

Fließgewässer effizienter renaturieren: Neue Planungshilfe optimiert Kosten und Nutzen für Biodiversität

Simone D. Langhans, Jörn Geßner und Christian Wolter (Berlin)

Zusammenfassung

Der Renaturierungsbedarf zur Wiederherstellung des guten ökologischen Zustandes bei Fließgewässern ist groß. Verschiedene Maßnahmen sollen helfen, den Verlust der Artenvielfalt zu bremsen und wertvolle Funktionen des Ökosystems Fluss für uns Menschen zu erhalten. Der gewünschte Erfolg von Renaturierungen bleibt aber oftmals aus. Hier wird eine neue, mit lokalem Expertenwissen kombinierte Planungshilfe vorgestellt, die Kosten und Nutzen für die Biodiversität optimiert. Dadurch wird nicht nur die Kosteneffektivität der Renaturierungspläne gesteigert, sondern auch eine verlässliche Basis für deren Umsetzung geschaffen. Dieser Ansatz wurde modellhaft für die Renaturierung von Kieslaichplätzen, eine essentielle Voraussetzung um rheophile, d. h. auf Kies laichende Fischpopulationen nachhaltig zu entwickeln, im Flusssystem von Havel und Spree (Berlin, Brandenburg) getestet. Mit lokalen Fischexperten wurden alle potenziellen Standorte, an denen Kiesbänke angelegt werden könnten (insgesamt 66) sowie die zur Längsdurchgängigkeit erforderlichen Maßnahmen identifiziert. Von insgesamt 17 Migrationsbarrieren sind zwei Wehre mit voll und fünf mit eingeschränkt funktionsfähigen Fischaufstiegsanlagen ausgestattet. Zehn Wehre sind für Fische nicht passierbar. Auf Basis dieser Informationen und von Befischungsdaten sowie von Kosten-schätzungen für die Anlage der Kiesbänke und die Wiederherstellung der Längsvernetzung wurden mit der Planungssoftware Marxan Renaturierungspläne für vier unterschiedlich lange Flussstrecken erstellt. Marxan basiert auf einem mathematischen Optimierungsalgorithmus mit dessen Hilfe die vordefinierten ökologischen Ziele, hier die Förderung rheophiler Fische, unter Berücksichtigung von Kosteneffizienz maximiert werden. Die Berechnung ergab eine Vorzugsvariante, die sowohl die gewässerökologische als auch die kostenseitige Zielerreichung gewährleistet. Die Verbindung von Optimierungsplanung und lokalem Expertenwissen ist also geeignet um Renaturierungen, welche zusätzlich die praktische Umsetzung mitberücksichtigen, kosteneffizient zu planen.

Schlagwörter: Renaturierung, Fließgewässer, Ökosystem, Havel, Spree, Marxan, Migrationsbarriere

DOI: 10.3243/kwe2017.03.003

Abstract

Restoring Freshwaters Efficiently – New Planning Tool Optimises for Cost-Efficiency and Biodiversity Goals

Despite the restoration of freshwater systems has become a global objective during the last decades, there is still a lot of work to do to eventually reach the good ecological status in all surface waters in the European Union, as asked for by the Water Framework Directive. Various measures have been, or are currently implemented on-ground to halt the loss of aquatic biodiversity and to maintain valuable ecosystem functions and services along river systems. However, the success of restorations is often small or even missing. Here, we present how we combine an existing conservation planning software (Marxan) with local expert knowledge, to optimize restoration costs and the targeted biodiversity goals. Doing so increases the cost-effectiveness of the calculated restoration plans and, concurrently, builds the basis for their implementation on-ground. We tested the approach along the Havel and Spree Rivers (Berlin, Brandenburg) for the restoration of gravel spawning grounds, which is an important prerequisite for supporting sustainable populations of rheophilic fish, i.e. gravel spawners along these rivers. Together with local fish experts, we identified all locations where gravel banks could potentially be created (a total of 66) as well as necessary measures to ensure longitudinal connectivity, i.e. fish passability at weirs. Of a total of 17 migration barriers two weirs are equipped with fully functioning fish ladders, five have fish ladders with limited functioning, and ten weirs can not be passed by fish at all. Based on this information, fish monitoring data, cost estimates for the construction and implementation of the gravel banks and the restoration of the longitudinal connectivity, we calculated restoration plans for four river stretches differing in length, using Marxan. Marxan is based on a mathematical optimisation algorithm that maximizes pre-defined ecological goals – here rheophilic fish populations – while minimizing the costs to reach these goals. Our Marxan analyses yielded a preferred outcome that meets both, the biodiversity goals and the cost-efficiency baseline. Our study shows that combining optimization planning and local expert knowledge is suitable to plan river restorations cost-efficiently, while accounting for practical, on-ground implementation constraints.

Key words: river restoration, freshwaters, ecosystem, River Havel, River Spree, Marxan, migration barrier

Einführung

Mit der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EC; WRRL) wurde erstmals das Erreichen eines guten ökologischen Zustands oder Potenzials in sämtlichen Oberflächengewässern der Mitgliedsstaaten rechtsverbindlich. Beurteilt wird der Zustand anhand von vier biologischen Qualitätskomponenten: Phytoplankton, Wasserpflanzen, Makrozoobenthos und die Fischgemeinschaft in ihrer Artenzusammensetzung, Häufigkeit und Altersstruktur. Eine erste Zustandserhebung der Gewässer Ende 2004 ergab, dass die meisten Mitgliedsstaaten diese anspruchsvollen Umweltziele nicht erreichen werden. Aktuell sind europaweit 56 % aller Fließgewässer-Wasserkörper (> 51 000) bzw. 64 % der Gesamt-Fließgewässerslänge (630 000 km) in einem schlechteren ökologischen Zustand als „gut“ [1].

