  (3.2) und Anzahl Regionen.

Die Abbildung A1.108 zeigt die Bewertung aller Ziele der Zielhierarchie. Der geringe Anteil

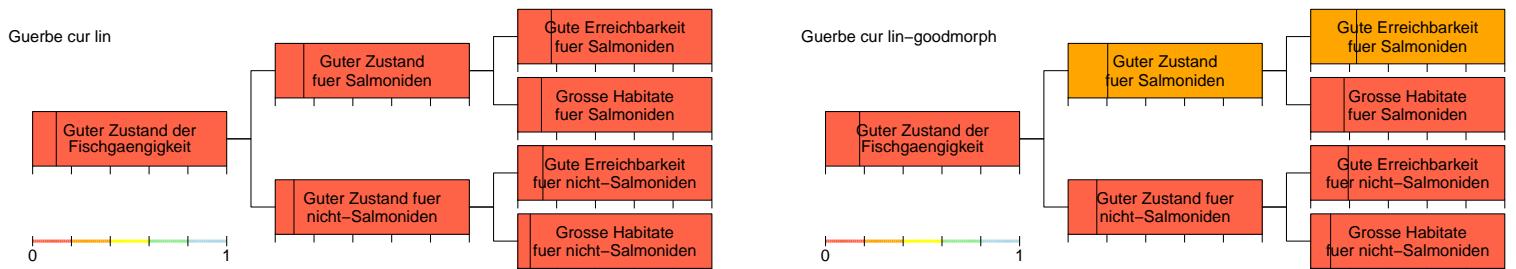


Abbildung A1.108: Bewertung des Zustandes auf allen hierarchischen Niveaus. Die Bewertung jedes Unterziels auf der Skala von 0 bis 1 wird durch die vertikale Linie dargestellt (gemäss der Skala unten links entspricht der linke Rand der Box dem Wert 0, der rechte Rand dem Wert 1). Zusätzlich wird die Box mit der Bewertungsklasse eingefärbt (die Korrespondenz Wert-Klasse ist ebenfalls unten links dargestellt). Die linke Abbildung zeigt den aktuellen Zustand, die rechte Abbildung zeigt den Zustand unter der Annahme, dass sich alle Fliessstrecken in einem guten morphologischen Zustand befinden und zeigt dadurch die Defizite allein durch die künstlichen Hindernisse.

an der natürlicherweise von der Mündung her erreichbaren Region und die starke Fragmentierung führt durchwegs zu einem schlechten Zustand in Bezug auf die Fischmigration.

### A1.3.6.5 Revitalisierungsvarianten

Die untersuchten Varianten sind motiviert durch das Zusammenführen bzw. den Anschluss von grösseren zusammenhängenden Abschnitten an die Mündung. Die Tabelle A1.8 gibt einen

Var.	Anzahl entfernter Barrieren	Länge der ausgedolten Abschnitte	Kosten	Kommentar
1	7	0 m	0.4 MCHF	Erweiterung des untersten rechtsseitigen Nebenflusses für nicht-Salmoniden
2	15	0 m	1.9 MCHF	Erweiterung der Variante 1 auf den unteren Mittellauf der Gürbe
3	19	0 m	2.4 MCHF	Erweiterung der Variante 2 im Mittellauf
4	22	0 m	2.6 MCHF	Erweiterung der Variante 3 im Mittellauf
5	29	0 m	3.0 MCHF	Erweiterung der Variante 4 auf den zweit-untersten grossen rechtsseitigen Nebenfluss

Tabelle A1.8: Überblick über die untersuchten Revitalisierungsvarianten für die Guerbe.

Überblick über die untersuchten Varianten.

Die Abbildungen A1.109 bis A1.118 zeigen die Flussnetzwerkfragmentierungen und die Bewertungen für die in Tabelle A1.8 gelisteten Varianten.

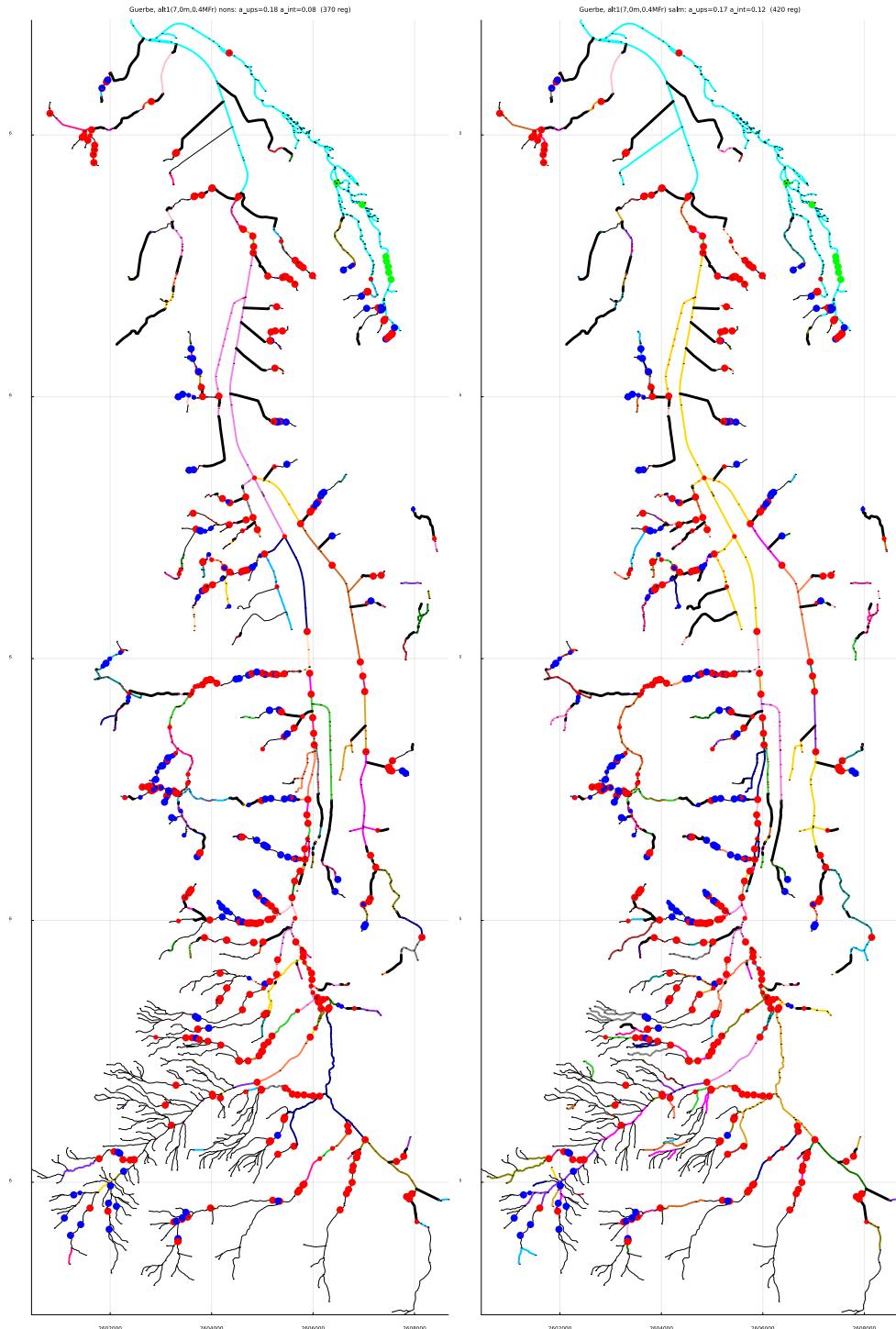


Abbildung A1.109: Variante 1. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

