

Revitalisierung von Neben- und Altarmstrukturen an großen Fließgewässern Ökologische Ziele, Planungsrahmenbedingungen, Methoden und Beispiele

Martin Mühlbauer, Gerald Zauner

Die Revitalisierung von Neben- und Altarmstrukturen stellt insbesondere an großen Flüssen eine wesentliche Maßnahme im Sinne der Zielerreichungen der Wasserrahmenrichtlinie und der Flora-Fauna-Habitat Richtlinie dar. Am Beispiel der österreichischen Donau, mit ihren umfangreichen anthropogenen Nutzungen wie Hochwasserschutz, Schifffahrt und Wasserkraftnutzung, wird die Herangehensweise bei der Erfassung von Revitalisierungspotentialen beschrieben. Die Potentiale für am morphologischen Urzustand orientierte Revitalisierungen gliedern sich an der österreichischen Donau dabei in die drei Bereiche mit verbliebenem Fließgefälle. Das sind die freien Fließstrecken, die Stauwurzelbereiche der Kraftwerke in den Stauketten, und die Aubereiche in Beckenlagen seitlich von Stauräumen. Als prioritäre Maßnahme ist die Wiederherstellung möglichst dynamischer Nebenarme in diesen Bereichen anzusehen, da damit die umfänglichste und beständigste Wiederherstellung ursprünglicher Lebensräume und den damit assoziierten Zönosen einhergeht. Daneben kommt aber auch dem Management von Stillgewässern, welche sich vielfach nicht selbst erhalten, wesentliche Bedeutung beim Erhalt und der Verbesserung der gewässerökologischen Funktionsfähigkeit zu. Entscheidend ist in beiden Maßnahmengruppen dabei die möglichst umfängliche Wiederherstellung von Schlüssellebensräumen. Anhand von Beispielen an der österreichischen Donau und am unteren Inn wird erläutert, wie dieses Ziel unter den jeweils maßgeblichen Rahmenbedingungen mit den verschiedenen Maßnahmen und Bauweisen erreicht werden kann.

Mühlbauer M, Zauner G (2023) Revitalization of secondary and oxbow structures on large rivers – ecological objectives, planning framework, methods and examples.

The restoration of side channels and oxbow structures, especially on large rivers, is an essential measure in terms of achieving the objectives of the Water Framework Directive and the Habitats Directive. Taking the Austrian Danube as an example, with its extensive anthropogenic uses such as flood protection, navigation and hydropower, the approach to determine the restoration potential is described. The main restoration potentials of the Austrian Danube are found in areas with remaining flow gradients. These are the free-flowing sections, the heads of the impoundments with still flowing water character and the floodplain areas beside the impoundments. In these areas, the restoration of the most dynamic side arms should be considered as the prioritized measure, since this can be accounted as the most comprehensive approach to restore pristine riverine habitats and to preserve riverine species. In addition, the preservation and management of stagnant water bodies, which in many cases are not self-sustaining, is also of major importance in improving the ecological functionality of water bodies. In both groups of described measures, the most comprehensive and most possible restoration of key habitats is crucial. Examples from the Austrian Danube and the Lower Inn are given to illustrate how this goal can be achieved with various measures and construction methods under the relevant framework conditions.

Keywords: river restoration, sidearms, oxbow lakes, ecological functionality, key habitats, flowing water character, Austrian Danube, Lower Inn.

Einleitung

Infolge von Regulierungsmaßnahmen hat sich die Hydromorphologie großer Flüsse in Mitteleuropa in den letzten beiden Jahrhunderten im Vergleich zu anderen Lebensräumen besonders stark verändert (Dynesius & Nilsson, 1994). Damit einher geht der Verlust großer Naturflusslandschaften samt ihren Lebensräumen mit einer artenreichen und vielfach produktiven Biozönose. Große Flüsse wiesen in den Beckenlagen bei entsprechend hohem Gefälle, Abfluss und Geschiebeaufkommen meist mehrarmige Flusstypen (Furkationstypen) auf, während bei geringem Gefälle Mäanderflüsse vorherrschten. Für Furkationen ist dabei typisch, dass Flussarme durch Verlagerungsprozesse entstehen aber auch wieder verlanden können. Durch Regulierungsmaßnahmen und späteren Kraftwerksbau wurden Flussarme abgetrennt sowie Mäander durchgestochen, die neuen Flussläufe wasserbaulich fixiert und vielfach durch Kraftwerke aufgestaut. Der für diese Flusslandschaften typische Prozess der Morphodynamik durch Hochwässer, sprich die Verlagerung des Flussarms bzw. der Flussarme durch ein Wechselspiel aus Erosion und Akkumulation von Flusssedimenten, wurde dabei unterbunden und damit auch die laufende Neubildung von Neben- und Altarmen und aller weiteren flussassoziierten Lebensräume (Hohensinner & Jungwirth 2016).

Seit den 1980er Jahren gibt es in Österreich erste Bestrebungen zur Revitalisierung von Flusslandschaften. Die Renaturierung von Neben- und Altarmen rückte dabei sehr bald in den Fokus, da an ihnen die Lebensraumveränderung bzw. der weitere Verlust an Gewässerlebensräumen durch Entkopplung und Verlandung sehr gut ablesbar war und die Verbesserung gewässerökologischer Verhältnisse relativ einfach und konfliktfrei erschien. Die ersten Versuche, in der Donaueinflusstrecke Wachau Nebenarme wieder an die Donau anzubinden, sind aus heutiger Sicht als unzureichend einzustufen. Wie die nachfolgende Entwicklung zeigte, waren diese Anbindungen über Rohre oder kleine Flutmulden sogar kontraproduktiv, da diese abflussschwachen Anbindungen zwar Feinsedimente in den Neben-Altarm eingeleitet haben, die Fließgeschwindigkeiten aber nicht ausreichend waren, um diese auch durch das System zu transportieren, mit der Folge, dass die Nebenarme noch schneller verlandeten. Dies war der Beginn eines bis heute andauernden Lernprozesses bei der Planung von Nebenarmrevitalisierungen.

Durch die Gesetzgebung auf EU-Ebene in Form der Wasserrahmenrichtlinie und der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie wurde die Verbesserung der Flussökosysteme bzw. ihrer Arten und Lebensraumtypen zur Verpflichtung im öffentlichen Interesse, aus deren Titel Managementpläne und Gewässerbewirtschaftungspläne erstellt wurden. Die Maßnahmenkategorien *Gewässervernetzung* und *Revitalisierung von Nebengewässern* sind dabei wichtige Bestandteile dieser Planungsinstrumente.

Ökologische Ziele von Maßnahmenkonzepten

Am Beginn des konkreten Planungsprozesses von Revitalisierungsmaßnahmen stehen in der Regel Potentialstudien, welche die Möglichkeiten für die Behebung der flussökologischen Defizite unter den gegebenen Rahmenbedingungen überblicksmäßig erfassen (Zauner et al. 2008). Bis hin zum Umsetzungsprojekt sind dabei je nach Komplexität vielfach mehrere Planungsschritte erforderlich. Im Folgenden werden die aus Sicht der Autoren wesentlichen Planungsaspekte bei der Revitalisierung von Neben- und Altarmstrukturen am Beispiel der österreichischen Donau erläutert.



Abb. 1: Maßgebliche Fließgewässerhabitate (Schlüsselhabitate) in einem revitalisierten Donaunebenarm (Rossatz; Projekt LIFE Wachau) auf einen Blick (Anbruchufer mit Totholzeintrag, rasch überströmte Kiesfurt, Kolk/Rinner, verzahnte Seichtwasserzonen, flache dynamische Kiesbänke). – Fig. 1: Key river habitats in a restored side channel of the Danube (Rossatz; LIFE Wachau project) at a glance (undercut banks with wood-input, riffles, pools/runs, shallow water zones, dynamic gravel banks).

Zu Beginn der Entwicklung von Maßnahmenkonzepten steht die Betrachtung des flussmorphologischen Leitbildes im Sinne der ursprünglichen Flusslandschaft vor den wesentlichen anthropogenen Einflüssen. Dieses wird auch als visionäres Leitbild bezeichnet und steht für das Optimum an erreichbarer, gewässertypischer Lebensraumverbesserung und Wiederherstellung natürlicher Prozesse.

Die bestehenden Nutzungen schränken das Potential dafür jedoch erheblich ein. An der österreichischen Donau sind dies vor allem Flussregulierung und Hochwasserschutzanlagen, Wasserkraftnutzung und Schifffahrt. Ohne wesentliche Einschränkung oder gar Aufgabe dieser intensiven Nutzungen und den dadurch gegebenen Beschränkungen des Flusssystems ist eine vollständige Renaturierung des Flusslaufs im Sinne des ursprünglichen Wirkungsgefüges daher nicht möglich und es ist ein operationales/umsetzbares Leitbild zu entwickeln. Da insbesondere der Hauptarm der Donau den stärksten Restriktionen unterliegt, sind größere, am flussmorphologischen Leitbild orientierte Renaturierung vielfach nur seitlich davon möglich. Die Schaffung oder Revitalisierung von Nebengewässern bildet daher oftmals das größte Potential zur Wiederherstellung flusstypischer Habitate und Prozesse.