Die ersten Bewirtschaftungspläne 2009 wiesen als Hauptursachen für die fehlende Zielerreichung insbesondere hydromorphologische Beeinträchtigungen und Lebensraumverluste aus, wovon 48,2 % bzw. 42,7 % aller Fließgewässer-Wasserkörper betroffen sind [2]. Weitere signifikante Beeinträchtigungen umfassen Stromregulierungen (in 30 % der Wasserkörper), Wasserentnahmen (6,8 %) und Wasserverschmutzung aus diffusen Quellen (40 %) [1].

Allein die Anzahl und räumliche Ausdehnung der ökologisch aufzuwertenden Gewässer und der Umfang der dafür erforderlichen Maßnahmen legen nahe, dass nicht nur die ökologisch-effizientesten Maßnahmen zu identifizieren sind, sondern auch die kosten-effizientesten. Darüber hinaus erfordert die Umsetzung von Maßnahmen über einen Zeitraum von mehreren Bewirtschaftungsplänen auch deren Priorisierung. Demgegenüber sind die Kenntnisse zur Auswirkung von Renaturierungsmaßnahmen auf den ökologischen Zustand der Gewässer nach wie vor sehr lückenhaft, insbesondere was den Umfang und die Vernetzung von Maßnahmen betrifft. Zwar wurden in der Vergangenheit bereits zahlreiche Renaturierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur umgesetzt [3], aber nur wenige einer Erfolgskontrolle unterzogen [4]. Damit übereinstimmend ergab eine erste Auswertung der europäischen Fließgewässer-Bewirtschaftungspläne große Unsicherheiten über die ökologischen Effekte der geplanten Maßnahmen und deren Beitrag zur Verbesserung des ökologischen Zustands bzw. Potenzials [1].

Selbst bei wissenschaftlich-technisch weitgehend gelösten Fragestellungen, wie z. B. der Anlage von Fischwanderhilfen, bestimmt letztlich die Auswahl der Zielarten deren Dimensionierung, die Kosten und den ökologischen Erfolg [5]. Auch führt der alleinige Fokus auf die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit nicht zwangsläufig zur ökologischen Aufwertung [6]. Sofern Fische dadurch keine zusätzlichen Lebensräume erschließen können oder die Fischwanderhilfen mit Lebensraum verbessernden Maßnahmen kombiniert werden, sind die ökologischen Auswirkungen oft nicht messbar.

Um im Zusammenspiel verschiedener Maßnahmenoptionen die Umweltziele der WRRL ökologisch effizient und kostengünstig zu erreichen, sind eine systematisierte Renaturierungsplanung und die Priorisierung von Maßnahmen unumgänglich. Um den Nutzen einer systematisierten Planung für die Praxis zu erhöhen, sollte ein optimaler Planungsprozess nur auf Standorten basieren, an denen Maßnahmen auch praktisch umsetzbar sind. Diese Standorte können von lokalen Experten

identifiziert werden und bilden die Grundlage für die nachfolgende Priorisierung. Die Vermittelbarkeit von Planungen ist deutlich höher, wenn die Empfehlungen nur Standorte beinhalten, an denen Maßnahmen ökologisch, aber auch logistisch und ökonomisch sinnvoll erscheinen.

Der potenzielle Nutzen dieser systematischen Renaturierungsplanung wird im Folgenden am Beispiel des Havel-Spree-Systems (Elbe-Einzugsgebiet) demonstriert. Beide Flüsse wurden als überregional bedeutende Wanderkorridore ausgewiesen, weshalb deren Längsvernetzung und uneingeschränkte Durchgängigkeit für Fische bis spätestens 2027 zu gewährleisten ist. Zudem weisen beide Flüsse aktuell ein Defizit an rheophilen Flussfischarten auf, was zu einer moderaten oder schlechteren Bewertung des fischökologischen Zustands führt. Bei kieslaichenden Flussfischarten ist ein starker, unmittelbarer Zusammenhang zwischen der hydromorphologischen Gewässerstruktur in Form geeigneter Laichplätze und der Häufigkeit der Arten gegeben. Aus diesem Grund fokussiert die vorliegende Fallstudie auf die Anlage von Kieslaichplätzen als Renaturierungsmaßnahme. Das Ziel der Fallstudie ist es, ein kostengünstiges Optimum von Durchgängigkeit und Lebensraum verbessernden Maßnahmen zu ermitteln, welches die Förderung der gewässertypischen Fischartenzusammensetzung und Zielerreichung gemäß WRRL sicherstellt. Als Zielarten wurden elf kieslaichende, zum Teil anadrom wandernde Neunaugen und Fischarten ausgewählt. Zur Optimierung und Priorisierung diente die Planungssoftware Marxan [7], welche im Rahmen der Szenarienentwicklung nicht nur die Kosten für die Anlage der Kiesbänke berücksichtigt, sondern auch Kosten für Verbesserungen und Neubauten von Fischwanderhilfen.