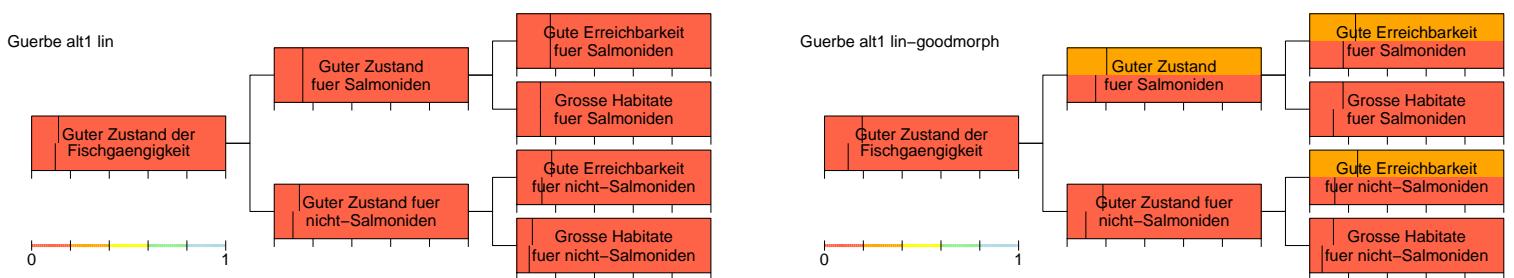


Abbildung A1.110: Vergleich der Bewertung der Variante 1 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

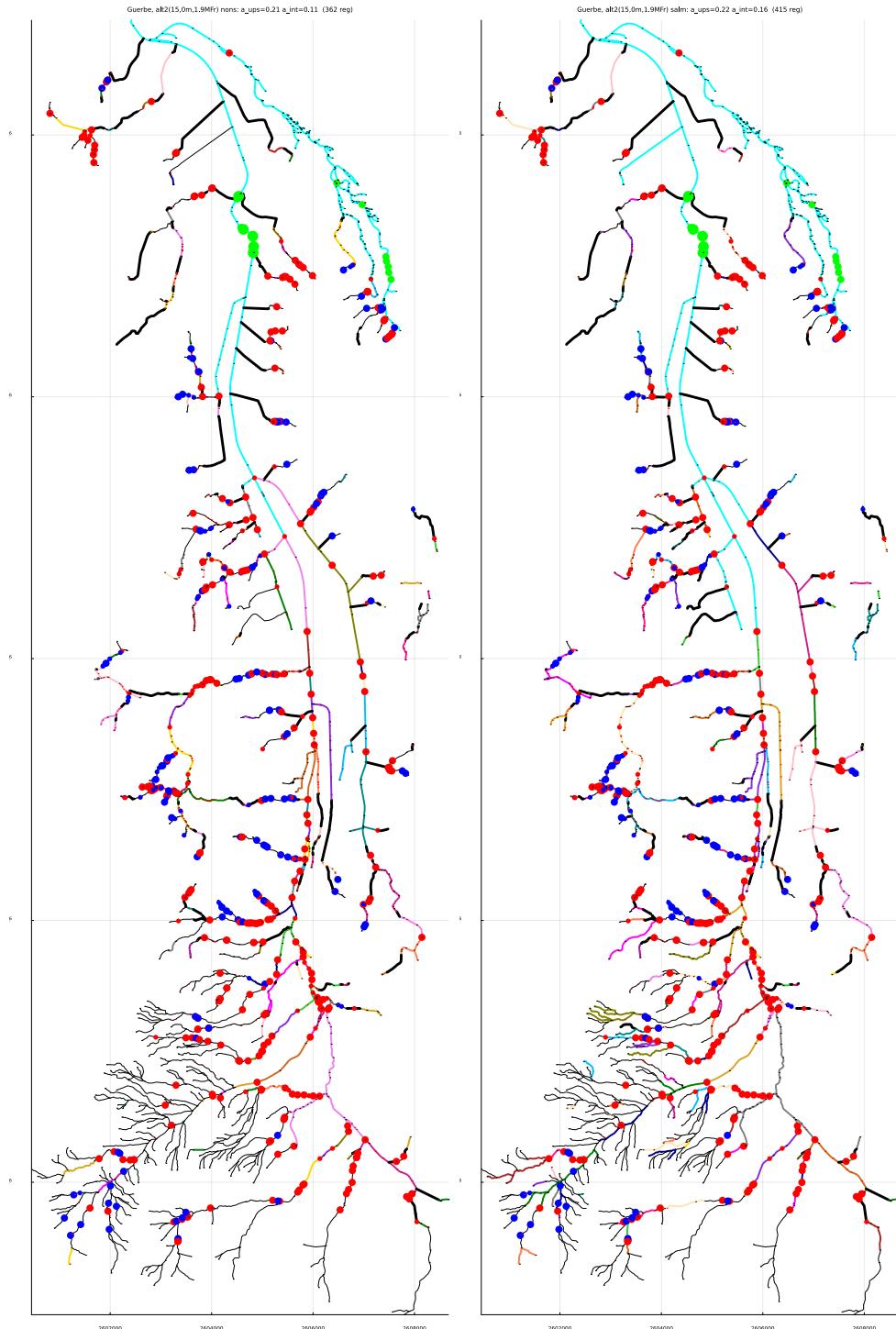


Abbildung A1.111: Variante 2. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

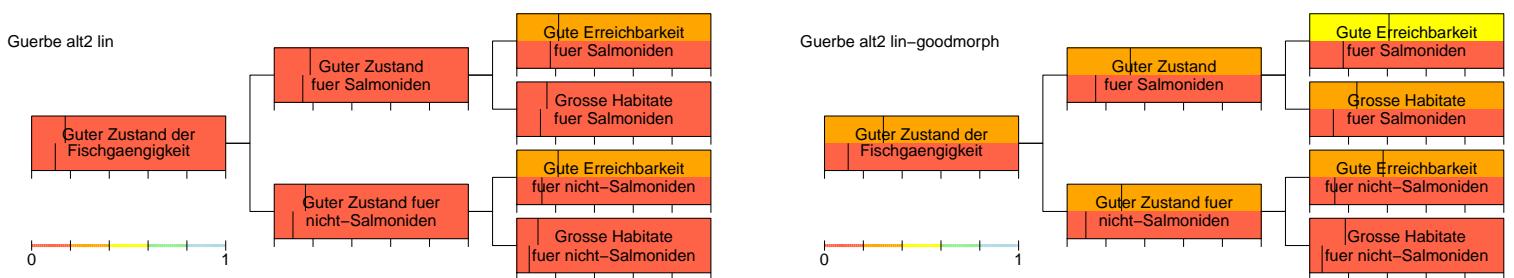


Abbildung A1.112: Vergleich der Bewertung der Variante 2 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

