

WASSERWIRTSCHAFT

Technik — Forschung — Praxis

9

2025

Gewässer | Wanderwege, Fischschutz und
Fischpopulationen im Donaueinzugsgebiet





Die digitale
Unternehmenslizenz

NEU!
Direkt online
bestellen
und bis zu
60% Rabatt
sichern.

Fundiertes Fachwissen für Ihr Team!

Profitieren Sie und Ihre Mitarbeiter von dem geballten Fachwissen von WasserWirtschaft. Mit einer digitalen Unternehmenslizenz erhalten Sie vollen Zugriff auf die interaktiven E-Magazine und das umfangreiche Online-Archiv. Wählen Sie Ihr individuelles Zugangsmodell für Ihre Team- bzw. Unternehmensgröße.

- ✓ **Umfassend:** aktuelle Ausgaben plus Fachartikelarchiv seit 2004
- ✓ **Kostensparend:** exklusive Rabatte für Ihr Team
- ✓ **Individuell:** das passende Zugangsmodell für Ihre Bedürfnisse
- ✓ **Flexibel:** jederzeit und überall lesen
- ✓ **Interaktiv:** zusätzliches Spezialwissen durch verlinkte Inhalte
- ✓ **Rechtssicher:** erfüllt das Urheber- und Lizenzrecht



Wir beraten Sie gern:

Ramona Wendler

Tel. 0611 7878-126 | magazinlizenzen@springernature.com

WASSERWIRTSCHAFT

Von Fischen und Kraftwerken - Spannungsfeld Ökologie und Wasserkraft



© Fechner

Franziska Fechner, M. Sc.
Uniper Kraftwerke GmbH,
Landshut

Die Wasserkraft gilt als die älteste emissionsfreie und erneuerbare Energiequelle der Menschen; bereits seit Jahrtausenden wird sie in mechanischer und später in elektrischer Form genutzt. Auch heute noch ist sie für die regenerative Stromerzeugung von essenzieller Bedeutung. Durch ihre weitgehende Grundlastfähigkeit und große Flexibilität trägt sie zudem dazu bei, die naturgemäß schwankenden und zunehmend größer werdenden Strommengen aus Sonne und Wind zu stabilisieren. Aber auch die Beiträge zu Hochwasserschutz und Niedrigwassermanagement werden immer wichtiger. Durch die Lage der Kraftwerke in und an Flüssen befindet sich die Wasserkraft jedoch meist auch in ökologisch besonders sensiblen Bereichen, wie Naturschutz- oder Fauna-Flora-Habitat-Gebieten. Die Wasserkraft kann dabei nicht nur den

Wasserhaushalt, sondern auch den Lebensraum verschiedener Tier- und Pflanzenarten beeinflussen.

Im Spannungsfeld zwischen Ökologie und Wasserkraft stehen Fischpopulationen häufig im Vordergrund. Wasserkraftbetreiber unternehmen große Anstrengungen, um durch den Bau von Fischaufstiegsanlagen, Umgehungsgewässern und Strukturverbesserungen die Fischfauna zu stärken und die Ziele der Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen. Insbesondere für den Fischschutz und den Fischabstieg gibt es für große Wasserkraftanlagen zum aktuellen Zeitpunkt jedoch noch keinen allgemein anerkannten Stand der Technik oder gar a. R. d. T. - unsere Gesellschaft sieht sich hier großen Herausforderungen gegenüber.

Um die Erkenntnisse aktueller Forschungsprojekte vorzustellen und deren verschiedene Aspekte fachlich zu diskutieren, fand daher im Februar 2025 der vierte Workshop der Veranstaltungsreihe „Ökologie und Wasserkraft an großen Gewässern“ mit dem Themenschwerpunkt „Wanderwege, Fischschutz und Fischpopulationen im Donaeinzugsgebiet“ statt. Dabei wurde thematisch an den ersten Workshop aus dem Jahr 2019 angeknüpft, um die Themen aufzugreifen, bei denen damals der größte Forschungsbedarf gesehen wurde. Dazu gehören die Nutzung verschiedener Wanderrouen, die Turbinenmortalität an großen Anlagen sowie die Auswirkungen von Wasserkraftanlagen und Habitatmaßnahmen auf Fischpopulationen.