Material und Methoden

Studienobjekt Havel-Spree

Havel und Spree liegen im Nordosten Deutschlands in der Ökoregion „Zentrales Tiefland“ (Abbildung 1). Die Havel hat ein Einzugsgebiet von 24 297 km² bei einer Fließlänge von 341 km bis zur Einmündung in die Elbe bei Gnevsdorf [8]. In den mittleren und unteren Flussabschnitten fragmentieren sieben Wehre die Havel. Der Abfluss variiert zwischen 3,4 und 290 m³/s mit einem mittleren Abfluss von 80 m³/s [5]. Die Spree ist ebenfalls ein sandgeprägter Tieflandfluss mit einem Einzugsgebiet von 10 105 km². Ähnlich wie die Havel wird die Spree im Projektgebiet durch zehn Wehre fragmentiert. Ihr Abfluss variiert zwischen 4,8 und 80,9 m³/s, im Mittel 30,5 m³/s am Pegel Sophienwerder in Berlin [5].

Havel und Spree wurden während der letzten 2000 Jahre erheblich durch Stauhaltungen für den Mühlenbetrieb, Deichbauten und Begrenzungen der Seitenerosion sowie Wehrbauten zur Sicherung der Schifffahrt beeinträchtigt. Folgerichtig induzieren die Fische als eine biologische Qualitätskomponente gemäß WRRL in der Havel nur einen moderaten bis ungenügenden ökologischen Zustand. Gesunde Populationen von rheophilen (Strömung bevorzugenden), psammophilen (auf Sand laichenden) und lithophilen (auf Kies laichenden) Arten sowie von Langdistanzwanderern fehlen in der Havel [9]. Dies ist vor allem der stark beeinträchtigten Abflussdynamik und Hydromorphologie der unteren Havel sowie den ungenügenden oder fehlenden Fischwanderhilfen an den Wehren geschuldet [5]. Obwohl die Havel als eutroph eingestuft ist, wäre die

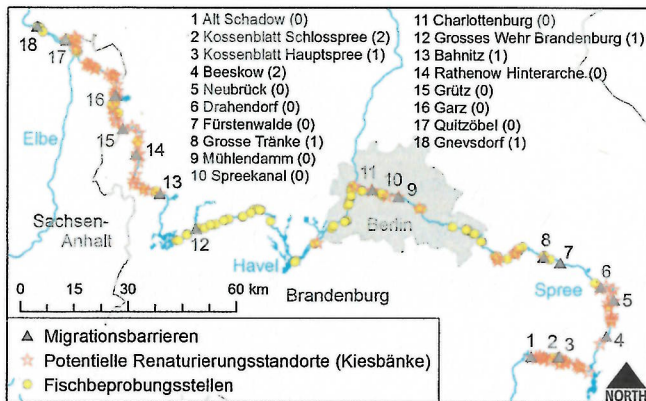


Abb. 1: Die Untersuchungsstrecke entlang von Havel und Spree mit Fischbeprobungsstellen, potenziellen Renaturierungsstandorten und Migrationsbarrieren (1-18) mit Angabe zur Fischaufstiegsanlage in Klammern: 0 = keine vorhanden, 1 = limitierte Durchwanderbarkeit, 2 = gute Durchwanderbarkeit.

Wasserqualität gut genug, um eine Fischfauna gemäß der Referenzzönose zu ermöglichen. Die lithophilen Fischarten, welche hier früher zahlreich vorkamen, werden durch das Fehlen geeigneter Kieslaichplätze massiv limitiert [10]. Auch sanddominierte Tieflandflüsse wiesen im Referenzzustand mehr als 10 % Kiesanteil im Sohlsubstrat auf [11]. Die Renaturierung von Kiesflächen erscheint daher als eine zielführende Aufwertungsmaßnahme.

Das Projektgebiet umfasste die Spree vom Neuendorfer See, d.h. unterhalb des Wehres Alt Schadow bis zu ihrer Einmündung in die untere Havel und diese bis zur Elbe (Abbildung 1). Als Modell-Fischarten wurden die Kieslaicher Rapfen, Barbe, Zährte, Döbel, Hasel, Quappe, Lachs, Meerforelle, Flussneunauge, Meerneunauge und Stör ausgewählt. Von diesen sind die letzten fünf anadrome Wanderer, d.h. sie ziehen zum Laichen vom Meer in die Flussläufe. Die übrigen Arten mit Ausnahme des Hasels wandern potamodrom, d.h. sie vollziehen Laichwanderungen innerhalb des Flusssystemes.

Identifizierung des Renaturierungspotenzials, potenzieller Kieslaichplätze und Barrieren

Zusammen mit lokalen Fischexperten wurden alle potenziellen Standorte für Kiesbänke als Laichplätze (Abbildung 1) identifiziert. Kriterium für die Auswahl war die Möglichkeit zumindest temporär hydromorphologische Prozesse zuzulassen, die zu einer Selbstreinigung des Kies-Interstitials führen. Anschließend

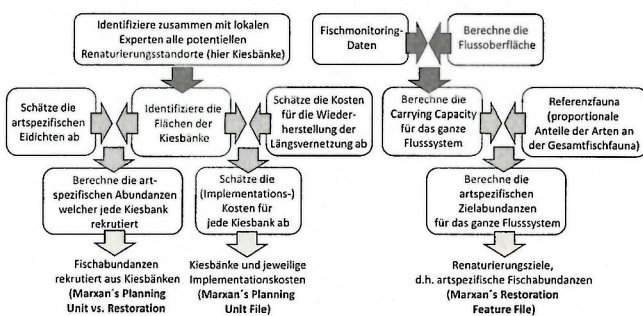


Abb. 2: Flussdiagramm für die Erstellung der drei Marxan-Datensätze

wurden die Migrationsbarrieren als nicht, eingeschränkt oder uneingeschränkt passierbar bewertet. Diese Information diente zur Abschätzung der Kosten für die Gewährleistung der Längsvernetzung an den einzelnen Wehren. Die Verortung und Dimensionen der möglichen Kiesbänke und der Migrationsbarrieren wurde georeferenziert und für weitere Analysen in ArcGIS exportiert (Version 10.1 ESRI 2011).

