

PRIORISIERUNG DER SANIERUNG KÜNSTLICHER FISCHWANDERHINDERNISSE

UNTERSTÜTZUNG BEI DER STRATEGISCHEN PLANUNG DER REVITALISIERUNG VON FLIESSGEWÄSSERN

Das Priorisierungskonzept zur Sanierung von künstlichen Fischwanderhindernissen beruht auf Fragmentierungsanalysen des Einzugsgebiets. Diese bieten einen Überblick über die für Fische zusammenhängenden Regionen im aktuellen und im natürlichen Zustand. Hindernisse, deren Sanierung die Vernetzung mit dem Hauptfluss verbessert oder grosse zusammenhängende Regionen verbindet, bringen einen besonders grossen potenziellen Gewinn für die Fischgemeinschaft.

*Peter Reichert, Wasser-Agenda 21; Isabelle Ambord, Bundesamt für Umwelt; Kuno von Wattenwyl, Amt für Gewässer des Kant. Schwyz
Sandro Schläppi, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kant. Bern; Manuel Pompini, Amt für Wald und Natur des Kant. Freiburg
Werner Dönni, Fischwerk; Gregor Thomas, Bundesamt für Umwelt; Rosi Siber; Nele Schuwirth, Eawag*

RÉSUMÉ

PRIORISATION DE L'ASSAINISSEMENT DES OBSTACLES ARTIFICIELS À LA LIBRE MIGRATION DES POISSONS

La procédure de priorisation de l'assainissement des obstacles artificiels à la migration des poissons repose sur des analyses de fragmentation du bassin versant, fournissant une vue d'ensemble des régions piscicoles connectées dans l'état actuel et naturel. L'assainissement d'obstacles qui améliorent la connectivité avec le cours d'eau principal ou qui relient de grandes régions contiguës, bénéficiant d'un bon état écomorphologique ou devant être revitalisées prochainement, apporte un gain potentiel particulièrement important pour la communauté piscicole.

La procédure de priorisation compte sept étapes:

1. Détermination des zones à l'intérieur desquelles la priorisation doit être effectuée;
2. Analyse de la fragmentation des bassins versants, affluents des grands fleuves et lacs;
3. Identification des «obstacles clés» pour réduire la fragmentation et élaboration de variantes de revitalisation (combinaisons prometteuses d'obstacles à assainir);
4. Quantification du bénéfice et évaluation des coûts des variantes de revitalisation dans les bassins versants;
5. Évaluation des variantes à l'échelle des bassins versants et estimation du rapport bénéfice-coût;
6. Présélection provisoire et classification selon les bénéfices;
7. Validation avec des experts locaux possédant une connaissance approfondie du terrain pour la sélection finale.

EINLEITUNG

Im Zuge der Revision des Gewässerschutzgesetzes von 2011 wurde ein auf 80 Jahre ausgelegtes Revitalisierungsprogramm gestartet. Mit Unterstützung durch das Vollzugshilfemodul für die strategische Revitalisierungsplanung von 2012 [1] haben die Kantone 2014 ihre erste strategische Revitalisierungsplanung für Fließgewässer durchgeführt. Gemäss der Gewässerschutzverordnung steht bis Ende 2026 die Aktualisierung der strategischen Planung der Revitalisierung der Fließgewässer an.

Die Erfahrungen mit dem Vollzugshilfemodul von 2012 führten zu den folgenden Erkenntnissen: Für die Priorisierung der Revitalisierung von Fließgewässerabschnitten konnte das Modul zwar erfolgreich eingesetzt werden, aber eine Ergänzung bezüglich der Verbesserung der aquatischen Längsvernetzung für die Planung von 2026 wäre sehr nützlich. Aus diesem Grund wurde vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Arbeitsgruppe eingesetzt, um ein Verfahren zu erarbeiten, das die Kantone dabei unterstützen kann, den Nutzen der Beseitigung künstlicher Fischwanderhindernisse zu evaluieren und diese in Bezug auf ihre Sanierung zu priorisieren. Die Vor-

*Kontakt: P. Reichert, peter.reichert@emeriti.eawag.ch, <https://peterreichert.github.io>
N. Schuwirth, nele.schuwirth@eawag.ch*

schläge dieser Arbeitsgruppe wurden in einem BAFU-Bericht publiziert [2]. Der Artikel stellt das Konzept vor und gibt einen Einblick in das vorgeschlagene Priorisierungsverfahren anhand eines Beispiels. Es geht dabei um Hindernisse, die nicht wegen der Wasserkraftnutzung erstellt wurden, da diese in einem separaten Programm «Sanierung Wasserkraft» saniert werden. Für weitere Informationen und Details wird auf den Originalbericht verwiesen [2].