Wie Analysen der historischen Flusslandschaft der Donau zeigen, dominierten lotische Bereiche in Form von Haupt- und Nebenarmen das ursprüngliche Gewässersystem, während episodisch oder selten durchströmte Stillgewässer in ihrem Flächenausmaß von unterge-

ordneter Bedeutung waren (Hohensinner et al., 2004). Eine am Leitbild orientierte Revitalisierung von Nebengewässern bedeutet daher zunächst primär die Wiederherstellung ganzjährig, zum geringeren Teil auch saisonal oder periodisch durchströmter Nebengewässer, da deren Lebensräume im Vergleich zur ursprünglichen Flusslandschaft die größten Verluste aufweisen.

Durch Flussregulierung und Kraftwerksbau wurde die Fläche der Flussarme und der dynamischen terrestrischen Flächen in Form von Kies- und Sandbänken mit Pionier- und Jungwaldgesellschaft sehr stark reduziert. Außerdem haben die flussassoziierten Lebensräume generell durch Ausweitung der Siedlungsräume und Landwirtschaft stark abgenommen. Im Vergleich dazu haben, in Folge von Regulierungsmaßnahmen, Stillgewässer, in Form von Altwässern, sogar im Flächenausmaß zunächst zugenommen. Der Charakter dieser künstlich entstandenen Altarme unterscheidet sich jedoch sehr von den Altarmen der ursprünglichen Flusslandschaft. Regulierung und Kraftwerksbau erzeugten durch Abtrennung von großen Nebenarmen und Hauptarmen große Stillgewässer, die nunmehr isoliert (Plesiopotamon, Paläopotamon) oder nur mehr unterstromig angebunden (Parapotamon) vorliegen. Aufgrund der meist zu geringen Restdynamik waren und sind diese regulierungsbedingt entstandenen Stillgewässer in einem sukzessiven Verlandungsprozess. In den von Sohleintiefung geprägten Flussabschnitten (Fließstrecken und Stauwurzelbereiche) kommt hinzu, dass die Eintiefung des Hauptarms zum Absinken des (Grund-)Wasserspiegels und damit zu einer abnehmenden Benetzung von Nebengewässern führt bzw. geführt hat. Während sich in den Stauwurzelbereichen, durch die Verringerung des



Abb. 2: Altarm Altenwörth nach Umsetzung gewässerökologisch motivierter Maßnahmen (Schaffung von wechselfeuchten Flachufeln, Einbau von Baumstrukturen, Entfernung von Feinsedimenten aus der Tiefenlinie, jahreszeitliche Wasserstandsregelung) bei hoch reguliertem Wasserstand und überstauten Flachufeln; Projekt LIFE Network Danube Plus. – Fig. 2: Oxbow lake Altenwörth after implementation of aquatic ecologically motivated actions (creation of alternating wet shallow banks, installation of wood structures, removal of fine sediments from the Talweg, seasonal water level regulation) with high, regulated water level and flooded shallow banks; LIFE Network Danube Plus project.

Restgefälles, die Sohleintiefung nach Jahrzehnten sukzessive verlangsamt, schreitet die Sohleintiefung in den Fließstrecken, insbesondere in der Wachau, wo keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden, weiter voran.

Auch wenn die so entstandenen Altarmstrukturen vielfach nicht als gewässertypisch anzusprechen sind, kommt ihnen je nach Struktur, Grad der Verlandung und hydrologischer Konnektivität große Bedeutung als Lebensraum für viele Arten der Fisch-, Amphibien-, Reptilien-, Molluskenfauna und Gliederfüßer sowie spezialisierter Pflanzengesellschaften zu. Bei Renaturierungsbestrebungen sollten Altarmstrukturen daher nicht ohne weiters und keinesfalls ohne Begleituntersuchung und ggf. -maßnahmen wieder in durchströmte Nebenarme umgewandelt werden.

Zentral für die Lebensraumverbesserung durch gewässerökologische Maßnahmen, sowohl in durchströmten als auch stagnierenden Nebengewässer, ist die möglichst umfassende Wiederherstellung gewässertypischer Schlüssellebensräume wie beispielsweise in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt.

Maßnahmentypen, Rahmenbedingungen und Beispiele

Während in natürlichen Flusslandschaften Nebengewässer mit ihren verschiedenen Ausprägungen vielfach laufend neu entstehen und auch wieder verschwinden, sind in einem von Restriktionen und Fixpunkten geprägten System die Verhältnisse deutlich statischer. Im Hinblick auf die Revitalisierung von Neben- und Altarmstrukturen lassen sich unter diesen Rahmenbedingungen aus Sicht der Dynamik grob zwei Gruppen von Maßnahmen unterscheiden, zwischen denen sich das Spektrum diverser weiterer Renaturierungsmaßnahmen von Nebengewässern aufspannt:

- Renaturierung von möglichst dynamischen und vielfältigen Nebenarmsystemen mit hoher Dynamik zur Neubildung von Habitaten
- Schaffung, Erhalt, Strukturierung und Management von Stillgewässerstrukturen

Erstere Gruppe stellt dabei ein Ideal im Sinne einer möglichst umfassenden Wiederherstellung der verschiedenen gewässertypischen Schlüsselhabitate dar. Aufgrund der meist zahlreichen Einschränkungen für das Renaturierungspotential, z. B. fehlende Flächenverfügbarkeit, reduziertes Restgefälle, beschränkte Mittel für die ausreichende große Maßnahmenumsetzung, beschränkte Dotationswassermenge und/oder Hochwasserdynamik etc., kann dieses Ideal vielfach nicht oder nur abschnittsweise erreicht werden, sollte aber jedenfalls bei der Konzeptionierung und Planung von Nebengewässerrenaturierungen angestrebt werden. Je weniger Dynamik und mehr Tendenz zur Entkopplung zwischen Hauptfluss und Nebengewässersystem vorliegt, umso weniger kann auf die eigendynamische Erhaltung der Gewässer gesetzt werden und umso tendenziell häufiger müssen Maßnahmen zur Erhaltung von Gewässerhabitaten gesetzt werden. Am anderen Ende des Dynamikspektrums steht dementsprechend das Management von weitgehend statischen Stillgewässerstrukturen. Im Folgenden wird auf die Besonderheiten bei der Planung und Revitalisierung von einerseits möglichst dynamischen Nebenarmen und andererseits Stillgewässerstrukturen am Beispiel der österreichischen Donau und des Unteren Inn eingegangen.

Renaturierung von Nebenarmen

Nebenarme führen einen Teil des Abflusses eines verzweigten Fluss-Au-Systems. Auch in der heute deutlich statischeren Flusslandschaft, ohne Laufverlagerungen des Hauptarms, kann sich die Abflussaufteilung zwischen Haupt- und Nebenarmen infolge von lokalen Geländeänderungen wie Bank- oder Kolkbildung, aber auch generelle Entwicklungen wie etwa die Entkopplung von Hauptarm und Umland, beispielsweise durch Eintiefung des Hauptarms und/oder Auflandung des Umlands bzw. der Nebengewässer ändern. Breit regulierte oder eingetiefte bzw. sich eintiefende Hauptarme entziehen dem Umland die Abflussdynamik. Entscheidend für den Erhalt von dynamischen Nebengewässern ist daher, dass, ähnlich wie in der ursprünglichen Flusslandschaft, nach wie vor eine entsprechend hohe hydraulische Dynamik in das Umland bzw. Nebenarmsystem, insbesondere bei geschiebeführenden und flussbettbildenden Hochwässern, abgeleitet wird und durch ausreichend hohe Fließgeschwindigkeiten bzw. Sohlschubspannungen die Flusssohle und Uferzonen immer wieder umgelagert werden. Die Sohlschubspannungen sind dabei eine Funktion die mit der Dimension des Fließgewässers (Gewässerbreite und -tiefe) und dem Fließgefälle weitgehend linear zunimmt.

Nebenarme, die aufgrund zu geringer Tiefe, Breite und/oder zu geringem Gefälle die Ufer nicht entsprechend dynamisieren und aufgekommene Ufervegetation und stattgefundene Feinsedimentanlandungen, beispielsweise auch durch unnatürlich hohe Feinsedimentbelastung bei Remobilisierung aus Stauräumen, nicht mehr erodieren können, verlieren meist schon nach einigen Jahren bis Jahrzehnten den Großteil ihrer gewässerökologischen Wirkung, weil Flachuferzonen auflanden und die Durchströmung und Dynamik laufend weiter abnimmt. Stoffers et al. (2020) stellen dementsprechend den mittelfristigen Lebensraumverlust für rheophile Arten fest und fordern wiederkehrende Interventionen zum Erhalt der Fließgewässerfunktionen.