Optimierung der Renaturierungspläne

Mit der Planungssoftware Marxan [7] wurde die Auswahl der Renaturierungsstandorte optimiert. Dabei wählt Marxan die Standorte so aus, dass sie zusammen die Ziele für die ausgewählten Fischarten – hier Individuenanteile gemäß Referenzfischfauna – so kostengünstig wie möglich erreichen. Marxan basiert auf einem Optimierungsalgorithmus der eine Zielfunktion minimiert (Gleichung 1), die sich aus den Maßnahmenkosten an den einzelnen Standorten und „Strafkosten“ zusammensetzt. Strafkosten entstehen, wenn die definierten Ziele mit der Standortauswahl nicht erreicht werden.

$$\text{Zielfunktion} = \sum_{\text{Renaturierungsstellen}} \text{Kosten} + \sum_{\text{Arten}} \text{Strafkosten für nicht erreichte Ziele} \quad (\text{Gl. 1})$$

Für die Optimierung werden drei Datensätze benötigt: 1) die Prognose der rekrutierten Zielfischarten je Standort, 2) die Gesamt-Zielerreichung, d.h. die finalen Individuenanteile aller Zielfischarten gemäß Referenzfischfauna und 3) die prognostizierten Kosten für die Renaturierung jedes Standortes.

Rekrutierung von Jungfischen an den potenziellen Renaturierungsstandorten

Aus empirischen Studien und Literaturangaben zu Eidichten, Schlupfraten und Überlebensraten der Fischlarven wurde für jede der Modellarten ein mittleres Jungfischauftreten pro m² Kieslaichfläche geschätzt, auch um den Abgleich der gewählten Standorte mit den Zielen der Renaturierung zu ermöglichen (Marxan's Planning unit versus Restoration Feature File (Abbildung 2)):

$$\text{Rekrutierte Abundanz}_{\text{Arten}} (\#) = \text{Fläche des Kiesbetts (m}^2) \times \text{Anteil geeignet für Eiablage} \times \text{Eidichte}_{\text{Art}} (\# \text{ m}^{-2}) \times \text{Überlebensrate Fische}_{\text{Art}} \quad (\text{Gl. 2})$$

Dabei wurde angenommen, dass die hydrologischen Bedingungen nur in etwa einem Drittel der renaturierten Kiesflächen für das Überleben der befruchteten Eier geeignet sind [12].

Renaturierungsziele

Die Berechnung der Ziele, d.h. der Anteil der Zielfischarten an der Gesamtfischfauna (Marxan's Restoration Feature File; Abbildung 2) basiert auf der Annahme, dass in Havel und Spree die maximale Fischbiomasse (d.h. die Carrying Capacity) aufgrund des relativ hohen Nährstoffgehaltes erreicht ist. Daher zielen Renaturierungen nicht darauf ab die Fischproduktivität zu erhöhen, sondern die Artenzusammensetzung der Fischfauna in Richtung der Referenz zu verändern (Referenzfischfaunen beschreiben die Dominanzstruktur, d.h. die relativen Häufigkeiten der Arten in der Gesamtpopulation unter natürlich Bedingungen [13]; für Havel-Spree vergl. [14]).

Für die Zielerreichung wurde die Differenz der aktuellen Anteile jeder Zielart an der Gesamtfischfauna von denen der Referenzfischfauna gebildet:

$$\text{Renaturierungsziele}_{\text{Arten}} (\text{Abundanz}) = \frac{\text{Anteil in Referenzfischfauna}_{\text{Art}} - \text{momentaner Anteil in Fischfauna}_{\text{Art}} \times \text{Sättigungskapazität} (\#)}{100} \quad (\text{Gl. 3})$$

Die Carrying Capacity für die Zielarten wurde aus der im Rahmen von Fischdatenerfassungen ermittelten Fischdichte, der Gewässeroberfläche und der Fangwahrscheinlichkeit der eingesetzten Methode berechnet:

$$\text{Carrying Capacity}, CC_{\text{Abschnitt}} (\text{Fischabundanz}) = \frac{\text{Fischdichte}_{\text{Abschnitt}} (\# \text{ m}^{-2}) \times \text{Flussfläche}_{\text{Abschnitt}} (\text{m}^2) \times 1}{\text{Fangwahrscheinlichkeit}} \quad (\text{Gl. 4})$$

Zur Ermittlung der Fischdichte wurden alle verfügbaren Daten aus Elektrofischerei-Kampagnen der letzten Jahre zusammengetragen [15] und für jede Probestelle die Fischdichte (Individuen $\times \text{m}^{-2}$) berechnet. Da Havel und Spree unterschiedliche Breiten und morphologischen Strukturen aufweisen, was wiederum die Fischdichten beeinflusst, wurden mittlere Fischdichten für vier verschiedene Flussabschnitte berechnet [15]. Die Carrying Capacity des ganzen Flusssystemes setzt sich aus der Summe der Carrying Capacities der vier Abschnitte zusammen:

$$\text{Carrying Capacity}, (CC, \#) = CC_{\text{Abschnitt 1}} + CC_{\text{Abschnitt 2}} + CC_{\text{Abschnitt 3}} + CC_{\text{Abschnitt 4}} \quad (\text{Gl. 5})$$

Als Korrekturfaktor für die Fangeffizienz der Fangtechnik wurde ein oberes und unteres Limit (4) der Fangwahrscheinlichkeit berücksichtigt.