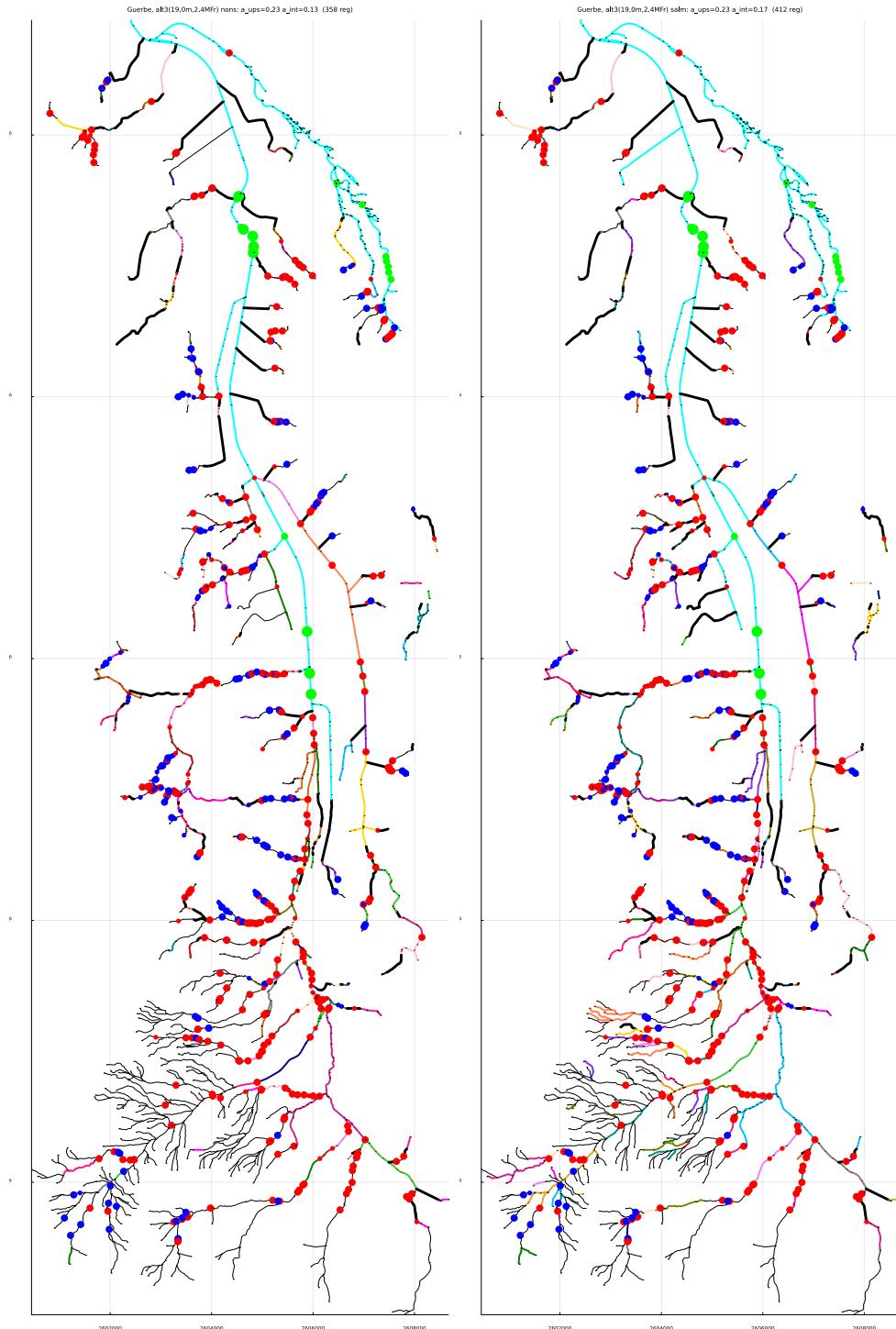


Abbildung A1.113: Variante 3. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

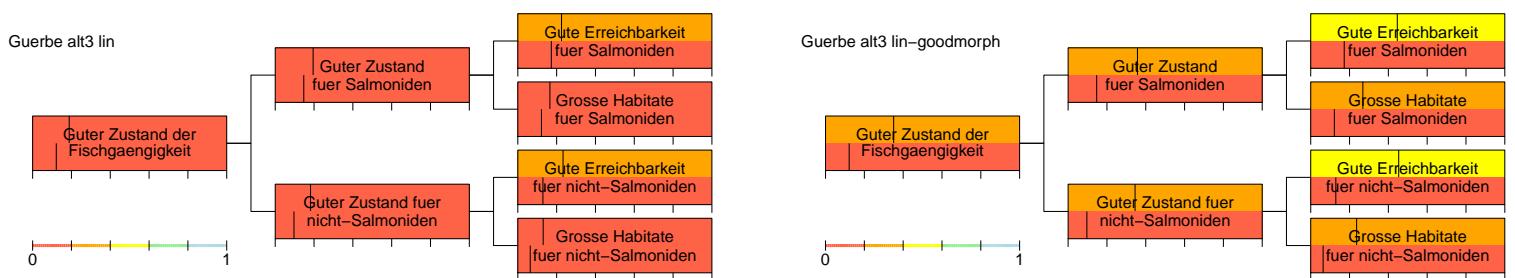


Abbildung A1.114: Vergleich der Bewertung der Variante 3 (obere Hälfte der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

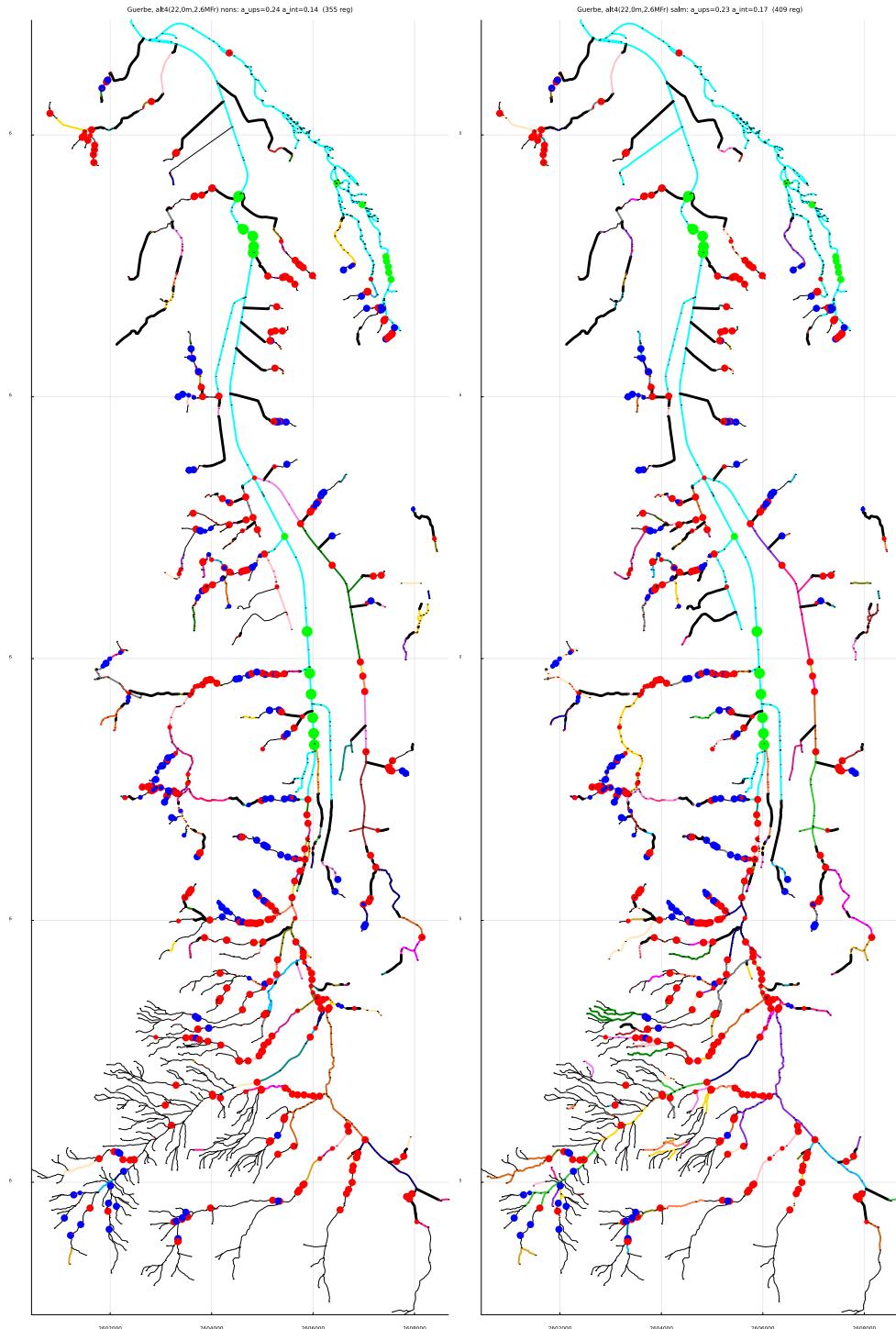


Abbildung A1.115: Variante 4. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