Für eine möglichst umfassende und dauerhafte Wiederherstellung der defizitären, funktionellen Fließgewässerhabitate (s. auch Abb. 1) und morphologischen Prozesse in Nebenarmen sollten folgende Parameter möglichst gut erfüllt sein:

1. Flächenverfügbarkeit für die Breite und Verlagerungsdynamik des Nebenarmsystems
2. Gewässertypisches bzw. ursprüngliches Fließgefälle in Verbindung mit gewässertypischer Hydrologie
3. Ausreichender Geschiebeinput für den langfristigen Erhalt des Fließgefälles und der Umlagerungsdynamik im System

In Fließstrecken und in den gefällereichen Stauwurzelbereichen sind, bei entsprechender Flächenverfügbarkeit im Umland, die Bedingungen für eine leitbildorientierte Revitalisierung aufgrund des gewässertypischen Gefälles günstig. Allerdings zeigen Erfahrungen, dass bei bereits starker Entkopplung und/oder Verlandung, beispielsweise wenn die Sohllage des anzubindenden Nebenarmsystems über dem Niederwasserspiegel des Hauptstroms liegt, sich insbesondere schmälere Nebenarme kaum mehr morphologisch dynamisieren lassen (Zauner et al. 2006a). Für die Wiederherstellung einer flusstypischen Dynamik und eines entsprechenden Fließgewässercharakters ist in solchen Fällen die Annäherung der Sohl-niveaus von Haupt- und Nebenarm erforderlich, entweder durch die Hebung der Sohle des Hauptarms und/oder die Absenkungen der Nebenarmsohle. So kann, wie beispielsweise bei den Nebenarmrevitalisierungen in der Fließstrecke Wachau, der Sediment-

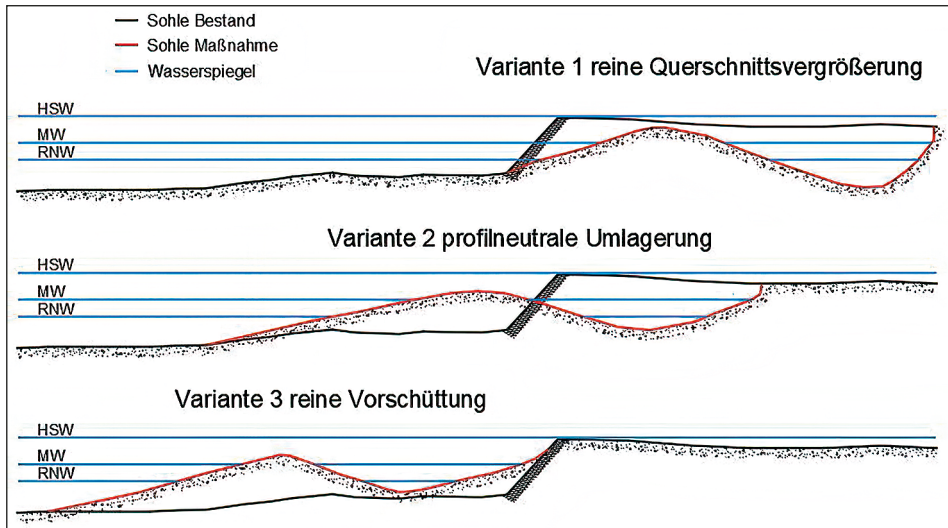


Abb. 3: Schematische Darstellung verschiedener Bauweisen von Strukturierungsmaßnahmen (flaches Kiesufer, Insel, Nebenarm) im Profil mit kennzeichnenden Wasserständen der Donau (RNW Regulierungsniederwasser, MW Mittelwasser, HSW höchster schiffbarer Wasserstand entspricht Hochwasser mit halbjährlicher Auftretswahrscheinlichkeit) bei großer, mittlerer und keiner Flächenverfügbarkeit im Umland. – Fig. 3: Schematic representation of different construction methods of restoration measures (shallow gravel banks, islands, side channels) in profile with characteristic water levels of the Danube (RNW low navigable water level, MW mean water level, HSW highest navigable water level reached or exceeded at a Danube water gauge on an average of 1% of days in a yearover a reference period of several decades) and with high, medium or no abundance of available surrounding areas.

aushub aus Nebenarmsystemen zur graduellen Sohlhebung des Hauptstroms verwendet werden und eine relativ kostengünstige Umsetzung ermöglicht werden. Durch abflussstärkere Nebenarme entsteht auch eine stärkere hydraulische Entlastung des Hauptstroms bei Hochwasser und damit ein wesentlicher Beitrag gegen die problematische Sohleintiefung.

Um die Fahrwassertiefen für die Großschifffahrt bei Niederwasser in Fließstrecken nicht zu verschlechtern, kann es jedoch sein, dass die Wassermengen, die bei Niederwasser aus dem Hauptarm in das Nebenarmsystem abgeleitet werden dürfen, stark eingeschränkt sind, wie dies beispielsweise bei Gewässernetzungen östlich von Wien der Fall ist (Zauner et al. 2006a).

Je stärker die Flusslandschaft beeinträchtigt ist, umso stärker muss für eine wirksame Revitalisierung eingegriffen werden. Vielfach können gewässertypische Nebenarme nur mehr durch eine völlige Neuschaffung wiederhergestellt werden und Planungen müssen sich dabei an den Einschränkungen durch die diversen Nutzungen orientieren.

Abbildung 3 zeigt, wie bei verschiedenen Situationen der Raumverfügbarkeit regulierter Abschnitte naturnahe, unverbaute Ufer in Haupt- und Nebenarm wiederhergestellt werden können. Neben der Raumverfügbarkeit spielt aber auch die Hydraulik eine wesentliche Rolle. Variante 1, die Nebenarmschaffung durch Querschnittsvergrößerung, stellt an regulierten **Fließstrecken** alpin geprägter Flüsse ein häufig angewandtes Mittel dar, um neben der hydromorphologischen Verbesserung auch Aspekte der Sohlstabilität (ge-

gen Eintiefung) und der Verbesserung des Hochwasserschutzes zu bedienen. Zu berücksichtigen ist bei solchen Aufweitungen, dass es bei entsprechendem Geschiebeaufkommen im Bereich der Profilaufweitung mit Nebenarm zu Sohlhebungen und flussab davon zu Sohlabsenkungen kommen wird (Hunzinger 2004). Variante 3, die reine Vorschüttung, kommt vor allem zur Anwendung, wenn die mittlere Sohlage des Hauptflusses wieder gehoben, das Fließgefälle wiederhergestellt bzw. die Fließgeschwindigkeiten erhöht werden sollen. Ein weiterer Anlass für flächige Sohlhebungen bzw. Kiesschüttungen kombiniert mit Aufweitungen kann die Beseitigung von Migrationshindernissen sein, die zuvor durch die Sohleintiefung flussab von sohlfixierten Bereichen entstanden sind, wie das bei den Donauzubringern Große Rodl und Traun im Raum Linz durchgeführt wurde (Lauber et al. 2015) bzw. vorgesehen ist (Zauner et al. 2022). Diese Variante kann mitunter im Konflikt mit der bestehenden Hochwasserschutzsituation stehen (siehe weiter unten).

Variante 2, die mehr oder weniger profilneutrale Umlagerung, stellt den fließenden Übergang zwischen Variante 1 und 3 dar. Sie sollte aus hydromorphologischer Sicht zur Anwendung kommen, wenn sowohl Aspekte des Hochwasserschutzes und der hydraulischen Entlastung des Hauptarms als auch Aspekte der Ausweitung des Gewässerlebensraums sowie die graduelle Profileinengung des Hauptarms zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten gefragt sind. Hinsichtlich Vereinbarkeit mit der bestehenden Hochwasserschutzsituation hat Variante 2 gegenüber Variante 3 den wesentlichen Vorteil, dass sie hochwasserneutral errichtet werden kann und trotzdem durch die Vorschüttungen in den Hauptarm eine Verstärkung des Fließgewässercharakters durch Sohlhebung möglich wird und bei der Baumsetzung nur kurze Transportwege für die Umlagerung der Flusssedimente notwendig sind.

Auch in kraftwerksbeeinflussten Donauabschnitten, den **Stauwurzeln** bzw. Unterwasser-Eintiefungsstrecken, besteht, bei noch ausreichendem Restgefälle, Potential für die Wiederherstellung durchströmter, sich selbst erhaltender Nebenarme. Aufgrund der reduzierten Gefälleverhältnisse und der damit geänderten Hydraulik, müssen Nebenarme jedoch einen deutlich größeren hydraulischen Radius aufweisen, also größere Wassertiefe und Gewässerbreite, um entsprechend hohe Fließgeschwindigkeiten und zumindest abschnittsweise dynamische Uferzonen als wertvolle Schlüsselhabitate ausbilden zu können.

Insbesondere bei reduziertem Gefälle und/oder schmälere Nebenarmen sollten die Einströmbereiche auf voller Gewässerbreite bzw. trichterförmig ausgeformt werden, um möglichst wenig Energieliniengefälle durch technische Einlaufbauwerke oder Ufersicherungen zu verlieren. Zudem bilden sich im Bereich der Einströmöffnungen vielfach die dynamischsten Uferstandorte.

Besonders an Flüssen mit hoher Feinsedimentfracht wie Donau und Inn müssen sich selbsterhaltende Nebenarme daher, je nach lokalen Gefälleverhältnissen, eine Breite von bis zu 100 m und mehr aufweisen. Entsprechend groß sind die dafür erforderlichen Materialbewegungen. So wurden bei der Herstellung der Insel-Nebenarm-Systeme im Unterwasser des Donaukraftwerks Ottensheim-Wilhering (Zauner & Mühlbauer 2008) und des Innkraftwerks Ering-Frauenstein (Zauner et al. 2020, s. Abb. 4) jeweils mehr als 800.000 m³ Material innerhalb des Flusssystem umgelagert.