Kostenabschätzung für die Renaturierungsstandorte

Die Kosten für die einzelnen Standorte werden im Marxan Restoration Feature File (Abbildung 2) integriert. Diese basieren auf dem benötigten Kiesvolumen (Mächtigkeit der Kiesbank = 0,5 m; 93,6 € per m^3 Kies [16]), dem Aufwand für die Ausbringung des Materials und den Kosten zur Herstellung der Längsnetzwerke an den verschiedenen Wehren (Bau oder Erhöhung von Fischwanderhilfen). Diese Kosten wurden für jedes Wehr abgeschätzt und anteilig den Standorten oberhalb des jeweiligen Wehres, die von der Durchgängigkeit profitieren, zugeschlagen. Damit werden Renaturierungen flussaufwärts teurer als solche, die weiter flussabwärts gelegen sind, da die Kosten für die Durchgängigkeit mit jedem zusätzlichen Wehr steigen.

Berechnung der Renaturierungspläne für Teilstrecken

Um die finanziellen und logistischen Konsequenzen von Teilrenaturierungen zu demonstrieren, wurden zusätzlich zur Gesamtstrecke (Elbe – Wehr Alt Schadow) Pläne für drei Teilstrecken optimiert: 1) Elbe – Wehr Fürstenwalde, Spree, 2) Elbe – Wehr Charlottenburg, Spreemündung, 3) Elbe – Wehr Bahnitz, Havel (Abbildung 1). Hierbei wurden nur die Szenarien betrachtet, die eine Anbindung der Strecken an die unterstrom

gelegenen Gewässerabschnitte sicherstellen. Die Ziele (d.h. Fischabundanz) wurden jeweils an die Teilstrecke angepasst.

Ergebnisse

Renaturierungspotenzial und Kosten

Zusammen mit den Experten wurden 66 potenzielle Standorte zur Anlage von Kiesbänken identifiziert, 30 in der Havel und 36 in der Spree (Abbildung 1). Die potenziell verfügbaren Flächen variierten in Abhängigkeit von der Gewässermorphologie zwischen 400 m^2 und 15 000 m^2 . Insgesamt umfassen die Standorte eine Gesamtfläche von 11,47 ha (0,21 % der Oberfläche der gesamten Flussstrecke). Die ermittelten Kosten für die Anlage der Kiesbänke liegen je Standort zwischen 16 840 € und 772 200 €. Die Anzahl der Jungfische, die sich auf diesen Kiesflächen rekrutieren könnten, variiert artabhängig zwischen 2×10^4 (Lachs und Meerforelle) und 996×10^4 (Hasel). Von den 17 Wehren auf der Projektstrecke sind nur zwei mit uneingeschränkt funktionsfähigen Fischaufstiegsanlagen für alle Zielarten ausgestattet. Fünf Wehre haben unzureichend dimensionierte oder nur eingeschränkt funktionsfähige Fischwanderhilfen. Zehn Wehre haben keine Aufstiegsanlagen. Der Neubau oder die Verbesserung der Aufstiegsanlagen wurde mit einem Kostenaufwand zwischen 500 000 € und 2 Mio. € pro Wehr veranschlagt.

Fischdichten, Carrying Capacity und Renaturierungsziele

Die berechneten mittleren Fischdichten variierten zwischen 0,27 Fischen/ m^2 ($\pm 0,20$ SD; Spree und Havel in Berlin, ohne Unterhavel) und 1,32 Fischen/ m^2 ($\pm 0,8$ SD; Berliner Unterhavel). Demnach liegt der Gesamtbestand (Carrying Capacity) im Projektgebiet unter Berücksichtigung der Fangwahrscheinlichkeit zwischen 251×10^6 und 499×10^6 Fischen. Vergleicht man die prognostizierten Jungfischzahlen, die bei der Implementierung aller potenziellen Kiesbänke rekrutieren könnten (Gl. 2) mit den Renaturierungszielen (Gl. 3) zeigt sich, dass in der Gesamtstrecke (Abbildung 3A) und den zwei längeren Teilstre-

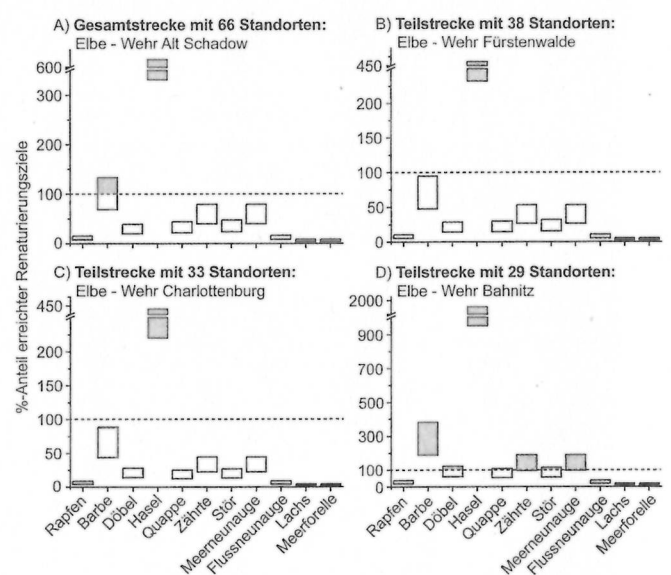


Abb. 3: Prozentualer Anteil der Zielerreichung, angenommen alle identifizierten Kiesbänke (d.h. Standorte) innerhalb der Gesamtstrecke (A) und der Teilstrecken (B-D) werden implementiert.