Die rund 120 Teilnehmenden setzten sich vor allem aus Behördenvertretern, Betreibern und Wissenschaftlern, aber

auch Verbänden und Ingenieurbüros zusammen. In drei unterschiedlichen Arbeitsgruppen wurden die vorgestellten Projekte und Forschungsergebnisse angeregt diskutiert. Neben dem wertvollen fachlichen Austausch sollten so strategische Empfehlungen und praktische Lösungsansätze gefunden werden. Vor allem sollten aber auch die drei Themenkomplexe - Wanderwege, Fischschutz und Fischpopulationen - aus den verschiedenen Blickwinkeln der unterschiedlichen Interessensgruppen betrachtet werden. Auf diese Weise konnten sowohl Konsens und Dissens als auch noch offene Punkte mit weiterem Forschungsbedarf aufgezeigt werden.

Es ist dabei wichtig, die Ansichten und Anliegen verschiedenster Interessensvertreter zu berücksichtigen, denn für die Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials sind verschiedenste und vielfältige Maßnahmen erforderlich. Diese sind so zu kombinieren, dass sich für den jeweils betrachteten Standort und unter Berücksichtigung seiner Nutzung die „best environmental option“ im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie ergibt. Der Zielzustand soll so nicht nur erreicht, sondern auch langfristig erhalten bleiben.

In diesem Themenheft erhalten Sie einen Überblick über die im Workshop vorgestellten Projekte sowie die verschiedenen thematisierten Herausforderungen.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre!

F. Fechner



Titelbild: Wasserkraftanlage Braunau/Simbach am Inn mit Umwegungsgewässer

© Verbund Innkraftwerke GmbH, J. Wiedl



24

© Heidergott



33

© Ratschan

Ausgabe 9 | 2025

3 Editorial | Von Fischen und Kraftwerken - Spannungsfeld Ökologie und Wasserkraft
Franziska Fechner

6 Aktuell

Titel

12 Gewässer | Wanderungen potamodromer Cypriniden in einer Kraftwerkskette

Die Wanderungen der Fischarten Aitel, Nase und Barbe wurden über ein Jahr mittels Radiotelemetrie an einer Kette von fünf mittelgroßen Laufkraftwerken untersucht. Als Aufstiegsweg kommen prinzipiell nur die Fischaufstiegsanlage (FAA) in Frage, als Abstiegswege jene durch die Turbinen, über die Wehre oder die FAA. Die besenderten Fische führten im Mittel 0,48 flussauf gerichtete und 0,63 flussab gerichtete Kraftwerkspassagen pro Jahr durch, davon 0,28 Turbinenpassagen. Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Quantifizierung turbinenbedingter Einflüsse auf Populationen potamodromer Flussfischarten.

Clemens Ratschan, Maximilian Zauner, Gerald Zauner, Andreas Zitek, Walter Reckendorfer, Martin Schletterer und Josef Schneider

Forschung

24 Gewässer | Der Sensorfisch - eine innovative Methode zur Abschätzung des Schädigungsrisikos von Fischen an Wasserkraftanlagen

Der Sensorfisch ist ein innovatives Messinstrument, das die physikalischen Belastungen für Fische bei der Passage von Wasserkraftanlagen unter realen Betriebsbedingungen aufzeichnen kann. Kollisionen, Druckveränderungen, Scherkräfte und Turbulenzen, die in Turbinen oder alternativen Abstiegskorridoren auftreten, können während des laufenden Betriebs gemessen und quantifiziert werden. Aus den Sensorfisch-Daten lassen sich weniger schädliche Turbinentypen, Betriebsmodi und alternative Abstiegskorridore für flussabwärts wandernde Fische identifizieren, was zu einer Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen beitragen kann.