Diese reduzierten Gefälleverhältnisse der Stauwurzeln, welche diesen Zugang bei der Schaffung von Nebenarmen erforderlich machen, kommen dabei wie folgt zustande. Bei der Errichtung der Donaukraftwerke (Ausnahme KW Freudenaus) wurde jeweils im Kraft-



Abb. 4: Insel-Nebenarm-System im Unterwasser des Innkraftwerks Ering-Frauenstein hergestellt nach Variante 2 (siehe Abbildung 3). – Fig. 4: Island-side channel system in the tailwater of the Inn power plant Ering-Frauenstein planned according to variant 2 (see Figure 3).

werksunterwasser die Flusssohle auf mehreren Kilometern eingetieft, um die Fallhöhe an den Kraftwerken zu erhöhen. Dadurch und durch den Rückstau des jeweils flussab liegenden Kraftwerksstaus wurde das Fließgefälle der Stauwurzelbereiche gegenüber den zuvor vorhandenen Fließstrecken bereits wesentlich reduziert. Weiters kommt teilweise hinzu, dass auch nach der maschinellen Sohleintiefung beim Kraftwerksbau sich oft die Sohle des Hauptarms in diesen Bereichen aufgrund des Geschiebedefizits weiter eingetieft hat. Beispielsweise sind aus der ca. 8 km langen Stauwurzel des Kraftwerks Greifenstein (Unterwasser Kraftwerk Altenwörth) allein in den ersten 10 Jahren nach Kraftwerkserrichtung im Zeitraum 1986 bis 1996 knapp 600.000 m³ Kies erodiert. Die Sohle hat sich dabei in weiten Bereichen um über einen Meter eingetieft (Zauner et al. 2008). Wie sich diese Eintiefungsprozesse auf die Wasserspiegellagen auswirken können, zeigen aktuelle Untersuchungen im Unterwasser des Donaukraftwerks Ottensheim-Wilhering. Die Mittelwasserspiegellage hat sich hier im Kraftwerksunterwasser seit Kollaudierung der Unterwassereintiefungssohle im Jahre 1985 um mehr als einen halben Meter zugunsten der Kraftwerksfallhöhe abgesenkt. Dabei ist das Restgefälle des unteren Drittels der Stauwurzel bei Mittelwasser weitgehend verschwunden und die oberen zwei Drittel der Stauwurzel haben sich parallel eingetieft und dabei ihr Gefälle weitgehend erhalten. Das Restgefälle der gesamten Stauwurzel hat sich aber von ursprünglich ca. 1,9 m bei Mittelwasser im Jahr 1985 um mehr als ein Viertel reduziert. Beim höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW), welcher für die Sohl- und Uferdynamik wesentlich ist, hat sich das Restgefälle

sogar um über 70 cm reduziert (Frangé et al. 2021). Ein derartiger Verlust an Fließgefälle reduziert die Dynamik und Fließgewässerqualität und erhöht, infolge von reduzierten Fließgeschwindigkeiten, die Gefahr der Verlandung von Nebengewässern, bzw. verkürzt das Potential für Renaturierungsmaßnahmen mit entsprechendem Fließgefälle. Das Absinken des Wasserspiegels infolge der Erosionen in der Tiefenrinne reduziert die Wasserfläche im Hauptarm und angebundenen Nebengewässern. Speziell hochwertige Flachuferzonen werden weniger häufig überströmt und verwachsen mit Vegetation und gehen dauerhaft als Gewässerlebensraum verloren bzw. verschieben sich günstigstenfalls Richtung Flussmitte.

Vereinzelte wurden bereits Maßnahmen zum Erhalt des Restgefälles von Stauwurzelbereichen durch Geschiebewirtschaftung (Rückführung aus dem zentralen Stau, bzw. Zugabe) gesetzt (Zauner & Hauer 2008, Gabriel et al. 2012). Bestrebungen, die kollaudierten Sohl- und Spiegellagen wiederherzustellen, wie beispielsweise in einzelnen Kraftwerksunterwasserbereichen an Isar (Mühlbauer et al. 2018) und Traun (Zauner et al. 2022), erfolgen an der Donau bislang nicht, obwohl der Verlust des Restgefälles in den Stauwurzeln eine wesentliche Verschlechterung aus Sicht der Gewässerökologie bedeutet. Meist ist die Wiederherstellung der kollaudierten Unterwassersohle durch Geschiebezugabe auch kaum mehr möglich, da vielfach Planungen von Hochwasserschutzbauten auf der bereits eingetieften Sohle der Stauwurzelbereiche planerisch aufsetzen, obwohl dies im Widerspruch zu einer im Rahmen des Kraftwerksbaus zuvor kollaudierten, in der Regel deutlich höher liegenden Flusssohle, steht. Dementsprechend könnte eine Sohlanhebung im Sinne der kollaudierten Kraftwerksunterwassersohle ggf. die Hochwasserschutzziele in manchen Bereichen in Frage stellen.

Auch wenn die Wiederherstellung des ursprünglichen Restgefälles der Stauwurzelbereiche daher meist keine praktikable Option mehr sein wird, sollten folgende Mindestmaßnahmen für den Erhalt bzw. die Wiederherstellung der gewässerökologischen Funktionsfähigkeit der Stauwurzelbereiche, als ökologisch prioritäre Trittsteinbiotope in den Stauketten, jedenfalls gesetzt werden:

- Ausschöpfen der Renaturierungspotentiale in den Stauwurzeln inkl. Wiederherstellung eines vertretbaren Teils des verlorengegangenen Restgefälles
- Dauerhafter Erhalt des gesamten, dann noch vorhandenen Sohlagen- und Spiegellagengefälles sowie der Renaturierungsmaßnahmen in der Stauwurzel

Ein weiteres großes Potential für die Wiederherstellung von Nebenarmen, das bei den Kraftwerken in Beckenlagen besteht, bilden sogenannte **Umgehungsarme**. Sie verlaufen um das Kraftwerk und verbinden im Optimalfall bei maximaler Länge das Kraftwerksunterwasser mit der Stauwurzel im Oberwasser. Die Umgehungsarme bei den Donaukraftwerken Ottensheim-Wilhering (Zauner et al. 2017) und Altenwörth (Mühlbauer 2022) weisen eine Länge von 14,3 bzw. 12,5 km auf und verlaufen zum Großteil im Bereich von im Zuge des Kraftwerksbaus umgeleiteten Zubringern. Beschränkend für die Flächigkeit und Qualität des erreichbaren Fließgewässerlebensraums wirken bei Umgehungsarmen erstens vor allem die Flächenverfügbarkeit für so lange, zusammenhängende Gewässerstrecken. Sowie zweitens die Wassermengen, welche Kraftwerksbetreiber bereit sind, zusätzlich zur bestehenden Hydrologie von Zubringern, Sickergräben und Flutmulden, für die Basisdotations und die dynamische Dotations abzugeben, welche für einen ökomorphologisch hochwertigen Fließgewässerlebensraum erforderlich sind. Dazu ist an-

zumerken, dass mit weiter ansteigender Dotation der Zugewinn an Gewässerlebensraum kontinuierlich kleiner wird. Die Dimension solcher Umgehungsarme im Kompromiss mit Kraftwerksbetreibern sollte aber zumindest so groß sein, dass auch Adulttiere der größtenmaßgebenden Fischart einen ganzjährigen Lebensraum vorfinden. Im Unterschied zu den oben angeführten Nebenarmtypen kann hier die Dotation über technische Ableitung aus dem Stauraum bzw. der Stauwurzel garantiert werden. Eine weitere große Stärke dieses Nebenarm-Typs ist, neben der Möglichkeit damit die Durchgängigkeit für aquatische Organismen beim Kraftwerk umfassend wiederherzustellen, dass das ursprüngliche Talgefälle trotz Kraftwerksnutzung vorhanden ist und für dynamische Prozesse genutzt werden kann. Auch die Anbindung relikitärer Augewässer abseits der Rückstaudämme an den Hauptarm wird so möglich. Da das gesamte Gefälle des Kraftwerks zur Verfügung steht, können auch mit – im Vergleich zur Hydrologie ursprünglicher Nebenarme oder in einer Stauwurzel hergestellter Nebenarme – deutlich geringeren Durchflussmengen hochwertige Fließgewässerbereiche in Umgehungsarmen geschaffen werden. Das flächige Ausmaß der dadurch geschaffenen einzelnen Schlüsselhabitate, wie z. B. Kieslaichplätze auf überströmten Kiesflächen, ist dadurch freilich deutlich geringer, kann allerdings auf deutlich längeren Strecken hergestellt werden. Auch die dauerhafte Schaffung von dynamischen, strukturierten Flachuferzonen (s. Abb. 1) als wertvolle Jungfischhabitate ist nur möglich, wenn wiederkehrend Hochwässer stattfinden bzw. gezielt Spülungen im Umgehungsgerinne durchgeführt werden, welche Uferzonen erodieren und Geschiebe umlagern. Dies ist beispielsweise bei den dynamisch dotierten Umgehungen bei den Donaukraftwerken Ottensheim-Wilhering, Altenwörth (s. Abb. 5) und dem Innkraftwerk Ering (s. Abb. 6) der Fall (Mühlbauer et al. 2022).