KONZEPT

HAUPTZIELE

Die Hauptziele der Revitalisierung der Fliessgewässer in Bezug auf die Fischgemeinschaft sind folgende drei:

Hauptziel 1

Die natürliche Biodiversität wiederherstellen und zu erhalten.

Hauptziel 2

Die selbstständige Erhaltung der Fischgemeinschaft verbessern.

Hauptziel 3

Die Resilienz verbessern (Erholungs-fähigkeit bei Störung).

INSTRUMENTALZIELE

In Bezug auf die Fischmigration werden folgende Instrumentalziele gesetzt, deren Erreichung einfacher zu prognostizieren ist als das jeweilige Hauptziel, zu dem das Instrumentalziel beitragen soll.

- Gute Vernetzung von Habitaten für die verschiedenen Lebenszyklen (Laich-

gebiete, Larvenhabitate, Jungfischhabitate, Adulthabitate, Ruhezonen usw. für natürlich vorkommende Arten)

Beitrag zu Hauptziel 2:

Unterstützung der selbstständigen Erhaltung der Fischpopulationen

- Vernetzung von Habitaten unterschiedlicher Struktur (etwa Refugien bei Hochwasser, Kaltwasserrefugien, Refugien mit geringerem Prädationsdruck etc.)

Beitrag zu den Hauptzielen 1 und 3

Förderung der Diversität durch Habitate für unterschiedliche Fischarten und der Resilienz durch geschütztere Refugien, aus denen andere Strecken nach Störungen wiederbesiedelt werden können.

- Gute Vernetzung von kleineren Habitaten mit grösseren Quellpopulationen, insbesondere aus den in der Regel artenreicheren grösseren Fliessgewässern.

Beitrag zu den Hauptzielen 1 und 3

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.

Beitrag zu den Hauptzielen 1 und 3:

Förderung der teilweisen Wiederherstellung der natürlichen Biodiversität

und der Resilienz durch die Vergrösserung der Habitats.

VEREINFACHTE INSTRUMENTALZIELE

Bei fehlender Information über die Habitatstruktur und die Fischgemeinschaft, können diese Instrumentalziele wie folgt vereinfacht werden:

- gute Erreichbarkeit von Habitaten in gutem Zustand vom Ausfluss des Einzugsgebiets her
- Vorhandensein grosser zusammenhängender Habitats in gutem Zustand im Einzugsgebiet, unabhängig von deren Erreichbarkeit vom Ausfluss des Einzugsgebiets

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: «Salmoniden» und «Nichtsalmoniden». Damit sind generell sprungstarke und sprungschwache Arten gemeint, was oft, aber nicht immer, mit Salmoniden und Nichtsalmoniden übereinstimmt.

Unter Verwendung der vereinfachten Instrumentalziele erhält man dann die in *Figur 1* dargestellte Zielhierarchie. Diese Ziele werden immer im Vergleich zum naturnahen Zustand beurteilt. Dieser wird 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.

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, deren Sanierung die mit möglichst wenig Aufwand möglichst grosse zusammenhängende Regionen schaffen können. Dies ist das Kernelement des vorgeschlagenen Verfahrens, das basierend auf der Arbeit von *Kuemerlen et al.* [3] entwickelt wurde. Diese Vernetzungs- bzw. Fragmentierungsanalysen werden für die Einzugsgebiete der Zuflüsse von grossen Fliessgewässern durchgeführt, denn die Hindernisse in diesen sind meist Wasserkraftwerke, deren Verbesserung der Fischgängigkeit bereits beschlossen ist [4]. Die Analyse der einzelnen Teil-