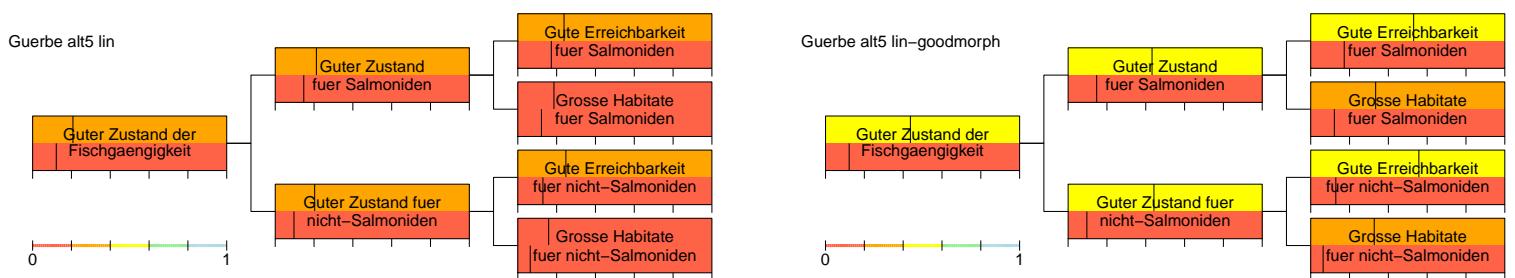


Abbildung A1.116: Vergleich der Bewertung der Variante 4 (obere Hälften der Boxen) mit denjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälften der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

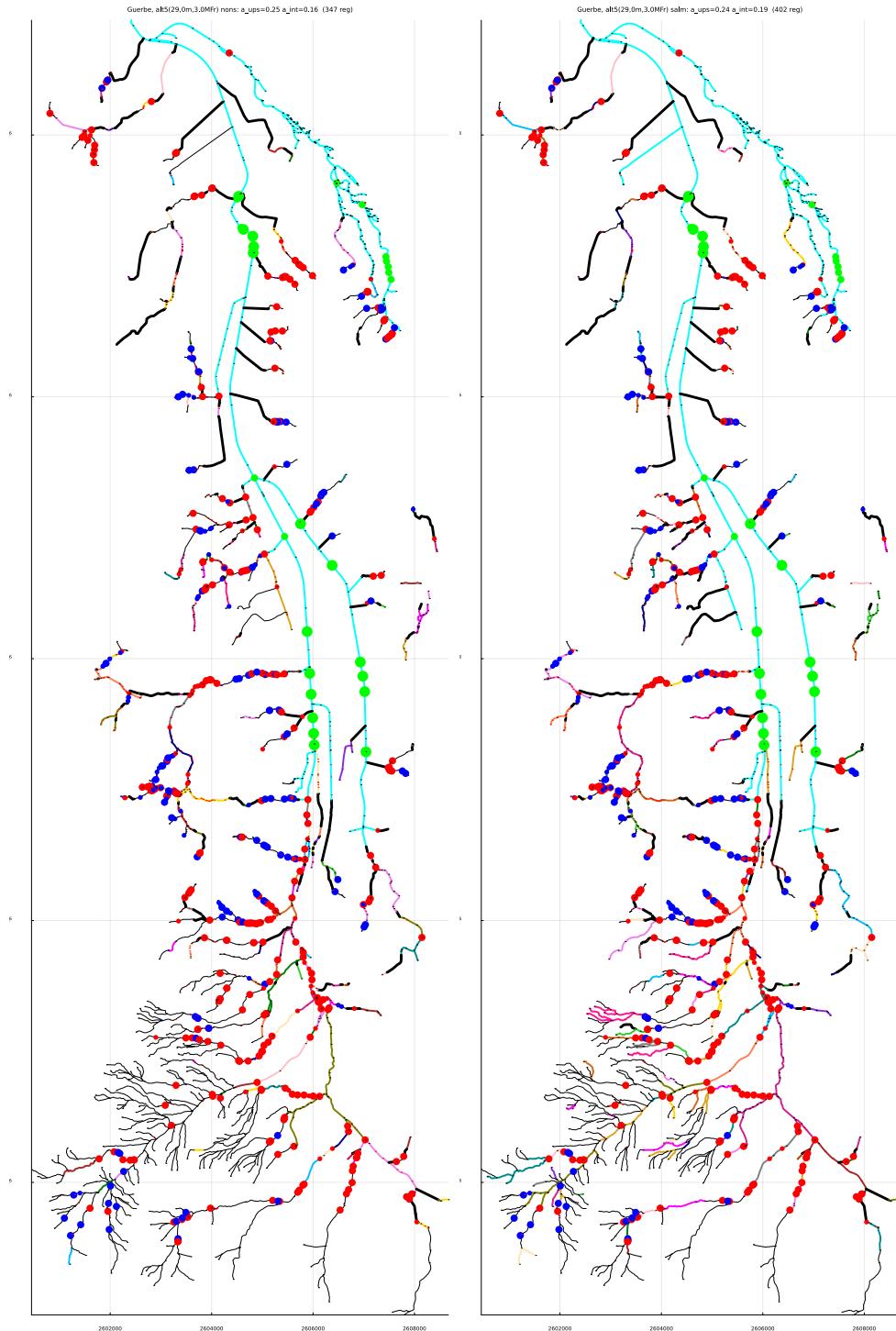


Abbildung A1.117: Variante 5. Zusammenhängende Strecken für nicht-Salmoniden (links) und für Salmoniden (rechts). Entfernte Hindernisse sind hellgrün markiert. Ansonsten gelten die Signaturen wie in Abbildung A1.106 beschrieben.

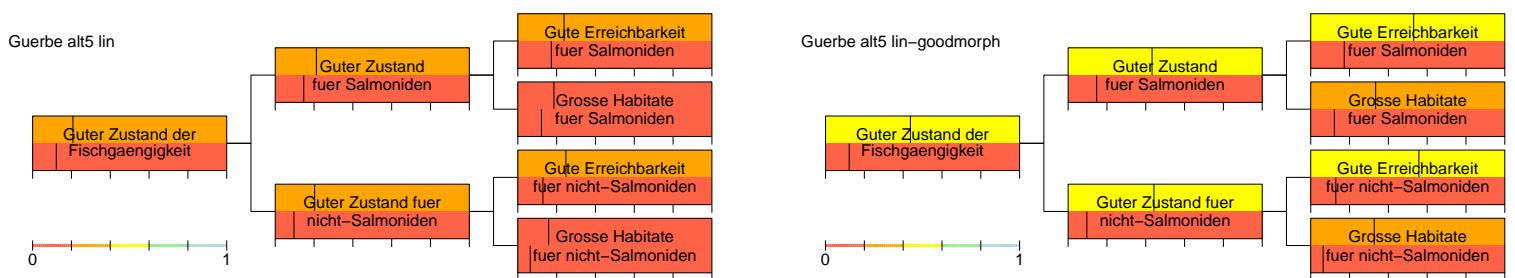


Abbildung A1.118: Vergleich der Bewertung der Variante 5 (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fliesstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden. Siehe Abbildung A1.108 für eine Erklärung der Linien und Farben.