Ein großes Nebenarmsystem an der österreichischen Donau (Mittelwasserabfluss im Längsverlauf ca. 1.400 bis 1.900 m³/s) wies in der ursprünglichen Situation durchaus ca. 100 bis 500 m³/s Mittelwasserabfluss und eine entsprechend große Hochwasser- und Verlagerungsdynamik auf. Das erste Umgehungsgewässer an der österreichischen Donau mit entsprechender Laichplatzqualität für Kieslaicher ist die Fischwanderhilfe beim Donaukraftwerk Freudenu/Wien in Form eines Umgehungsgerinnes (Eberstaller & Pinka 2001). Das Gerinne ist ca. 6 bis 9 Meter breit, ca. 1 km lang, wird mit 1,5 bis maximal 3,6 m³/s dotiert, und weist mit einem Gefälle von durchschnittlich 6,7 Promille das ca. 15-fache Gefälle der Donau auf. Diese Hydromorphologie weicht noch recht stark von einem donautypischen Nebenarm ab, läutete aber die Entwicklung hin zum späteren Bau großflächigerer, gewässertypischer Umgehungsarme ein. Der vorläufige Höhepunkt dieser Entwicklung stellt der Umgehungsarm beim Donaukraftwerk Altenwörth dar. Mit ca. 40 Hektar Wasserfläche bei einem Mittelwasserabfluss (unter Einbeziehung von Zubringern) von 17 m³/s sowie einer wiederkehrenden Hochwasserdynamik bis 100 m³/s und mehr kommt diese Hydromorphologie einem kleinen Nebenarm der Donau schon deutlich näher. Bei entsprechender Verfügbarkeit von Flächen, Abfluss und Finanzmitteln können solche Systeme jedoch noch weiter ausgebaut werden und die Verfügbarkeit gewässertypischer Schlüsselhabitate bedeutend ausgeweitet werden. Im Prinzip weisen alle Kraftwerke mit mehr oder weniger weitläufigen Vorlandflächen Potential für solche dynamischen Umgehungsarme auf.

Neben den oben erwähnten, einschränkenden Planungsrahmenbedingungen können neue oder reaktivierte Nebenarme in Konflikt mit Grundwassernutzungen stehen, falls diese zu geringe Abstände zu Brunnen aufweisen. Bei den zwei Gemeindebrunnen, die bei den



Abb. 5: Umgehungsarm beim Donaukraftwerk Altenwörth; kleines Bild: unterster Abschnitt zwischen Altarm und Kraftwerk in Form eines neu geschaffenen 3 km langen Nebenarms; großes Bild: strukturierter Abschnitt im Bereich des weiter flussauf liegenden Umleitungsgerinnes der Zubringer Kamp und Krens (LIFE Network Danube Plus). – Fig. 5: Bypass arm at the Danube power plant Altenwörth; small picture: lowest section between the old Danube and the power plant in the form of a newly created 3 km long side channel; large picture: restored section in the area of the diversion channel of the tributaries Kamp and Krens further upstream (LIFE Network Danube Plus).

Nebenarmrevitalisierungen Rührsdorf-Rossatz betroffen waren, wurden deshalb Entkeimungsanlagen eingebaut, um etwaige Qualitätsprobleme in der Trinkwasserversorgung zu vermeiden. Bei der derzeit laufenden Planung der Revitalisierung des Nebenarmprojekts Petronell in der Fließstrecke östlich von Wien werden sogar Synergien zwischen dynamischem Nebenarmsystem und Grundwassernutzung genutzt, da nur durch einen entsprechend morphodynamischen Nebenarm mit unkolmatierter Sohle der Aquifer im Bereich des Brunnenfeldes ausreichend mit Wasser versorgt werden kann.

Schaffung, Erhalt, Strukturierung und Management von Stillgewässerstrukturen

Stillgewässer weisen durch Verlandung in der Regel eine Entwicklung hin zu semiaquatischen und schließlich terrestrischen Lebensräumen auf. Eine Ausnahme sind altarmartige Strukturen, die bei Hochwasser stark durchströmt oder gezielt zur Hochwasserentlastung genutzt werden und durch diese Spülereignisse entsprechend erhalten bleiben. Grundsätzlich verlanden aber die meisten Stillgewässer sukzessive und gehen langfristig verloren.

Zum Erhalt der verschiedenen Stillgewässertypen in ihren verschiedenen Sukzessionsstadien und ökologischen Funktionen sind, ohne die natürliche Neubildung durch sich verlagernde und abschnürende Flussarme, daher Maßnahmen zum generellen Management und in der Regel auch wiederkehrender Instandhaltung erforderlich, auf die im Folgenden eingegangen wird.

Eine hauptsächlich fischökologische motivierte Maßnahme ist die **Anbindung** – meist unterstromig **an den Hauptarm** – damit Fischarten, die Stillgewässer zum Abbläichen aufsuchen, verbesserte Reproduktionsbedingungen vorfinden bzw. generell Fischwanderungen zwischen Hauptarm und Altwasser entsprechend den jahreszeitlichen, art- und altersspezifischen Ansprüchen der Fischfauna wieder erfolgen können.

Gehen Wasservolumen und -flächen durch Verlandung und/oder Absinken des (Grund-)Wasserspiegels in kritischem Maße verloren, können die **Entfernung von Sedimenten** und/oder die **Hebung des Wasserspiegels** angezeigt sein.

Bezüglich der Entfernung von Feinsedimenten aus bestehenden Altwässern mit noch verbliebener Benetzung hat sich in den letzten Jahren, neben der Entlandung mit Hydraulikbaggern vom Schiff, eine weitere Methode etabliert, die Entlandung mit schwimmenden Saugbaggern. Mit ersterer wurden beispielsweise der Wallseer und Ottensheimer Donauarm sowie das Altwasser in der Schildorfer Au nahe Passau großflächig vertieft und strukturiert. Mit der zweiten, vergleichsweise wenig invasiven Methode der Saugbaggerung wurden zuletzt die Donaualtwässer Ziegelofenwasser/Kronau bei Tulln (60.000 m³), Hößgang Kastln (30.000 m³) und Altenwörther Altarm (75.000 m³) entlandet. Sind Altarmstrukturen bereits sehr stark verlandet, kann die Baggerung mit in der Regel kostengünstigeren landgebundenen Geräten durchgeführt werden, wie beispielsweise bei den Altarmen in der Wachau.

Eine Möglichkeit, den Wasserspiegel in Altwässern zu heben und die Wasserbenetzung zu vergrößern, ist die **Dotation** von Wasser. Die Dotation von Stillgewässern mit Oberflächenwasser ohne entsprechende Spüldynamik birgt grundsätzlich die Gefahr, dass sich Nährstoffe und insbesondere Feinsedimente im Stillgewässer akkumulieren und ggf. zu unnatürlicher Eutrophierung, in den meisten Fällen aber zur Verlandung mit Feinsedimenten führt. Wenn möglich sollte daher eine Dotation nur mit Klarwasser erfolgen oder die Dotation bei Hochwasser so dynamisch gestaltet werden, dass eine eigendynamische Räumung von bereits erfolgten Feinsedimentanlandungen und die Dynamisierung von eingewachsenen Ufern möglichst sichergestellt wird. Eine andere Möglichkeit, den Wasserspiegel in Altarmen zu heben ist, die Entwicklung von Hochpunkten im Längsverlauf eines Altarmsystems. Dies können beispielsweise naturnahe Kiesfurten sein, welche das dem Stillgewässer zutretende Grundwasser bzw. die Altarmdotation anstauen. Vielfach werden Altarmstrukturen regulierungsbedingt aber auch durch künstliche Traversen angestaut, sodass hier eine konstruktive Möglichkeit der Wasserstandsregelung besteht. Solche naturnahen oder künstlichen Querelemente sollten insbesondere in größeren Altarmen, die dem Parapotamon oder Plesiopotamon mit entsprechender Fischzönose zuzuordnen sind, möglichst gut fischpassierbar ausgebildet werden.

Eine Maßnahme, welche vor allem die Uferzonen von Altwässern aufzuwerten vermag, ist die Wiederherstellung **jahreszeitlicher Wasserstandsschwankungen** mit für die meisten großen Flüsse typischen niedrigeren Wasserständen vom Spätsommer bis Winter und höheren Wasserständen im Frühjahr und Sommer. Kombiniert mit bestehen-



Abb. 6: Das neugeschaffene, dynamisch dotierte Umgehungsgerinne Ering/Inn (Bildvordergrund) kann über drei Verbindungskanäle (hervorgehoben durch blaue Linien) mit dem Eringer Altwasser (Bildhintergrund) verbunden werden. Je nachdem welcher der drei Verbindungskanäle geöffnet ist, stellt sich im Altwasser ein hoher, mittlerer oder niedriger Wasserstand ein. Die so erzielten jahreszeitlichen Wasserstandsschwankungen betragen im Altwasser ca. 1,5 m und erzeugen großflächige wechselfeuchte Uferzonen. – Fig. 6: The newly created, dynamically flooded bypass channel Ering/Inn (foreground) can be connected to the oxbow-lake Ering (background) via three channels (highlighted by blue lines). Depending on which of the three channels is open, the water level in the oxbow lake is high, medium or low. The seasonal water level fluctuations achieved in the oxbow lake amount to approx. 1.5 m and create large-scale alternating wet bank zones.

den oder neu geschaffenen **Flachufern**, entstehen großflächig wechselfeuchte Uferzonen für die spezialisierte Annuellen- und Schlammflingsflur, Amphibienhabitate, Laichwiesen für krautlaichende Fische mit hochproduktiven Jungfischhabitaten sowie Nahrungshabitate für Wasservögel (s. Abb. 2). Es sind mehrere Möglichkeiten denkbar, wie in Altwässern mit statischem Wasserstand wieder ökologisch wertvolle jahreszeitliche Schwankungen erreicht werden können. Beim Altarm Altenwörth/Donau (Mühlbauer 2022) und Altwasser Ering/Inn (Zauner et al. 2020) wurden beim fischpassierbaren Auslauf der Altarme drei Öffnungen auf drei verschiedenen Niveaus vorgesehen. Je nachdem welche dieser drei Öffnungen offen ist, stellt sich im Altarm durch das auslaufende Wasser ein anderer Wasserspiegel ein (s. Abb. 6 u. Abb. 7). Auch durch die Veränderung des Zuflusses können, wenn der Abfluss über einen relativ engen Bereich mit steiler Abfluss-Wasserstands-Beziehung erfolgt, entsprechende Schwankungen in Altwässern erzeugt werden.