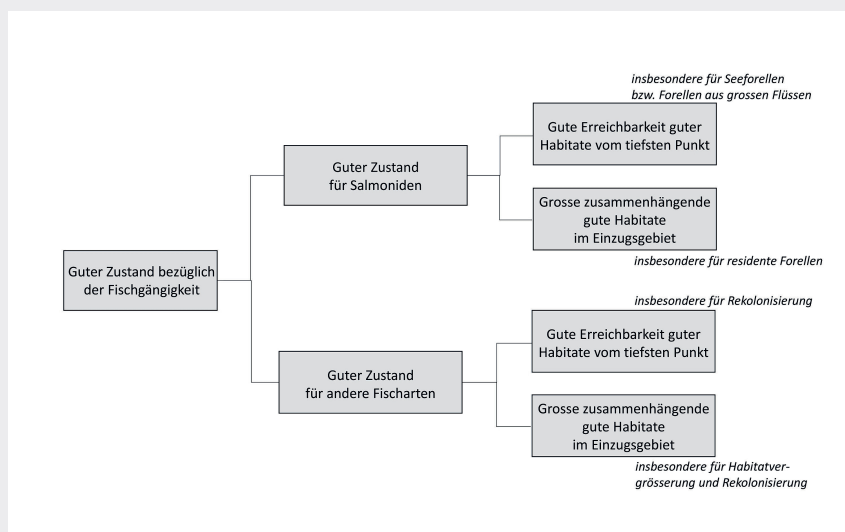


Fig. 1 Zielhierarchie für einen guten Zustand eines Fliessgewässersystems in Bezug auf die Längsvernetzung für Fische.

einzugsgebiete wird dann ergänzt durch eine einzugsgebietsübergreifende Analyse, welche die relative Grösse der Teil-einzugsgebiete mitberücksichtigt. Zudem ist es wichtig, die Priorisierung der Wanderhindernisse mit den Revitalisie-

rungen der Fließstrecken zu kombinieren. Dies kann zum Beispiel geschehen, indem man für Abschnitte, deren Revitalisierung schon beschlossen ist, für die Priorisierung der Hindernisse bereits den guten Zustand annimmt. Hindernisse,

die den Zugang zu solchen Abschnitten verhindern, erhalten dann eine höhere Priorität für die Sanierung.

METHODIK: 7 SCHRITTE

1. Festlegung der Gebiete, innerhalb welcher priorisiert werden soll

Besteht der Kanton aus einem einzelnen Einzugsgebiet, so kann innerhalb davon priorisiert werden. Wird der Kanton von einem grossen Fließgewässer durchflossen, kann über die Zuflüsse zu diesem Fließgewässer oder auch zu einem See priorisiert werden. Oft ist die Konfiguration aber komplizierter, insbesondere bei kantonsübergreifenden Einzugsgebieten kann es wichtig sein, dass kantonsübergreifend im Einzugsgebiet priorisiert wird. Die Revitalisierungsprojekte können dann trotzdem kantonal umgesetzt werden.

2. Fragmentierungsanalyse der Einzugsgebiete der Zuflüsse zu grossen Fließgewässern und zu Seen

Bereitstellung der Daten, GIS-Analyse zur Bestimmung der fischgängigen Regionen und Erstellung einer grafischen Übersicht der zusammenhängenden Regionen im aktuellen und im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse).

Figur 2 zeigt eine solche Analyse am Beispiel der Zugl (Zufluss zur Aare zwischen Thun und Bern). Es ist evident, dass die künstlichen Barrieren zu einer sehr starken Fragmentierung des Einzugsgebiets führen.

3. Identifikation von «Schlüsselhindernissen» zur Reduktion der Fragmentierung

Nutzung der grafischen Übersicht in den Einzugsgebieten zur Identifikation von «Revitalisierungsvarianten» (= Kombinationen von Hindernissen, die fischgängig gemacht werden sollen), um die Erreichbarkeit von Habitaten von der Mündung aus zu verbessern und/oder fischgängige Regionen zu vergrössern.

Figur 3 illustriert eine solche Revitalisierungsvariante am Beispiel der Zugl. Diese erweitert die von der Mündung her erreichbare Region wesentlich.

4. Quantifizierung des Nutzens und Schätzung der Kosten der Revitalisierungsvarianten
Bewertung der Fragmentierung im aktuellen Zustand und für die gewählten Varianten, jeweils im Vergleich zum naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse).