### A1.3.6.6 Zusammenfassung

Die Abbildung A1.119 zeigt die Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten gegen deren Kosten. Diese Übersicht erlaubt es, die Effektivität der Varianten miteinander zu vergleichen. Es

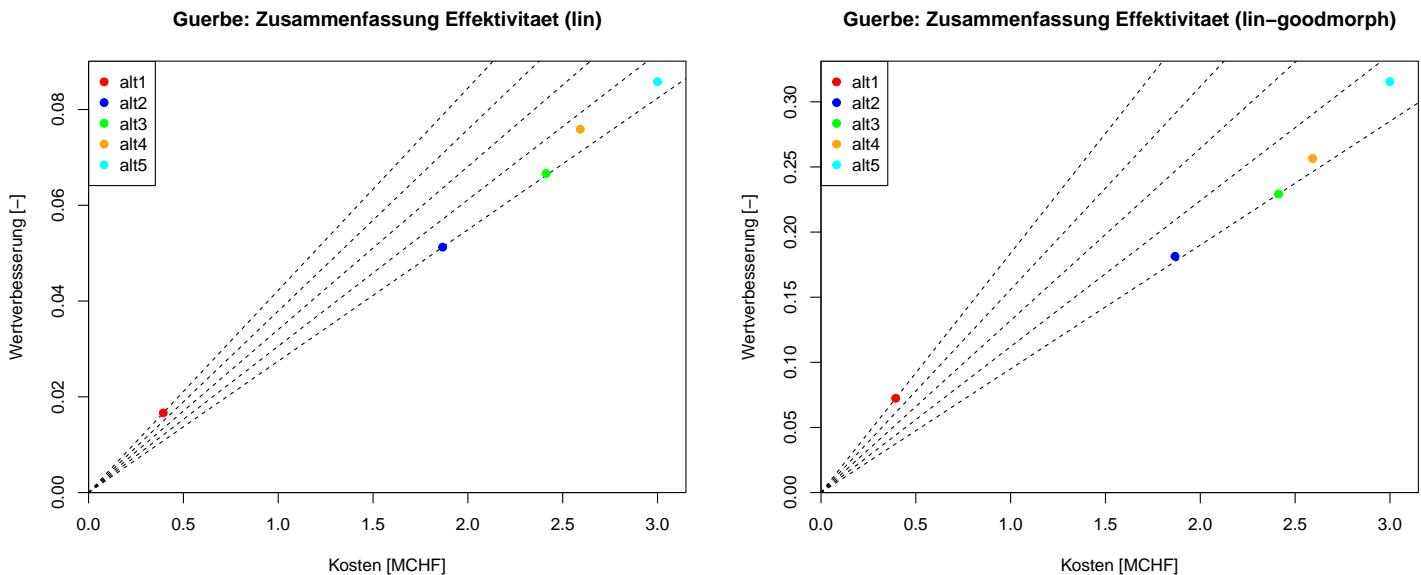


Abbildung A1.119: Wertverbesserungen für alle diskutierten Varianten aufgetragen gegen deren Kosten. Linke Abbildung für die Verbesserung der Fischgängigkeit der Hindernisse ohne Revitalisierung der Flussabschnitte, rechte Abbildung bei Annahme einer sehr guten Morphologie aller Abschnitte.

zeigt sich, dass die zusätzliche Sanierung der Fließstrecken den Wertzuwachs sehr stark erhöht. Zudem sieht man, dass die Variante 1 ein besseres Nutzen zu Kosten Verhältnis aufweist als die Varianten 2 - 5. Diese sind durch die grosse Zahl von zu sanierenden Hindernissen sehr teuer und erschliessen trotzdem keinen sehr grossen Anteil der natürlicherweise von der Mündung her erreichbaren Region.

Um den Effekt der Gewichtung mit der fischökologischen Bewertung zu sehen, zeigt die Abbildung A1.120 die analogen Resultate zur Abbildung A1.119, aber berechnet ohne die fischökologische Bedeutung zu berücksichtigen. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung in der Abbildung A1.119 den Unterschied in der Effektivität zwischen der Variante 1 und den Varianten 2 - 5 verstärkt. Dies liegt daran, dass diese weitere Auengebiete von nationaler Bedeutung an die Aare anschliesst.

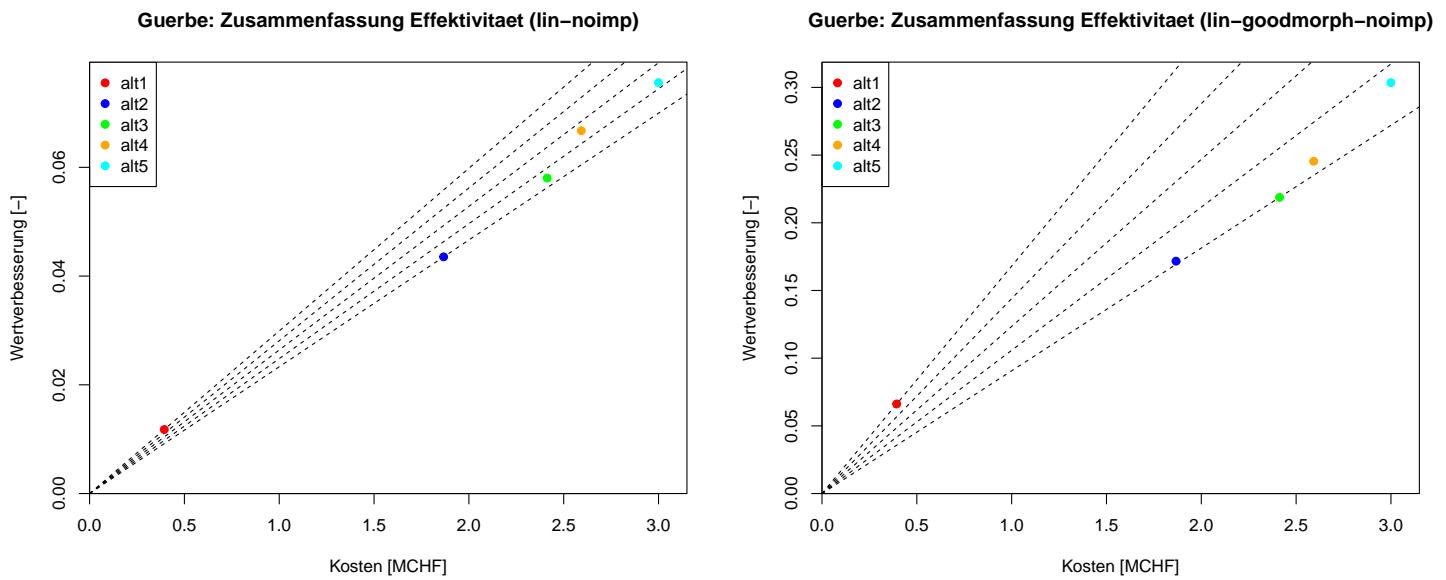


Abbildung A1.120: Analoge Abbildung zur Abbildung A1.119 aber ohne Berücksichtigung der fischökologischen Bedeutung der Fliessstrecken.

### A1.3.7 Einzugsgebietsübergreifende Auswertung

Für die übergreifende Bewertung der sechs Einzugsgebiete der Aare zwischen Thun und Bern berechnen wir die Attribute gemäss den in Abschnitt 3.5 diskutierten Gleichungen (3.6) und (3.7) aus und berechnen die Zielerreichung.

Als Anhaltspunkt für die relative Bedeutung der verschiedenen Einzugsgebiete können wir die Anteile der verschiedenen Einzugsgebiete zu den Nennern in den Gleichungen (3.6) und (3.7) nehmen. Diese ergeben sich wie folgt:

$$f_{\text{ups}}^{(j)} = \frac{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left( \sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j')}(i)=1} f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} \quad (\text{A1.1})$$

und

$$f_{\text{int}}^{(j)} = \frac{\sum_i f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left( \sum_i f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} \quad (\text{A1.2})$$

$f_{\text{ups}}^{(j)}$  beschreibt den Anteil der von der Mündung erreichbaren Habitatgrösse des Einzugsgebietes  $j$  an der Summe aller erreichbaren Habitate der berücksichtigten Einzugsgebiete, während  $f_{\text{ups}}^{(j)}$  den Anteil der totalen Habitatgrösse im Einzugsgebiet  $j$  an der totalen Habitatgrösse aller Einzugsgebiete beschreibt. Beide dieser Grössen werden unter naturnahen Bedingungen, also ohne künstliche Hindernisse ausgewertet. Für Fischgemeinschaften zu steile Gewässerabschnitte sind ausgeschlossen.