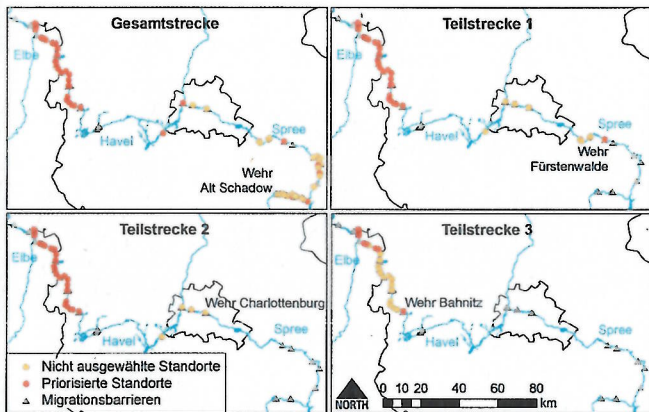


Abb. 4: Mit Marxan berechnete optimale Renaturierungspläne. A) Für die Gesamtstrecke (Elbe bis Wehr Alt Schadow) und die Teilstrecken B) Elbe bis Wehr Fürstenwalde, C) Elbe bis Wehr Charlottenburg und D) Elbe bis Wehr Bahnitz.

cken (Abbildung 3B, C) nur der Hasel, zum Teil die Barbe die definierten Ziele erreichen würden. Auf der kürzesten Strecke (Abbildung 3D) erreichen sieben von elf Arten die Ziele.

Optimierte Renaturierungspläne für die Gesamtstrecke und Teilstrecken

Da auch bei Umsetzung aller Maßnahmen nur wenige Arten die vorgesehenen Ziele erreichen (Abbildung 3), würde Marxan bei der Berechnung der optimalen Pläne alle Standorte auswählen. Diese Abschätzung ist ein wichtiges Teilergebnis, war aber nicht primär Gegenstand der vorliegenden Studie, zu testen, ob eine Marxan-Optimierung für den gewählten Ansatz prinzipiell funktioniert. Deshalb wurden die Ziele angepasst und mit 10 % der ursprünglich berechneten Fischarten-Häufigkeiten festgelegt. Abbildung 4 zeigt die optimierten Pläne, d.h. die jeweilige präferierte Auswahl an Standorten, die die Abundanzziele am kostengünstigsten erreichen. Marxan identifizierte 36 optimale Standorte für die Renaturierung der Gesamtstrecke, und 30, 29 und zwölf Standorte für die jeweils kürzeren Teilstrecken, wobei die ausgewählten Standorte mehrheitlich im Unterlauf liegen (Abbildung 4). Nicht überraschend war, dass die kürzeste Strecke (Elbe – Wehr Bahnitz; Abbildung 4) am günstigsten zu renaturieren wäre (9,7 Mio. €). Die Kosten für die Renaturierung der Gesamtstrecke wurden mit 22,3 Mio. € Gesamtkosten veranschlagt, die Aufwendungen für die Verbesserungen der übrigen zwei Teilstrecken mit 18,8 Mio. € (Elbe – Wehr Fürstenwalde) und 14,0 Mio. € (Elbe – Wehr Charlottenburg).

Diskussion

Laut den Modellierungsergebnissen werden die aus den Referenzfischfaunen abgeleiteten Renaturierungsziele gemäß WRRL in Havel und Spree auch dann nicht erreicht, wenn alle im Versuchsansatz ausgewählten, potenziellen Renaturierungsstandorte umgesetzt würden. Dieses Ergebnis ist insofern nicht verwunderlich, dass wenn Havel und Spree im sehr guten hydromorphologischen Zustand mehr als 10 % Kiesanteil im Sohlsubstrat aufweisen sollten [11], dies etwa dem 50fachen der Fläche (> 545 ha) aller identifizierten, potenziellen Kiesflächen zusammen entspricht! Dies unterstreicht eindrucksvoll, dass für eine Verbesserung des fischökologischen Zustands weit größere Renaturie-

rungsmaßnahmen umzusetzen sind, als gegenwärtig geplant werden. Diese Maßnahmen sollten auch Änderungen der momentanen Nutzungen nicht mehr ausschließen. Die hier berechnete prozentuale Zielerreichung (Abbildung 3) zeigt aber auch, dass die Bedingungen an den Renaturierungsstandorten besser sind als das durchschnittliche Kiessubstrat. Bei einem Kiesangebot von nur 2 % (anstatt der geforderten 10 %), liegen die artspezifischen Mittelwerte der Zielerreichung bei ca. 30 %. Dies sollte allerdings nicht überbewertet werden, da erstens die Modellannahmen zur Fischrekrutierung mit hohen Unsicherheiten behaftet sind und zweitens, neu eingebrachte Kiesbänke sehr schnell ihren Nutzen für Fische verlieren, wenn die zu ihrer Erhaltung erforderlichen hydromorphologischen Prozesse nicht ebenfalls revitalisiert werden.

Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass evtl. auch methodische Limitierungen zur Verfehlung der WRRL-Ziele in der Prognose beitragen, wie zum Beispiel eine zu pessimistische Abschätzung der Überlebensrate der Fischeier oder Unsicherheiten in der Berechnung der Carrying Capacity für Havel-Spree. Der Einfluss der angenommenen Überlebensrate der Fischeier auf die Zielerreichung wird beim Hasel deutlich, für den eine zehnfach höhere Überlebensrate angesetzt wurde. Aufgrund dessen war der Hasel die einzige Art, welche die aus der Referenz-Fischfauna abgeleiteten Abundanzziele übertroffen hat.

Die Bestandsschätzung erfolgte auf Grundlage von Monitoringdaten, die mittels Elektrofischerei gewonnen wurden. Da diese ausschließlich ufernah erfolgt, standen Daten zur Fischartenverteilung und Häufigkeit in tieferen Flussbereichen nicht oder nur eingeschränkt zur Verfügung. Daher wurde die Verteilung der Fische in der Fläche als homogen angenommen, was zu einer Überschätzung der Gesamtdichte geführt haben könnte. Diese potenzielle Überschätzung des Bestandes wurde allerdings durch eine sehr konservativ angesetzte Fanggeräteeffizienz zumindest teilweise kompensiert.

In vorliegender Modellstudie erwies sich die begrenzte Anzahl verfügbarer Standorte, die sich unter Berücksichtigung der hydrologischen Verhältnisse sowie der stadtplanerischen und schiffahrtsbedingten Einschränkungen für die Renaturierung von Kiesflächen eignen, als Hauptursache für die fehlende Zielerreichung gemäß WRRL. Darüber hinaus wandern insbesondere Lachs, Meerforelle und Flussneunauge zum Laichen auch in die kleineren Nebengewässer und Flussoberläufe ein, welche hier nicht einbezogen wurden. Im Projektgebiet profitieren diese Arten mehrheitlich von Maßnahmen zur Durchgängigkeit bis in die oberen Flussabschnitte.

Die Renaturierung von Laichplätzen mittels Einbringung von Kies kann unter Umständen auch dann erfolgreich sein, wenn Strömungsgeschwindigkeit oder Wassertiefe an den zur Verfügung stehenden Standorten nicht optimal sind [17]. Im Fall der Havel-Spree, die nicht genug geeignete Standorte für die Einbringung von Kiesflächen aufweist, müssen daher Lösungen für die Verbesserung der Eigenunterhaltung der Laichflächen in Betracht gezogen werden. Durch lokale Manipulation des Abflusses (Einengung und Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten) könnten übermäßige Ablagerung von Feinsedimenten und Kolmatierung vermindert, der Durchfluss im Interstitial verbessert und durch die Umlagerung der Kiesbänke Algenaufwuchs minimiert werden [18]. Diese Maßnahmen verbessern die Sauerstoffversorgung der Fischeier und wirken sich positiv auf das Überleben der Fischembryonen aus [19]. Sie erhöhen auch den für die Eiablage geeigneten Anteil der Kiesfläche, allerdings

ebenfalls die Renaturierungskosten zum Teil erheblich. Klar ist, dass die Wiederherstellung und Ertüchtigung hydromorphologischer Prozesse, wie Abflussdynamik und Sedimenttransport in Havel und Spree anzustreben ist. Sie und die daraus resultierende Breiten- und Tiefenvarianz sind die wichtigsten Prozesse zur Erhaltung und Neugestaltung von Kiesbänken und damit auch der assoziierten Fischlaichplätze [20].

Die Tatsache, dass Marxan vorzugsweise Standorte als optimal identifizierte die in den mündungsnahen Bereichen liegen, resultiert aus den ansteigenden Kosten für die Längsvernetzung aufgrund der Vielzahl von Wehren. Renaturierungspläne die flussabwärts gelegene Standorte priorisieren sind daher kosteneffektiver. Die Renaturierung von Laichhabitat oberhalb von nicht passierbaren Querbauwerken wäre, besonders für anadrome Wanderer, wie Stör, Lachs, Meerforelle, Meer- und Flussneunauge ineffektiv. Die einzelnen, weit flussaufwärts priorisierten Standorte weisen eine hohe Flächenverfügbarkeit und damit ein hohes Renaturierungspotenzial auf, was die Effizienz der Maßnahmen und damit ihre Plausibilität stark erhöht. Eine differenzierte Betrachtung der Standorte bezüglich der Zielerreichung nach anadromen und potamodromen Arten kann für größere Flussgebiete sinnvoll sein, um Hotspots für Maßnahmen ungeachtet der Zielerreichung für alle Arten zu ermitteln.

Fazit

Wie der ökologische Zustand der Fließgewässer zu verbessern ist, wird heftig diskutiert. Der Einsatz von Optimierungs-Software wie Marxan und die Erstellung kosteneffizienter Renaturierungspläne unterstützt und versachlicht solche Diskussionen, indem mit relativ geringem Aufwand verschiedene Szenarien bezüglich der Zielerreichung und der Kosteneffizienz verglichen werden können. Im Sinne der Effektivmaximierung der eingesetzten finanziellen Mittel sollte hier in Zukunft ein Schwerpunkt der Maßnahmenplanung im Flussgebietsmanagement gemäß WRRL liegen. Die Verbindung von lokalem Expertenwissen und systematischer Planung hilft, Renaturierungen kosteneffizienter zu machen und gleichzeitig die Basis für eine praktische Umsetzung zu verbessern.