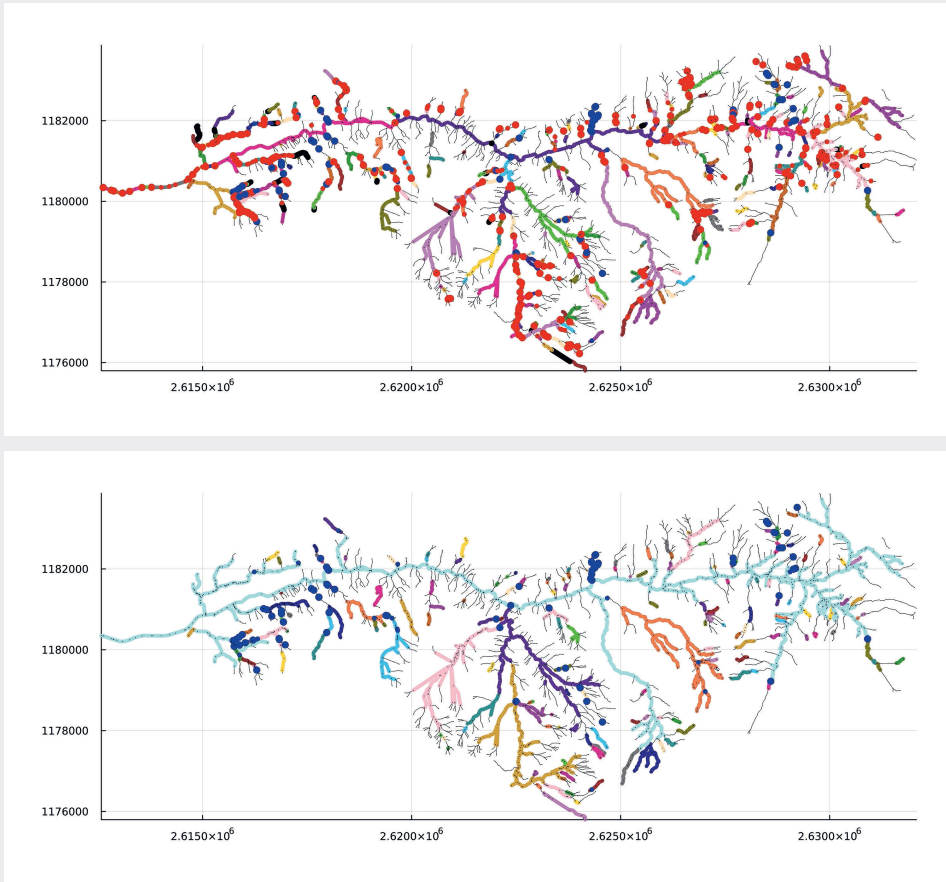


Fig. 2 Beispiel einer Fragmentierungsanalyse für die Zugl: Zusammenhängende Regionen für Salmoniden sind farblich hervorgehoben, türkis für die von der Mündung erreichbare Region (die anderen Farben haben keine besondere Bedeutung). Rot: künstliche Barrierenrot; blau: natürliche Barrieren; schwarz: Eindolungen; dünne schwarze Linien: Fließgewässerabschnitte, die wegen ihrer grossen Steilheit nicht für Fische geeignet sind. Oben: aktueller Zustand; unten: naturnaher Zustand (ohne künstliche Hindernisse). Die Achsen zeigen die Koordinaten nach dem Schweizer Koordinatensystem (LV 95).