Die Abbildung A1.121 zeigt diese Anteile für die beiden Fragmentierungen für Salmoniden und nicht-Salmoniden für die Einzugsgebiete der sechs Zuflüsse zur Aare zwischen Thun und Bern. Es zeigt sich, dass bezüglich der möglichen Habitatgrösse die Gürbe dominiert, gefolgt von der Zulg und dem Glütschbach. Die Rotache und die Chise weisen speziell kleine Anteile für die von der Mündung her erreichbaren Habitate auf. Diese Anteile geben einen guten Einblick in die mögliche Bedeutung der Teileinzugsgebiete auf das Gesamtsystem. Bei der Bewertung werden aber die Habitatgrössen im zu untersuchenden Zustand und nicht die natürlichen Habitatgrössen verwendet.

Führt man die einzugsgebietsübergreifende Bewertung ausgewählter Varianten in einzelnen Teileinzugsgebieten durch, ergeben sich die in den Abbildungen A1.122 bis A1.124 gezeigten Resultate. Wegen der Normierung der Attribute über alle sechs Einzugsgebiete hinweg ergeben sich kleinere Wertverbesserungen als bei der Bewertung der einzelnen Einzugsgebiete in den vorangehenden Unterabschnitten.

Schlussendlich fasst die Abbildung A1.125 nochmals den Wertzuwachs wichtiger Kombinationen von Varianten gegenüber den geschätzten Kosten dar. Die linke obere Abbildung bestätigt

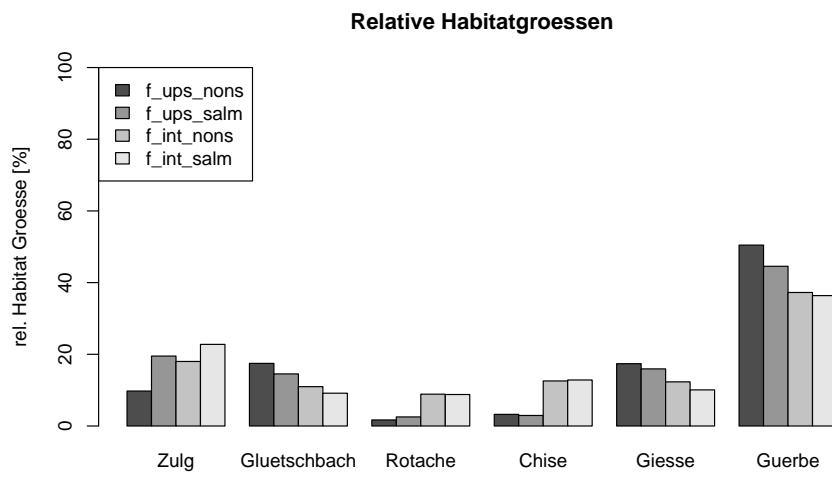


Abbildung A1.121: Relative Einzugsgebietsgrößen der von der Mündung erreichbaren Regionen (jeweils linke zwei Säulen) bzw. der totalen Habitate (jeweils rechte zwei Säulen) gemäss den Gleichungen (A1.1) und (A1.2) für Salmoniden (linke der beiden benachbarten Säulen) und nicht-Salmoniden (rechte der benachbarten Säulen).

den relativ zu den anderen Zuflüssen kleineren Beitrag, den die Chise und die Rotache leisten können und zeigt, dass insbesondere die Varianten am Glütschbach und an der Giesse ein im Vergleich sehr grosses Nutzen zu Kosten Verhältnis aufweisen. Mit etwas höheren Investitionen können auch die Varianten im Zulg-Einzugsgebiet wesentlich zur Verbesserung beitragen während die Varianten an der Chise und Rotache nur einen geringeren Beitrag leisten können. Aus diesem Grund würde man wohl hier die Varianten am Glütschbach und an der Giesse und allenfalls die Variante 3 an der Zulg in die Nutzenkategorie “hoch” einteilen, die anderen Varianten in die Nutzenkategorie “mittel” und alle Hindernisse, die für keine Variante berücksichtigt wurden, in die Nutzenkategorie “gering”.

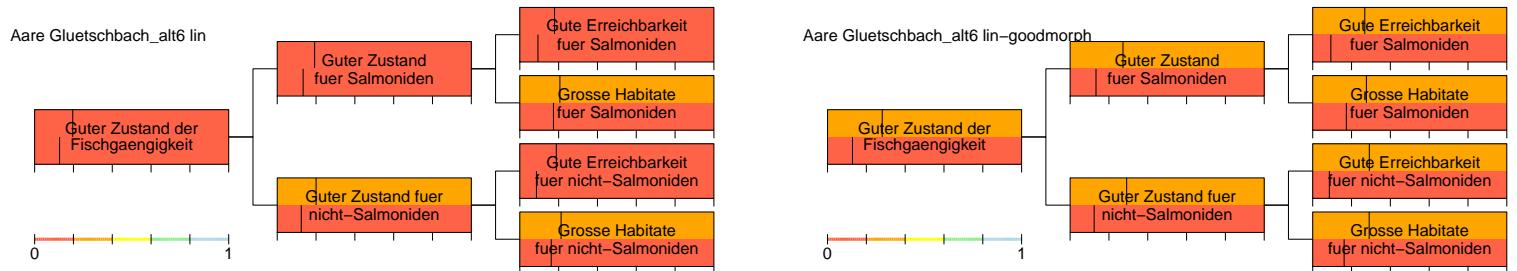


Abbildung A1.122: Vergleich der Bewertung der Variante 6 am Glütschbach für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden.

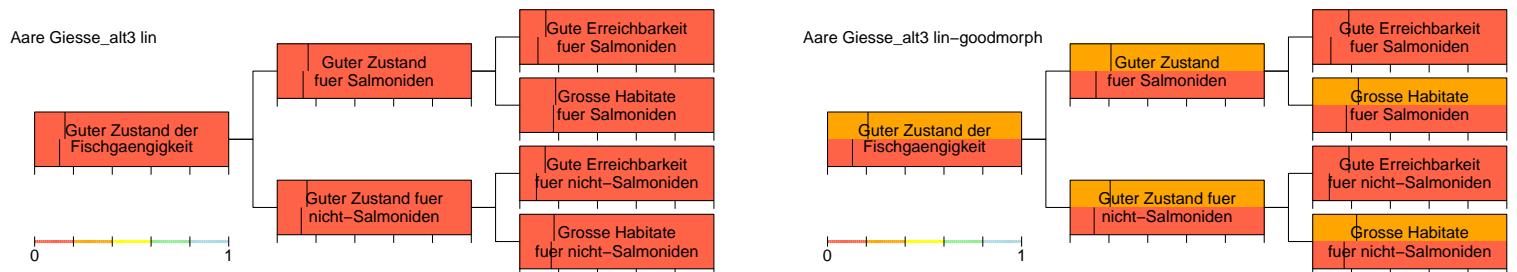


Abbildung A1.123: Vergleich der Bewertung der Variante 3 an der Giesse für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden.

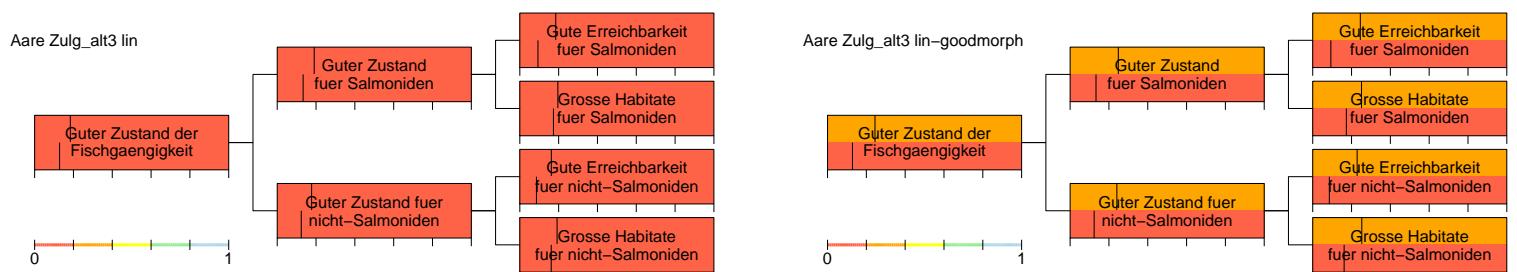


Abbildung A1.124: Vergleich der Bewertung der Variante 3 an der Zulg für das Gesamtsystem der Aare auf der Strecke Thun-Bern (obere Hälfte der Boxen) mit derjenigen im aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen). In der linken Abbildung zeigt die obere Hälfte der Boxen den Zustand der Variante mit dem aktuellen Zustand der Fließstrecken, in der rechten Abbildung unter der Annahme, dass sich alle Strecken in einem sehr guten morphologischen Zustand befinden.