Abb. 7: Der Altarm Altenwörth wird seit Errichtung des gleichnamigen Donaukraftwerks (1986) über eine Traverse rückgestaut. Im Rahmen des Projekts LIFE Network Danube Plus wurde die bestehende Fischwanderhilfe (Beckenpass) verlängert und mit drei Einlaufbauwerken (blaue Pfeile) versehen. Je nachdem welches der drei Bauwerke geöffnet ist, stellt sich im Altarm flussauf der Traverse (Bildvordergrund) ein hoher, mittlerer oder niedriger Wasserstand ein. Die so erzielten jahreszeitlichen Wasserstandsschwankungen betragen im Altwasser ca. 0,5 m und erzeugen großflächige wechselfeuchte Zonen auf den neugeschaffenen Flachufeln (siehe Abbildung 2). – Fig. 7: Since the construction of the Danube power plant Altenwörth (1986), the oxbow lake Altenwörth has been impounded via a traverse. Within the framework of the LIFE Network Danube Plus project, the existing fish migration facility was extended and was provided with three inlet structures (blue arrows). Depending on which of the three structures is open, the water level in the oxbow lake upstream of the traverse (foreground) is high, medium or low. The achieved seasonal water level fluctuations amount to approx. 0.5 m in the oxbow lake and create large alternating wet zones on the newly created shallow banks (see Figure 2).

Die Wiederherstellung dauerhafter Benetzung und größerer Wassertiefen in Altwässern bedeutet grundsätzlich eine Umwandlung von wechselfeuchten Gewässern (Lebensraum für Amphibien) in Richtung von Fischhabitaten. Dadurch können Konflikte zwischen verschiedenen Schutzziele entstehen, die entsprechender Begleitmaßnahmen bedürfen. Die Schaffung von amphibischen Ersatzhabitaten bzw. die Entwicklung eines Mosaik-Zyklus-Konzeptes, bei dem alle relevanten Habitattypen in einem räumlichen Zyklus zeitlich durchgehend repräsentiert sind, können solche Konflikte vermeiden. Grundsätzlich bleibt anzumerken, dass ohne das Zurückwerfen der Verlandungssukzession vielfach alle Gewässerlebensraumtypen langfristig verloren gehen werden.

Ergebnisse von Nebengewässerrevitalisierungen und Diskussion

Die verschiedenen Maßnahmenkonzepte für die oberösterreichische und niederösterreichische Donau (Zauner et al. 2006a; Zauner et al. 2006b; Zauner et al. 2008) und der Inngrenzstrecke zwischen Bayern und Österreich (Zauner et al. 2010) beschreiben zahlreiche Potentiale für Renaturierungsmaßnahmen. Die Revitalisierung von Nebengewässern stellt dabei den Hauptteil des Maßnahmenpotentials dar. In den letzten 20 Jahren wurde in einigen Streckenabschnitten ein wesentlicher Anteil der möglichen Maßnahmen bereits umgesetzt, in anderen Abschnitten sind die Maßnahmenpotenziale nur in geringem Umfang realisiert worden. Bei vielen, bereits umgesetzten Maßnahmen besteht auch Potential für eine weitere Verbesserung der ökologischen Funktion durch räumliche und funktionelle Ausweitung. So wurde beispielsweise das Nebenarmsystem Rührsdorf-Rossatz nach ersten Reaktivierungsmaßnahmen im Projekt LIFE Wachau im 15 Jahre später umgesetzten Projekt LIFE+ Auenwildnis Wachau verlängert und verbreitert. Die Verbreiterung des Nebenarmsystems wurde dabei auch hauptsächlich dadurch begründet, dass sich im Rahmen des zuvor durchgeführten fischökologischen Monitorings gezeigt hat, dass breitere Nebenarme infolge der deutlichen variableren Hydromorphologie und größeren Dynamik auch eine deutlich bessere Fischbesiedelung und generell bessere Habitatfunktion für FFH-Schutzgüter aufwiesen (Zauner et al. 2017).

Ein Donauabschnitt in dem schon ein Gutteil des beschriebenen Maßnahmenpotentials umgesetzt wurde, ist die Fließstrecke der ca. 33 km langen Wachau. Die aktuelle Uferstrukturkartierung ergibt, dass von den 102 km Uferlinie bei Mittelwasser bereits 30 km von Renaturierungsmaßnahmen geprägt sind (s. Abb. 8). Knapp 20 km der Ufer kommen dabei in den durchströmten Nebenarmen und unterstromig angebundenen Altarmen in den Talweitungen der unteren und oberen Wachau zu liegen. Diese Maßnahmen wurden zum Großteil im Rahmen von drei EU LIFE Natur Projekten umgesetzt.

Viele Faunenelemente haben davon profitiert. So auch die Indikatorarten für dynamische Uferzonen wie die Limikolen Flussuferläufer und Flussregenpfeifer sowie der Eisvogel. In den 1990 Jahren hat Dvorak (2009) den Brutbestand des Flussuferläufers im Important Bird Area (IBA) Wachau noch mit 6-8 Brutpaaren kartiert. Durch LIFE bzw. LIFE+ Nebenarmprojekte (Wachau, Mostviertel-Wachau, Auenwildnis Wachau) und Kiesschütungen hat sich das Vorkommen verdoppelt und ist mit 5-6% ein national bedeutender Bestand. Auch der Eisvogelbestand hat von den Donaunebenarmen profitiert. Wurde er von Dvorak (2009) im IBA-Wachau noch mit ca. 5 Brutpaaren angegeben, schätzt ihn Seehofer (schriftl. Mitt.) aktuell auf ca. 10 Paare.

Während das erste der drei LIFE-Projekte in der Wachau in der Kritik stand, durch die Revitalisierung und ganzjährige Durchströmung der bereits stark verlandeten Nebenarme in Rührsdorf-Rossatz wertvolle Amphibienhabitate zerstört zu haben, wurden in den Folgeprojekten, als Ersatzlebensräume und zur gezielten Förderung, über 50 Amphibien-gewässer geschaffen.

Die Verbesserung der fischökologischen Verhältnisse war eines der Hauptziele der Renaturierungsprojekte in der Wachau. Nachdem seit Mitte der 1980er Jahre ein starker Rückgang des Fischbestands dokumentiert war, konnte im Rahmen des fischökologischen Monitorings beim LIFE+ Projekt Mostviertel Wachau erstmals eine Stabilisierung festgestellt werden (Zauner et al. 2014). Diese bestätigt sich im aktuell fertig gestellten Projekt LIFE+ Auenwildnis Wachau (Zauner et al. 2022). Bemerkenswert ist auch die so ge-