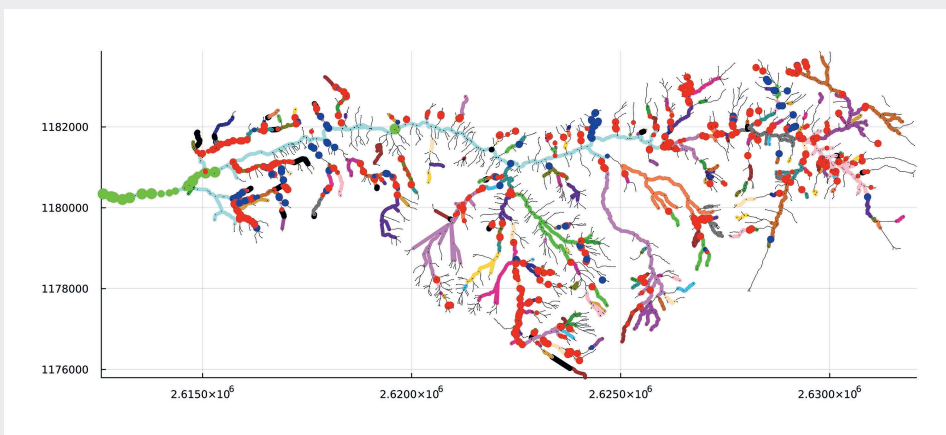


Fig. 3 Revitalisierungsvariante für die Zugl: Zusammenhängende Regionen, wenn die hellgrün markierten Hindernisse fischgängig gemacht werden (die meisten im untersten Abschnitt, aber auch Verbindung der zwei oben gezeigten grösseren Regionen im Mittellauf). Abgesehen von den hellgrünen Hindernissen haben die Signaturen dieselbe Bedeutung wie in Figur 2.

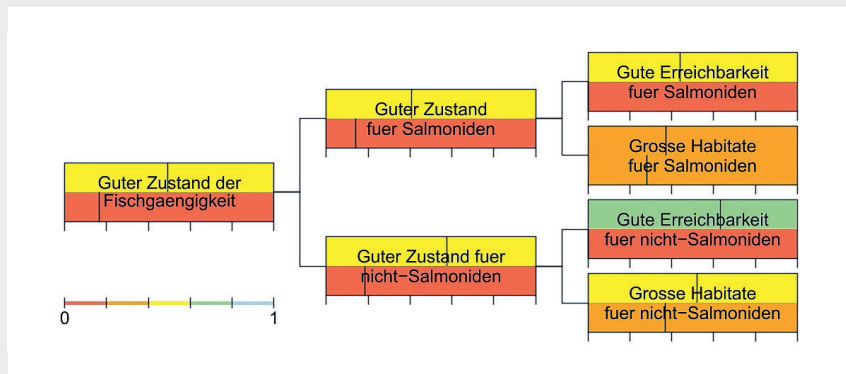


Fig. 4 Zielerreichungsgrade auf einer Skala von 0 bis 1 (vertikale Linien) und Bewertungsklassen (Färbung gemäss der Legende links unten) für den aktuellen Zustand (untere Hälfte der Boxen) und für die in Figur 3 gezeigte Variante (obere Hälfte der Boxen) für das oben genannte Beispiel der Zulg.

Figur 4 veranschaulicht einen Vergleich mit Zielerreichungsgraden und Klassierungen aller Ziele für den aktuellen Zustand und für die in Figur 3 gezeigte Variante. Die beträchtliche Erweiterung der von der Mündung her erreichbaren Region führt zu einer wesentlichen Verbesserung der Bewertung. Neben der Bewertung erfolgt eine grobe Kostenschätzung durch Extrapolation der Kosten von bereits realisierten Projekten.

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

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

Figur 5 illustriert ein resultierendes Nutzen-Kosten-Diagramm. Der Nutzen ist hier quantifiziert als «Wertverbesserung», was der Differenz der Bewertung des obersten Ziels der Zielhierarchie im untersuchten Zustand minus der Bewertung des aktuellen Zustands darstellt. Man erkennt, dass die Varianten für den Glütschbach und die Giesse ein besonders grosses Nutzen-zu-Kosten-Verhältnis aufweisen.

6. Provisorische Vorauswahl und Einteilung in Nutzenklassen

Einteilung in Nutzenklassen «hoch», «mittel», «gering» von Revitalisierungsvarianten aufgrund des Nutzens relativ zu den Kosten oder für einzelne Hindernisse durch ihren Beitrag zur längerfristigen strategischen Planung. Die Varianten mit hohen Nutzen-Kosten-Verhältnissen sind links oben in Figur 5, die mit schlechten Verhältnissen rechts unten (die gestri-

chelten Linien zeigen verschiedene Verhältnisse von Nutzen zu Kosten an).

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.