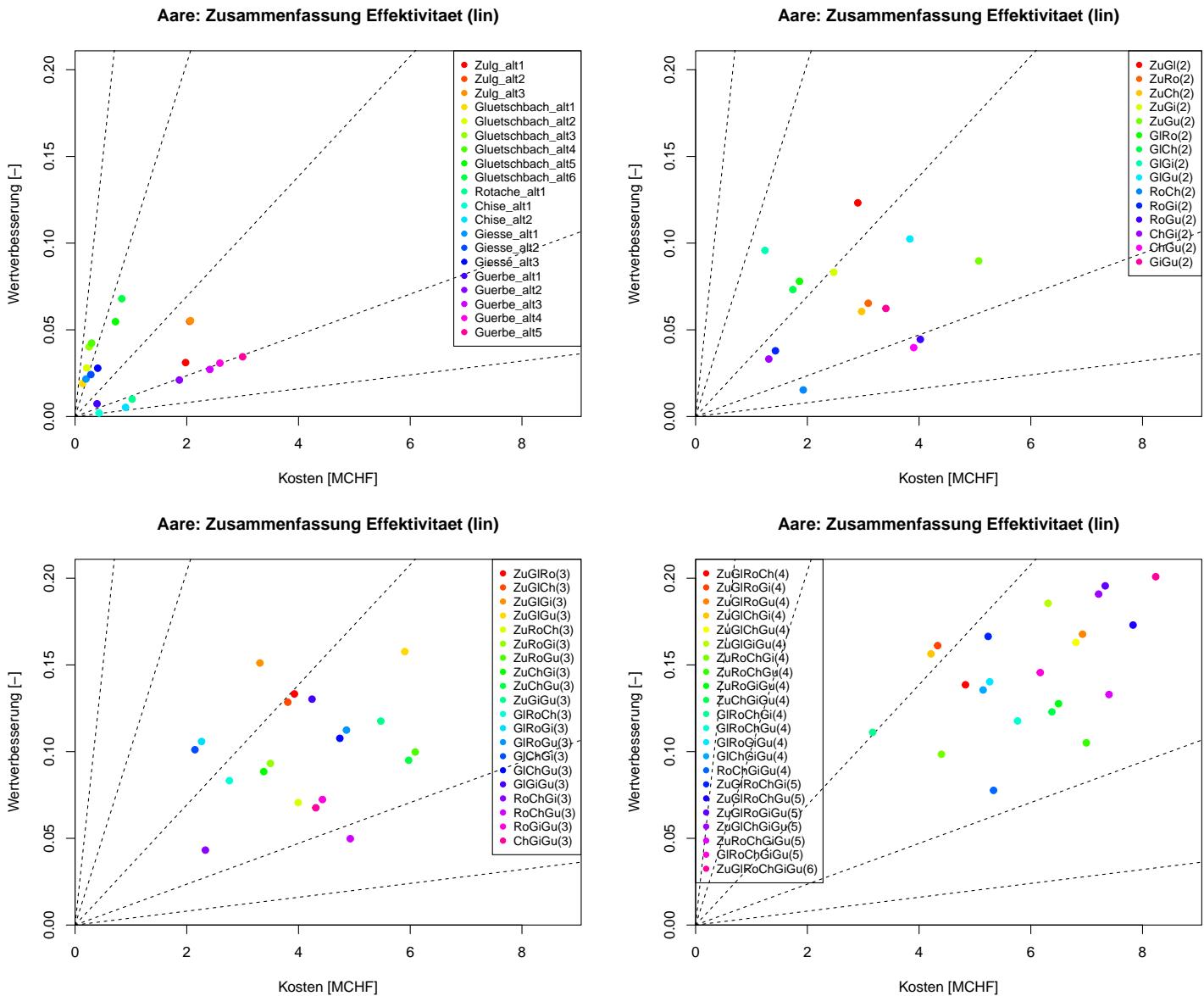


Abbildung A1.125: Wertzuwachs über alle Einzugsgebiete hinweg für einige Kombinationen der diskutierten Varianten in allen sechs Zuflüssen gegenüber den Kosten. Links oben: für Varianten in einzelnen Zuflüssen. Rechts oben: für Kombinationen von zwei Varianten in verschiedenen Zuflüssen. Links unten: für Kombinationen von Varianten in 3 Zuflüssen. Rechts unten: für Kombinationen von Varianten in 4, 5 oder allen 6 Zuflüssen. Bei allen Abbildungen ausser derjenigen links oben, wurden die besten Varianten in den Teileinzugsgebieten gewählt.



## Anhang 2: Attributberechnung

Die Formeln (3.6) und (3.7) beschreiben die Berechnung der Attribute für die einzugsgebietsübergreifende Bewertung. Zur Verbesserung der Übersicht werden sie hier nochmals wiedergegeben:

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_j \left( \sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=1} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)}{\sum_j \left( \sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right)} . \quad (\text{A2.3})$$

und

$$a_{\text{int}} = \sum_j \left( \sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}^{(j)}} w_k^{(j)} \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=k_{\text{assoc}}(k)} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}} \right) \quad (\text{A2.4a})$$

mit

$$w_k^{(j)} = \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{j'} \left( \sum_i f_i^{(j')} \cdot o_i^{(j')} \cdot l_i^{(j')} \right)} . \quad (\text{A2.4b})$$

Da es einfacher ist, die Fragmentierungsanalyse für die verschiedenen Teileinzugsgebiete separat durchzuführen, zeigen wir hier auf, welche Größen für jedes Teileinzugsgebiet berechnet werden müssen, um die Attribute für die Teileinzugsgebiete und für die einzugsgebietsübergreifende Analyse leicht berechnen zu können.

Dazu führen wir die folgenden Habitatgrößen für jedes Einzugsgebiet  $j$  ein:

$$h_{\text{ups}}^{\text{inv}(j)} = \sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=1} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \quad (\text{A2.5})$$

$$h_{\text{ups}}^{\text{nat}(j)} = \sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=1} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \quad (\text{A2.6})$$

Mit diesen Größen kann das Attribut  $a_{\text{ups}}$  sehr leicht für jedes Teileinzugsgebiet  $j$  als auch über die Teileinzugsgebiete hinweg berechnet werden:

$$a_{\text{ups}}^{(j)} = \frac{h_{\text{ups}}^{\text{inv}(j)}}{h_{\text{ups}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.7})$$

$$a_{\text{ups}} = \frac{\sum_j h_{\text{ups}}^{\text{inv}(j)}}{\sum_j h_{\text{ups}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.8})$$

Analog führen wir für die interne Fragmentierung die folgenden Habitatgrößen ein:

$$h_{\text{int}}^{\text{inv}(j)} = \sum_{k=1}^{n_{\text{inv}}^{(j)}} \left( \left( \sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \right) \frac{\sum_{i:k_{\text{inv}}^{(j)}(i)=k} s_i^{(j)} \cdot f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}}{\sum_{i:k_{\text{nat}}^{(j)}(i)=k_{\text{assoc}}(k)} f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)}} \right) \quad (\text{A2.9})$$

$$h_{\text{int}}^{\text{nat}(j)} = \sum_i f_i^{(j)} \cdot o_i^{(j)} \cdot l_i^{(j)} \quad (\text{A2.10})$$

Auch hier kann dann das Attribut  $a_{\text{int}}$  sehr leicht für jedes Teileinzugsgebiet  $j$  als auch über die Teileinzugsgebiete hinweg berechnet werden:

$$a_{\text{int}}^{(j)} = \frac{h_{\text{int}}^{\text{inv}(j)}}{h_{\text{int}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.11})$$

$$a_{\text{int}} = \frac{\sum_j h_{\text{int}}^{\text{inv}(j)}}{\sum_j h_{\text{int}}^{\text{nat}(j)}} \quad (\text{A2.12})$$

Damit entfällt die Notwendigkeit, die Fragmentierungsanalyse über die Teileinzugsgebiete hinweg durchzuführen.