Dank

Wir bedanken uns bei Steffen Zahn und Christian Schomaker für die Bereitstellung von Daten und Wissen und Virgilio Hermoso für die Zusammenarbeit. Simone D. Langhans wurde von der Alexander von Humboldt-Stiftung mit einem Stipendium für erfahrene Wissenschaftler unterstützt.

Vertonung der Studie durch die Band Knuts Koffer zu hören auf: https://www.youtube.com/watch?v=6MJkQOao_dw&feature=youtu.be

Literatur

- [1] European Environmental Agency: *European waters – assessment of status and pressures*; EEA Report 8/2012; Copenhagen, 2012.
- [2] Feher, J. et al.: *Hydromorphological alterations and pressures in European rivers, lakes, transitional and coastal waters*. Thematic assessment for EEA Water 2012 Report. ETC/ICM Technical Report 2/2012; Prague, 2012.

- [3] Kail, J. et al.: *The effect of river restoration on fish, macroinvertebrates and aquatic macrophytes: A meta-analysis*. In: *Ecol. Indic.* 58, 2015, S. 311-321.
- [4] Roni, P. et al.: *Global review of the physical and biological effectiveness of stream habitat rehabilitation techniques*. In: *N. Am. J. Fish. Manage.* 28, 2008, S. 856-890.
- [5] Gessner, J. et al.: *Estimating the potencial for habitat restoration and connectivity effects on European sturgeon (Acipenser sturio L. 1758) population rehabilitation in a lowland river – the Havel, Germany*. In: *J. Appl. Ichthyol.* 30, 2014, S. 1473-1482.
- [6] Kail, J. et al.: *Analysis and evaluation of large-scale river restoration planning in Germany to better link river research and management*. In: *River Res. Appl.* 27, 2011, S. 985-999.
- [7] Ball, I. R. et al.: *Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritisation. In Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools*, Moilanen, A. et al. (Eds), Oxford University Press; Oxford, UK, 2009; S. 185-195.
- [8] Landesumweltamt Brandenburg, *Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch – Elbegebiet, Teil II (Havel mit deutschem Odergebiet) – 1998*. Landesumweltamt Brandenburg; Potsdam, 2006.
- [9] Zahn, S. et al.: *Bestandserhebung der Fischfauna in ausgewählten Fließgewässern des Landes Brandenburg*; Endbericht 2010, Studie im Auftrag des Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz; Potsdam, 2011; S. 64.
- [10] Wolter, C.: *Functional vs scenic restoration – challenges to improve fish and fisheries in urban waters*. In: *Fisheries Manag. Ecol.* 17, 2010, S. 176-185.
- [11] Dahm, V. et al.: *Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Anhang 1 von Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle*. Umweltbundesamt, Dessau-Rosslau; 2014.
- [12] Du, H. et al.: *Bottom substrate attributes relative to bedform morphology of spawning site of Chinese sturgeon Acipenser sinensis below the Gezhouba dam*. In: *J. Appl. Ichthyol.* 27, 2011, S. 257-262.
- [13] Dussling, U. *Handbuch zu fibS. – Schriftenreihe des Verbandes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V., Heft 15*; 2009.
- [14] Zahn, S. et al.: *Bestandserhebung der Fischfauna in ausgewählten Fließgewässern und Seen des Landes Brandenburg als Grundlage der typspezifischen Gewässerbewertung bzw. ökologischen Zustandsbeurteilung nach der EU-Wasser-Rahmenrichtlinie*; Endbericht, Studie im Auftrag des Ministeriums für ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz Potsdam, 2008; S. 231.
- [15] Langhans, S. D. et al.: *Coupling systematic planning and expert judgement enhances the efficiency of river restoration*. In: *Sci. Tot. Environ.* 560, 2016, S. 266-273.
- [16] Wolter, C. et al.: *Fischereibiologische und wasserbauliche Vorstudie zu Renaturierungs- und Sanierungsmaßnahmen im Westlichen Abzugsgraben bei der Zitadelle Spandau*. Gesamtbericht. Senatsverwaltung Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Fischereiamt Berlin; Berlin, Germany, 2008; S. 27.
- [17] Barlaup, B. T. et al.: *Addition of spawning gravel – A means to restore spawning habitat of Atlantic salmon (Salmo salar L.), and anadromous and resident brown trout (Salmo trutta L.) in regulated rivers*. *River Res. Appl.* 24, 2008, S. 543-550.
- [18] Pedersen, M. L. et al.: *Ecological effects of re-introduction of salmonid spawning gravel in lowland danish streams*. In: *River Res. Appl.* 25, 2009, S. 626-638.
- [19] Meyer, E. I. et al.: *An experimental assessment of the effectiveness of gravel cleaning operations in improving hyporheic water quality in potencial salmonid spawning areas*. In: *River Res. Appl.* 24, 2008, S. 119-131.
- [20] Lorenz, S. et al.: *Fuzzy cognitive mapping for predicting hydromorphological responses to multiple pressures in rivers*. In: *J. Appl. Eco.* 53, 2016, S. 559-566.

Autoren

Dr. Simone D. Langhans, Dr. Jörn Geßner, Dr. Christian Wolter
Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei
Müggelseedamm 310, 12587 Berlin

E-Mail: langhans@igb-berlin.de