Das Verfahren erfolgt in diesen sieben Schritten, kann aber auch vorzeitig abgebrochen werden:

- In einfachen Fällen mag nach der Gebietsfestlegung gemäss dem Schritt 1 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 Revitalisierungsvarianten und die quantitative Bewertung gemäss Schritt 4 lohnend. Dies erlaubt eine Priorisierung von Varianten jeweils innerhalb eines Einzugsgebiets.
- Falls ein Abschnitt eines grossen Fliessgewässers 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 unter Berücksichtigung der Grössen der verschiedenen Einzugsgebiete hinweg erlaubt.

Schlussendlich ist in jedem Fall für die Klasseneinteilung gemäss Schritt 6 und

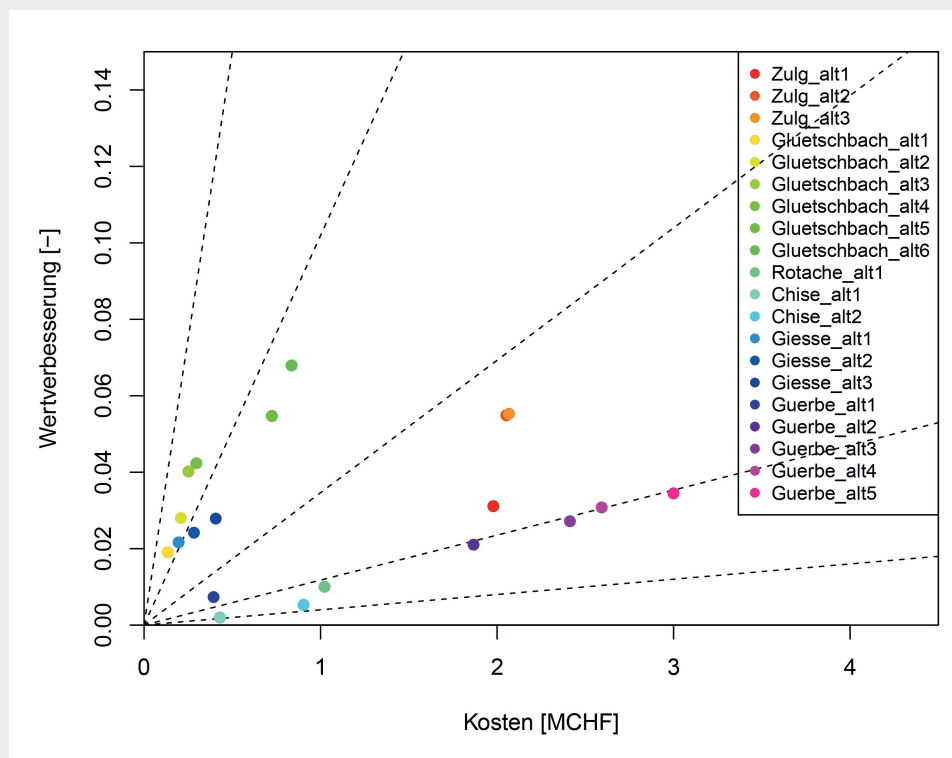


Fig. 5 Wertverbesserung gegen Kosten für verschiedene Revitalisierungsvarianten an verschiedenen Aarezuflüssen zwischen Thun und Bern. Die gestrichelten Linien zeigen verschiedene Verhältnisse von Nutzen zu Kosten an. In der Legende sind die Varianten mit dem Zufluss und der Bezeichnung aus dem Bericht [2] angeschrieben. Die Details der Varianten stehen in Anhang A1 des Berichts zur Verfügung.

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.

Da die Vollzugshilfe für die Fliessstreckenrevitalisierung bereits vorliegt, befasst sich diese Studie mit der Ergänzung bezüglich der Längsvernetzung. Die Koordination der Planungen der Revitalisierung von Fliessstrecken und der Verbesserung der Fischgängigkeit von Hindernissen ist sehr wichtig. Ziel ist die Implementierung der Resultate der Längsvernetzung in die kantonalen strategischen Revitalisierungsplanungen der Kantone. Bei der Bewertung gemäss den *Schritten 4* und *5* wird der ökomorphologische Zustand der Fliessstrecken berücksichtigt. Hier kann ein durch eine geplante Revitalisierung erreichter guter Zustand bereits berücksichtigt werden, wodurch Hindernisse, deren Sanierung die den Zugang zu solchen Strecken ermöglichen, eine höhere Priorität (durch grösseren Wertzuwachs) erhalten.