# Anhang 3: Glossar

## Attribut

Messbare, objektive Eigenschaft eines Systems, welche für dessen Zustandsbewertung nützlich ist.

*Beispiel: Anteil des unter aktuellen Bedingungen von der Mündung erreichbaren Flusssystems am unter natürlichen Bedingungen erreichbaren Flusssystem. Siehe Kapitel 3.4.1.*

## Fundamentalziel

Ziel, das man grundsätzlich erreichen will. Konzeptionell sind die Fundamentalziele die wichtigen Ziele (siehe auch “Instrumentalziel”), diese sind aber oft wegen der schlechten Vorhersagbarkeit ihrer Erreichung schwierig praktisch anzuwenden.

*Beispiel: Erhaltung oder Wiederherstellung der natürlichen Biodiversität der Fischgemeinschaft. Siehe Kapitel 1.*

## Instrumentalziel

Ziel, das man besser quantifizieren kann oder dessen Erreichung man besser vorhersagen kann als die Fundamentalziele (siehe “Fundamentalziel”), dessen Erreichung aber zur Erreichung der Fundamentalziele beitragen soll.

*Beispiel: Gute Vernetzung von Habitaten für die verschiedenen Lebenszyklen der Fische. Siehe Kapitel 1.*

## Revitalisierungsvariante

In diesem Bericht: Menge von Hindernissen (Barrieren und/oder Eindolungen), deren Sanierung für die Verbesserung der Fischgängigkeit untersucht werden soll. Eine Variante kann auch aus einem einzelnen Hindernis bestehen; in der Regel bestehen interessante Varianten, welche grössere fischgängige Regionen miteinander verbinden aber aus mehreren Hindernissen.

*Beispiel: Hindernisse, deren Sanierung den Aufstieg von Fischen aus dem Hauptfluss in ein Seitengewässer ermöglichen würden. Siehe viele Beispiele in Anhang A1.*

## Variante

Abkürzung für “Revitalisierungsvariante”.

## **Wertfunktion**

Quantitative Bewertung eines Systems auf der Zielerreichungsskala von 0 bis 1, in Funktion des durch die Attribute (siehe “Attribute”) charakterisierten Systemzustands. Im Gegensatz zu den objektiven Attributen ist die Bewertung des Zustandes auf die Einschätzung des Zielerreichungszustandes durch Fachleute angewiesen. Diese Subjektivität kann durch “intersubjektive” Einschätzungen von Gruppen von Fachpersonen reduziert werden. Siehe auch Bemerkung unter “Zielhierarchie” für die Konstruktion einer Wertfunktion.

*Beispiel: Siehe Kapitel 3.4.2.*

## **Zielhierarchie**

Ein Ziel kann oft in Unterziele aufgeteilt werden, die möglichst unabhängig voneinander sind, aber gemeinsam die wesentlichen Aspekte des Oberziels abdecken. Eine iterative Anwendung dieses Konzepts ausgehend vom übergeordneten Ziel führt zu einer Zielhierarchie. Eine Zielhierarchie ist aus zwei Gründen nützlich: Erstens klärt sie auf übersichtliche Art, was mit den übergeordneten Zielen gemeint ist und unterstützt damit die Zieldiskussion und trägt zur Transparenz in der Kommunikation bei. Zweitens kann sie die Konstruktion einer Wertfunktion (siehe “Wertfunktion”) erleichtern, da diese hierarchisch konstruiert werden kann. Die Quantifizierung der Zielerreichung von Unterzielen ist in der Regel einfacher, da sie weniger Attribute (siehe “Attribut”) benötigt, als diejenige eines umfassenderen Oberziels. Die Quantifizierung von übergeordneten Zielen kann dann auf den Zielerreichung ihrer Unterziele aufbauen.

*Beispiel: Siehe Abbildung 2.1 und für die Konstruktion einer Wertfunktion Kapitel 3.4.2.*

# Literaturverzeichnis

- AquaViva (2019). Gezielter Rückbau von Hindernissen in Fliessgewässern - Leitfaden v1. Technical report, Aqua Viva, Winterthur, <https://aquaviva.ch>.
- BAFU (2007). Gewässernetz der Schweiz - gwn25. Bundesamt für Umwelt (BAFU), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wasser/zustand/karten/karten-und-abgeleitete-daten/gewaessernetz-der-schweiz.html>.
- BAFU (2016). Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen: Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1634.
- BAFU (2017). Biotope von nationaler Bedeutung - Auen. Bundesamt für Umwelt (BAFU), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/oekologische-infrastruktur/biotope-von-nationaler-bedeutung/auen.html>.
- Baldan, D., Cunillera-Montcusi, D., Funk, A., and Hein, T. (2022). Introducing ‘riverconn’: an R package to assess river connectivity indices. *Environmental Modelling and Software*, 156:105470.
- Eisenführ, F., Weber, M., and Langer, T. (2010). *Rational Decision Making*. Springer, Berlin.
- Göggel, W. (2012). Revitalisierung Fliessgewässer: Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1208.
- Gregory, R., Failing, L., Harstone, M., Long, G., McDaniels, T., and Ohlson, D. (2012). *Structured Decision Making: a Practical Guide to Environmental Management Choices*. Wiley-Blackwell Publishing, Hoboken, New Jersey, USA.
- Jumani, S., Deitch, M. J., Vall, D., Machado, S., Lecours, V., Kaplan, D., Krishnaswamy, J., and Howard, J. (2022). A new index to quantify longitudinal river fragmentation: Conservation and management implications. *Ecological Indicators*, 136:108680.
- Keeney, R. L. (1992). *Value-Focused Thinking*. Harvard University Press, Cambridge.
- Keeney, R. L. and Raiffa, H. (1976). *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley.

- Kuemmerlen, M., Reichert, P., Siber, R., and Schuwirth, N. (2019). Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale. *The Science of the Total Environment*, 650:1613–1627.
- Langhans, S. D. and Reichert, P. (2011). Einbettung von Verfahren zur Fließgewässerbewertung in ein übergeordnetes Gewässermanagementkonzept. *Wasser Energie Luft*, 103(3):204–214.
- Linkov, I. and Moberg, E. (2012). *Multi-criteria Decision Analysis. Environmental Applications and Case Studies*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Reichert, P., Langhans, S. D., Lienert, J., and Schuwirth, N. (2015). The conceptual foundation of environmental decision support. *Journal of Environmental Management*, 154:316–332.
- swisstopo (2007). smv25 - Swiss Map Vector 25. Bundesamt für Landestopografie (swisstopo), <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/maps/smvs/mv25.html>.
- swisstopo (2023). Landschaftsmodelle. Bundesamt für Landestopografie (swisstopo), <https://www.swisstopo.admin.ch/de/geodata/landscape.html>.
- von Winterfeldt, D. and Edwards, W. (1986). *Decision Analysis and Behavioural Research*. Cambridge University Press.
- Zeh Weissmann, H., Könitzer, C., and Bertiller, A. (2009). Strukturen der Fließgewässer in der Schweiz - Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Technical report, Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1634.