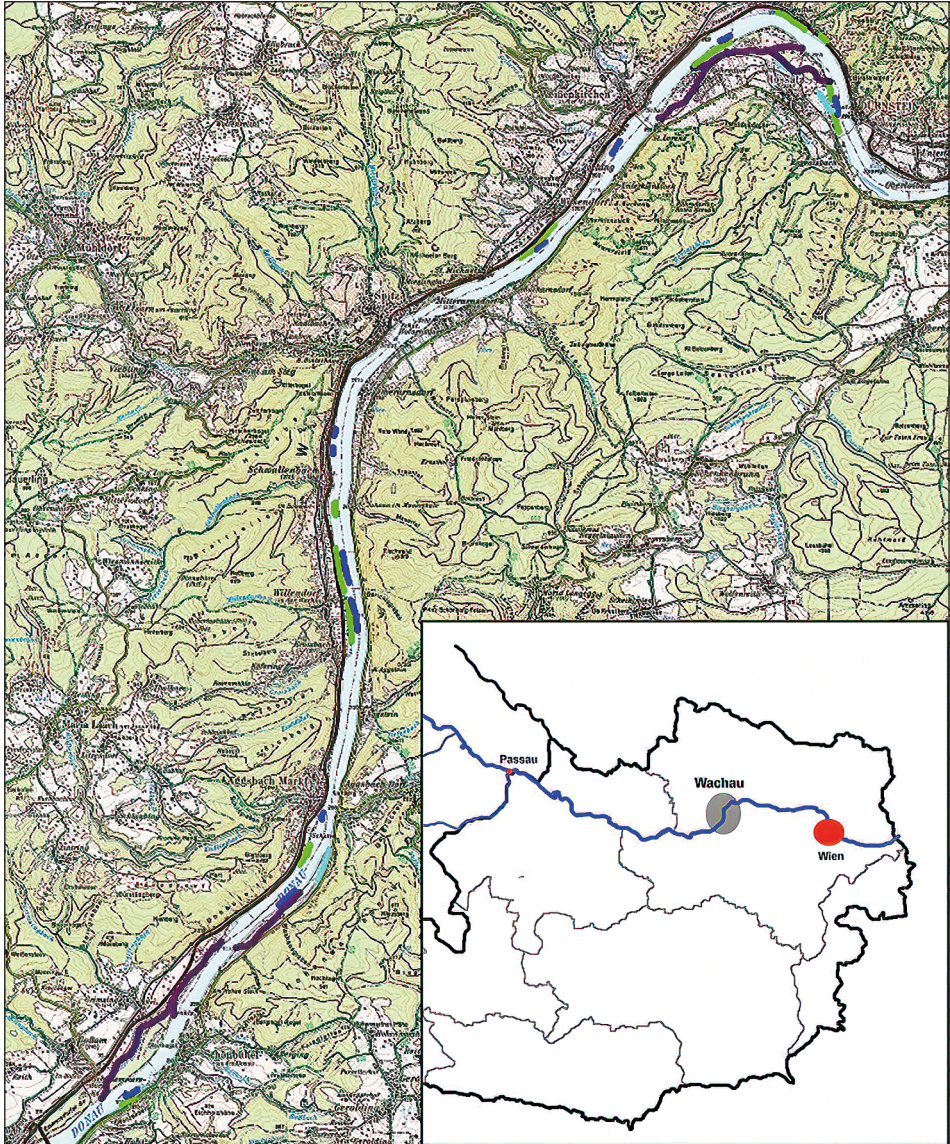


Abb. 8: Übersicht der Renaturierungsmaßnahmen in der Donauffließstrecke Wachau/Niederösterreich (violett: durchströmte Nebenarme, hellblau: unterstromig angebundene, entlandete Altarmstrukturen, dunkelblau: Kiesinseln, grün: Kiesufer/-bank (Kartengrundlage ÖK 50). – Fig. 8: Overview of the river restoration measures in the Danube free-flowing section Wachau/Lower Austria (violet: permanent flowing side channels, light blue: downstream connected oxbow lakes, dark blue: gravel islands, green: gravel banks (map basis ÖK 50).

nannte Rheophilisierung der untersuchten Nebenarme. Darunter ist die Besiedelung mit strömungsliebenden Arten wie Barbe und Nase, aber auch FFH-Schutzgütern wie Streber, Weißflossengründling und Frauennerrfling zu verstehen. So konnte im Nebenarmsystem

Rührsdorf-Rossatz, selbst bei niederen Wasserständen, ein Anteil von über 60 % rheophilen Fischen dokumentiert wurde. Diese Rheophilisierung kann offensichtlich nur erreicht werden, wenn die Nebenarme entsprechend ganzjährig durchströmt sind. Bei den in der Fließstrecke östlich Wien vor über 20 Jahren angebotenen Nebenarmen, welche erst über Mittelwasser durchströmt werden, konnten rheophile Fischarten praktisch nur bei erhöhter Wasserführung nahe den Einstrombereichen nachgewiesen werden (Zauner et al. 2006a). Analysen der Fischbesiedelung der fünf Nebenarme der Wachau zeigten zudem, dass die Fischbestandsdichte bei den breiteren und damit in der Regel auch besser strukturierten Flussarmen deutlich höher ist (Zauner et al. 2014). Das heißt, dass auch durch die Verbreiterung und weitere Strukturierung der bereits revitalisierten Nebenarme, welche im Vergleich zur ursprünglichen Situation noch als schmal zu bezeichnen sind, weitere wesentliche gewässerökologische Verbesserungen möglich sind.

Sinnbildlich für die Trendwende des Fischbestands ist auch der Brutversuch des Seeadlers in der Wachau 2022, der erste seit vermutlich über 150 Jahren (schriftl. Mittl. Kraus). Der Fischbestand, als Nahrungsgrundlage für eine Reihe von Schutzgütern, steht in der Wachau unter besonderem Stress. Neben der die ganze Donau betreffenden Güter- und Kabinenschiffahrt, kommt in der Wachau eine besonders ausgeprägte Ausflugsschiffahrt hinzu. Insbesondere der schiffahrtsbedingte Wellenschlag führt nachweislich zu einer starken Beeinträchtigung des Jungfischaufkommens (Hirzinger et al. 2002; Wolter & Arlinghaus 2003). In durchströmten Nebenarmen finden die Fischlarven und Jungfische teilweisen bis weitgehenden Schutz vor dem Wellenschlag vor. Die Dichten früher Jungfischstadien zeigten sich in den geschützten Flachuferbereichen der Nebenarmsysteme der Wachau durchschnittlich 50-mal höher als in gleichwertigen Uferstrukturen des Hauptarms (Ratschan et al. 2012). Da diese Erkenntnisse bislang nicht zu in dieser Hinsicht wünschenswerten Geschwindigkeitsbeschränkungen für die Schifffahrt in sensiblen Bereichen bzw. Zeiten geführt haben, und da das Larven- und Jungfischstadium als Flaschenhals für die Fischbestandsentwicklung einzuschätzen ist, kommt Nebenarmen daher eine besondere Bedeutung bei der Stabilisierung und Förderung der Fischbestände zu. Besonders hohe Jungfischdichten wurden in den Flachuferzonen des Umgehungsarms beim Donaukraftwerk Ottensheim-Wilhering festgestellt. Dass der Nebenarm, aufgrund seiner Länge von über 14 km, frei von schiffahrtsbedingtem Wellenschlag ist, dürfte ein wesentlicher Grund für die hohen Jungfischdichten sein (Zauner et al. 2017). Im Frühjahr 2020 konnten im Hauptstrom der Donau sehr hohe Jungfischdichten festgestellt werden wie sie mit standardisierten Methoden bislang an der österreichischen Donau noch nicht dokumentiert werden konnten. Dies lässt sich auf die lockdown-bedingte Sperre der Personenschiffahrt zu Beginn der Coronapandemie zurückführen (Zauner et al. 2023).

Auch beim fischökologischen Monitoring von entlandeten, strukturierten und unterstromig angebundenen Altarmstrukturen in der Wachau konnte der Zuzug großer Laichfischmengen aus der Donau beobachtet und das erfolgreiche Abbläuen von Krautlaichern auf den wechselfeuchte, krautigen Flachufeln sowie das Auftreten hoher Jungfischdichten nachgewiesen werden (Zauner et al. 2014). Für den langfristigen Erhalt von Altarmstrukturen sind, aufgrund des kaum mehr gegebenen Potentials der Flüsse zur diesbezüglichen Habitatneubildung, Managementmaßnahmen unerlässlich. Viele Altarme sind aber bereits weitgehend oder ganz verlandet. Für das relativ junge Thema der umfassenden Altwasserentlandungen bedarf es aber sicher noch einer stärkeren Bewusstseinsbildung und

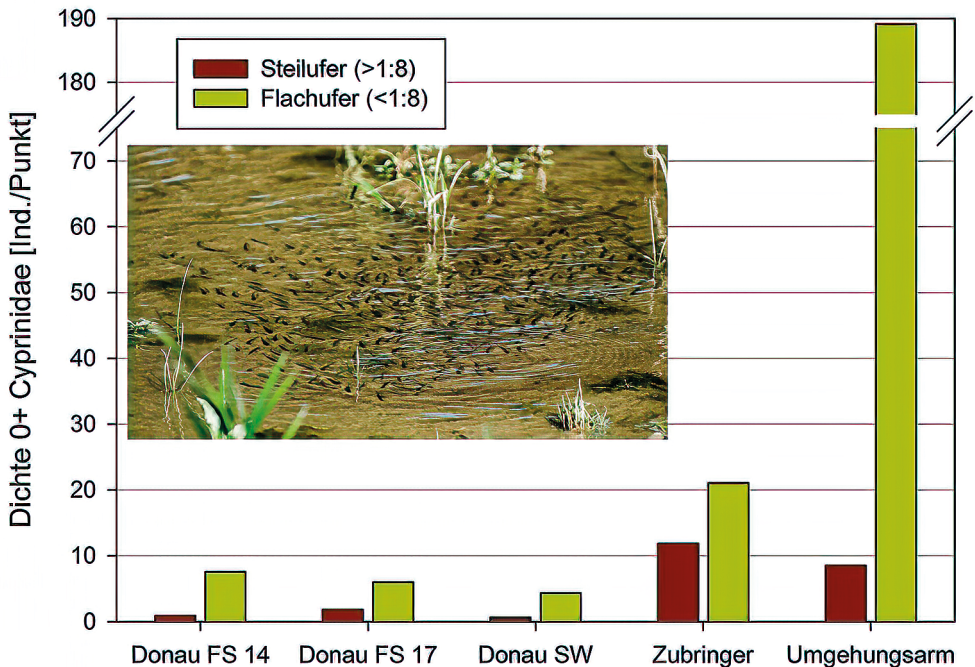


Abb. 9: Vergleich der Jungfischdichten (Mittelwert, nur 0+-Stadium der Familie Cyprinidae) bei Point-abundance-Befischungen in einer Donau-Fließstrecke (Wachau, Juni 2014 bzw. Juni 2017), einer Donau-Stauwurzel (Unterwasser KW Ottensheim-Wilhering, Juni 2015), einem sommerwarmen Donau-Zubringer (Melk, Epipotamal, Juli 2015) sowie im Umgehungsarm Ottensheim-Wilhering (Juli 2017). Datenquellen: Zauner et al. 2017. – Fig. 9: Comparison of juvenile fish densities (mean value, only 0+ stages of the family Cyprinidae) during point-abundance samplings in a Danube free-flowing section (Wachau, June 2014 and June 2017), a Danube section at the head of an impoundment (downstream power plant Ottensheim-Wilhering, June 2015), a summer-warm Danube tributary (Melk, Epipotamal, July 2015) as well as in the bypass arm Ottensheim-Wilhering (July 2017). Data source: Zauner et al. 2017.

eines Schulterschlusses zwischen den Interessenten (Naturschutz, Fischerei, Gemeinden etc.).