Eine einzugsgebietsorientierte Betrachtung endet natürlicherweise nicht an den Kantonsgrenzen. Deshalb ist die Zusammenarbeit von betroffenen Kantonen in der strategischen Planung von grosser Bedeutung. Da der Fokus auf Einzugsgebieten der Zuflüsse der grossen Fliessgewässer 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.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das zentrale Element der vorgeschlagenen Methode sind die Fragmentierungsanalysen der Einzugsgebiete. Diese bieten einerseits einen guten Überblick über die für Fische zusammenhängenden Regionen im aktuellen Zustand, im naturnahen Zustand (ohne künstliche Hindernisse) und für verschiedene Revitalisierungsvarianten. Dies erleichtert das Design und die Verbesserung von effizienten Rehabilitationsvarianten. Andererseits sind die Fragmentierungsanalysen eine gute Basis für weitergehende Analysen, die den quantitativen Vergleich des Grads der Verbesserung der Varianten gegen

deren Kosten ermöglicht. Dies erlaubt eine effiziente Rehabilitationsplanung für die Wanderhindernisse und es unterstützt die Auswahl der Fliessstrecken für eine Renaturierung.

VORAUSSETZUNGEN ZUR EFFIZIENTEN ANWENDUNG

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

1. Attribute des Flussnetzwerks

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 können
- Klassifikation in offene und eingedolte Strecken (eigentlich Teil der ökomorphologischen Bewertung) sowie die Information, ob die Strecke im Siedlungsgebiet liegt (für eine bessere Kostenabschätzung der Ausdolung)

Für jeden Knoten zwischen den Fliessstrecken:

- Präsenz oder Absenz eines Wanderhindernisses (Absturz, Wehr, Kraftwerk etc.)
- Klassifikation der Wanderhindernisse als «natürliche» oder «künstliche» Hindernisse
- Hindernishöhe, bei künstlichen Hindernissen deren Breite
- Kennzeichnung des Knotens, der die Mündung des Einzugsgebiets in grösseres Fliessgewäss oder See repräsentiert

2. Fachleute

Fischereifachleute mit Ortskenntnis sind nötig, um die fischökologische Bedeutung der Fliessstrecken zu beurteilen und um die provisorischen Resultate gemäss *Schritt 6*, wie in *Schritt 7* beschrieben, zu plausibilisieren.

3. GIS-Werkzeuge

GIS-Werkzeuge, welche die Fragmentierung und die Attribute berechnen, die es den Nutzenden erlauben,

Revitalisierungsvarianten zu definieren und für diese numerische und grafische Ausgaben produzieren, die es erlauben, Analysen, wie oben gezeigt, 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 derzeit am Abklären, welche Werkzeuge zur Verfügung gestellt werden können.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Gögge, W. (2012): *Revitalisierung Fliessgewässer: Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer*. Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1208. <https://www.bafu.admin.ch/uv-1208-d>
- [2] Reichert, P. et al. (2023): *Verfahren zur Priorisierung der Beseitigung künstlicher Fischwanderhindernisse in Fliessgewässersystemen*. Bundesamt für Umwelt, <https://www.bafu.admin.ch/uv-1208-d>
- [3] Kummerlen, M. et al. (2019): *Ecological assessment of river networks: From reach to catchment scale*. *Science of the Total Environment* 650, 1613–1627. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.019>
- [4] BAFU (2016): *Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen: Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer*. Bundesamt für Umwelt, Bern, Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1634. <https://www.bafu.admin.ch/uv-1634-d>

> SUITE DU RÉSUMÉ

Pour une utilisation efficace de cette méthode, il est nécessaire de disposer des données numériques adéquates sur le réseau hydrographique, d'outils SIG pour les analyses ainsi que d'experts locaux capables de fournir des évaluations complémentaires. Dans ce cas, les efforts supplémentaires pour la priorisation des obstacles à la migration dans le cadre de la planification de la revitalisation des cours d'eau restent limités.