Die Revitalisierungsmaßnahmen der beiden letzten Jahrzehnte und deren Auswirkungen zeigen eine durchaus vielversprechende Entwicklung. Da neben diesen Lebensraumverbesserungen jedoch eine Reihe von negativen Einflüssen bestehen, welche das System weiterhin und teilweise auch zunehmend beeinträchtigen, ist zunächst für die Zielerreichungen nach FFH-RL und WRRL und in weiterer Folge auch für die Absicherung der Ziele der Weg der Revitalisierung von Nebengewässer weiter und intensiviert zu beschreiten.

Literatur

- Dvorak M (Hg. 2009) Important Bird Areas – Die wichtigsten Gebiete für Vogelschutz in Österreich. Verlag Naturhistorisches Museum Wien, Wien 576p.
- Dynesius M, Nilsson Ch (1994) Fragmentation and Flow Regulation of River Systems in the Northern Third of the World. Science 266 (5186), 753–762

- Eberstaller J, Pinka P (2001) Überprüfung der Funktionsfähigkeit der FAH am KW Freudenau. Im Auftrag der Austrian Hydro Power GmbH
- Frangez C, Eberstaller J, Gabriel H (2021) UW-Eintiefung KW Ottensheim-Wilhering (BOW) Abschätzung der gewässerökologischen Auswirkungen der Eintiefung nach der Kollaudierung. Im Auftrag der Verbund Hydro Power GmbH
- Gabriel H, Zauner G, Mühlbauer M, Reisinger S, Schreiber J, Rus S, Fuchs M (2012) Geschieberückführung im Stauraum Melk zur Erweiterung der Uferstrukturierung Ybbs-er Scheibe. Life+ Netzwerk Donau. Im Auftrag der Verbund Hydro Power AG
- Hirzinger V, Bartl E, Weissenbacher A, Zornig H, Schiemer F (2002) Habitatveränderungen durch den schiffahrtsbedingten Wellenschlag und deren potentielle Auswirkung auf die Jungfischfauna in der Donau. Österreichs Fischerei 55, 238–243
- Hohensinner S, Habersack H, Jungwirth M, Zauner G (2004) Reconstruction of the characteristics of a natural alluvial river-floodplain system and hydromorphological changes following human modifications: the Danube River (1812-1991). *River Research and Applications* 20 (1), 25–41, ISSN 1535–1467
- Hohensinner S, Jungwirth M (2016) Die unbekannte dritte Dimension: Geländehöhen, Gewässertiefen und Dynamik österreichischer Donaulandschaften vor der Regulierung. *Österr Wasser- und Abfallw.* 68, 324–341. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00506-016-0323-6>
- Hirzinger V, Bartl E, Weissenbacher A, Zornig H, Schiemer F (2002) Habitatveränderungen durch den schiffahrtsbedingten Wellenschlag und deren potentielle Auswirkung auf die Jungfischfauna in der Donau. Österreichs Fischerei 55, 238–243
- Hunzinger L (2004) Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen. *Wasser Energie Luft* 96, 9/10, 243–249, CH-5401 Baden
- Lauber W, Mühlbauer M, Zauner G (2015) Durchgängigkeit und Restrukturierung der Mündungsstrecke der Großen Rodl in die Donau. Einreichplanung i. A. Verbund
- Mühlbauer M, Zauner G, Wurzer M, Sundermann J, Herrmann T (2018) LIFE Natur Projekt Fluss-erlebnis Isar. Renaturierung der Isar bei Landau. Genehmigungsplanung. Wasserwirtschaftsamt Landshut
- Mühlbauer M (2022) Der dynamische Umgehungsarm Altenwörth – Österreichs flächengrößte Fischwanderhilfe. Österreichs Fischerei 75 (10), 251–255
- Mühlbauer M, Lauber W, Derntl F, Ratschan C, Schmalfuß R, Zauner G (2022) Dynamische Dotation und Sedimentmanagement zur Gewährleistung funktioneller Fließgewässerhabitate in Fischwanderhilfen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00506-022-00904-2>
- Ratschan C, Mühlbauer M, Zauner G. (2012) Einfluss des schiffahrtsbedingten Wellenschlags auf Jungfische: Sog und Schwall, Drift und Habitatnutzung. Rekrutierung von Fischbeständen in der Donau. Österreichs Fischerei 65 (2/3), 50–74
- Stoffers T, Collas F P L, Buijse A D, Geerling G W, Jans L H, v. Kessel N, Verreth J A J, Nagelkerke L A J (2020) 30 years of large river restoration: How long do restored floodplain channels remain suitable for targeted rheophilic fishes in the lower river Rhine? *Science of the Total Environment* STOTEN-142931
- Wolter C, Arlinghaus R (2003) Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 13, 63–89
- Zauner G, Ratschan C, Mühlbauer M (2006 a) Flussbauliches Gesamtprojekt östlich von Wien. Integrative ökologische Planung. UVE Fischökologie und Fischerei. NVE.I. A. Donau Consult
- Zauner G, Mühlbauer M, Ratschan C (2006 b) Gewässer- und auenökologisches Restrukturierungspotential an der Oberösterreichischen Donau. Studie im Auftrag der OÖ Landesregierung, 150p

- Zauner G, Mühlbauer M, Ratschan C (2008) Gewässer- und Auenökologisches Restrukturierungspotential an der NÖ Donau. Studie im Auftrag von via donau. Wasserstraßengesellschaft mbH und Amt der NÖ Landesregierung (WA2)
- Zauner G, Hauer C (2008) KW Aschach / Geschieberückführung Stauwurzel. Wasserbauliche und gewässerökologische Projektierung. I.A. Verbund Austrian Hydro Power
- Zauner G, Mühlbauer M (2008) Ökologisch orientierter Rückbau – Marktau. Konzeption, Detailplanung, Ausführungsplanung & ökologische Bauaufsicht. I.A. Linz AG Hafen
- Zauner G, Mühlbauer M, Hermann T (2010) Gewässer- und Auenökologisches Restrukturierungspotential der Innstufen an der Grenzstrecke zwischen Österreich und Deutschland. Studie im Auftrag der ÖBK. 174p + 21 Pläne
- Zauner G, Jung M, Mühlbauer M, Ratschan C (2014) LIFE+ Flusslebensraum Mostviertel-Wachau – LIFE 07 NAT/A/000010. Fischökologisches Monitoring. I.A. Land NÖ, WA3 und Via Donau, 101p
- Zauner G, Jung M, Lauber W, Mühlbauer M, Ratschan C (2017) Dynamischer Umgehungsarm Donaukraftwerk Ottensheim-Wilhering – Durchgängigkeit und Lebensraum. Wasserwirtschaft 12, 45–51
- Zauner G, Lauber W, Jung M, Ratschan C, Schöfbenker M, Schmalfuß R (2020) Wie erreicht man das „Gute ökologische Potential“? – Fallbeispiel Innstauraum Egglfing-Obernberg. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00506-020-00672-x>
- Zauner G, Lauber W, Mühlbauer M (2022) Generelles Projekt Ökologische Sanierung der unteren Traun im Rahmen des Gewässerentwicklungs- und Risikomanagementkonzepte (GE-RM) der oberösterreichischen Donau und der Unteren Traun im Rahmen des LIFE IP Projekt IRIS Integrated River Solution Austria. Studie i.A. Land OÖ, Abteilung Wasserwirtschaft und viadonau
- Zauner G., Jung M., Mühlbauer M, Hammerschmied U (2022) LIFE+ Auenwildnis Wachau - LIFE13 NAT/AT/000301. Fischökologisches Prä- und Postmonitoring Phase 1. Bericht i. A. via donau – Österreichische Wasserstraßen-Gesellschaft mbH., 63p.
- Zauner G, Jung M, Ratschan C, Mühlbauer M (2023) Auswirkungen des schiffahrtsbedingten Wellenschlags auf das Jungfischaufkommen in der Donau. Vergleich von Jahren mit und ohne pandemiebedingten Verkehrsbeschränkungen. Studie i. A. OÖ. und NÖ. Landesfischereiverband. 65p.

Eingelangt: 2022 12 08

Anschriften:

Martin Mühlbauer, E-Mail: muehlbauer@ezb-fluss.at

Gerald Zauner, E-Mail: zauner@ezb-fluss.at
ezb – TB Zauner, Marktstraße 35, A-4090 Engelhartzell