Josef Knott, Joachim Pander und Jürgen Geist

28 Gewässer | Barotrauma von Larven und Jungfischen bei der Turbinenpassage

Andreas Zitek, Wolfgang Gessl, Peter Mehlmauer, Clemens Ratschan, Maximilian Zauner und Josef Schneider

33 Gewässer | In-situ-Erhebung der Schädigung von Fischen beim Durchgang großer Kaplan-Turbinen

Clemens Ratschan, Cory Hoffman, Maximilian Zauner, Gerald Zauner, Andreas Zitek und Josef Schneider

38 Gewässer | Fischschädigung durch Turbinen: Modellierung auf Populationsniveau

Andreas Zitek und Clemens Ratschan

50 Gewässer | Bewertung der Wirksamkeit von habitatverbessernden Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen im Inn

Christoffer Nagel, Joachim Pander und Jürgen Geist

54 Gewässer | Fisch-Populationsmodelle zur Abschätzung der Wirkung von Renaturierungsmaßnahmen am Unteren Inn

David Farò und Christian Wolter

Praxis

- 18 Gewässer** | Ergebnisse aus der Illerstrategie zu Fischwanderung und Habitatgestaltung - Erkenntnisse für die zukünftigen Wege zum guten Zustand oder Potenzial
Die mittlere Iller zwischen Altusried und Lautrach ist durch intensive anthropogene Nutzung geprägt. Eine Kombination verschiedener Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerökologie wie naturnahe Fischaufstiegsanlagen und Kieszugaben, zeigten positive Effekte. Hiervon profitierten insbesondere Fischbestände und Makrozoobenthos. Der alleinige Bau von Fischaufstiegsanlagen stellte sich in stark veränderten Flussstrecken nicht als ausreichend heraus, um positive Auswirkungen auf die Biozönose zu zeigen. Ein ganzheitlicher Ansatz, der Maßnahmen im Hauptfluss und in Nebengewässern verbindet, ist nötig, um das ökologische Potenzial nachhaltig zu verbessern.
Tobias Eppe, Oliver Born, Olav König, Hendrik Engelsing, Karl-Friedrich Wetzel und Sebastian Blaß
- 44 Gewässer** | Ergebnisse zur Illerstrategie 2020: Fischschäden an Einlaufrechen - Auswirkungen auf die Fischpopulation
Dagobert Smija
- 60 Gewässer** | Wanderwege und Abstieg - Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus dem Workshop 2025 aus Sicht eines Wasserkraftbetreibers
Georg Loy
- 66 Gewässer** | Direkte Effekte großer Wasserkraftanlagen auf potamodrome Fischpopulationen - ein Überblick über aktuelle Untersuchungsergebnisse und erfolgsversprechende Minderungsmaßnahmen
Walter Reckendorfer und Franziska Fechner
- 70 Gewässer** | Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation - Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus dem Workshop 2025 aus Sicht eines Wasserkraftbetreibers
Georg Loy
- 76 Wasserwirtschaft** | Lösungsansätze zur Reduzierung von Verockerung in Deckwerksfiltern
Lukas Tophoff
- 78 Wasserkraft** | Wasserkraft neu denken - 11. Bayerisches WasserkraftForum setzt starkes Signal für die Energiezukunft
Constanze von Hassel
- 79 Personen und Firmen**
- 82 Produkte und Anlagen**
- 84 Tagungen und Messen**

Peer review

Die Fachzeitschrift WasserWirtschaft ist in zahlreichen Abstract- und Zitatendatenbanken für wissenschaftliche Veröffentlichungen akkreditiert. Eine Übersicht finden Sie im Impressum. Dazu gehören Scopus, Science Citation Index Expanded (SCIE) und International Bibliography of Periodical Literature (IBZ).

Alle Fachartikel seit 2004 sind im Volltext recherchierbar unter www.springerprofessional.de/wawi.



© Verbund, Weidl

- Service**
- 11 Termine**
- 86 Springer Professional**
- 87 Markt**
- 90 Vorschau | Impressum**

Im Abo Mehrwert:

- ✓ **Umfassende & unabhängige Fachinformation**
- ✓ **Jetzt neu und kostenlos zusätzlich zur gedruckten Ausgabe – Digital und interaktiv: Das WasserWirtschaft E-Magazin!**
Lesen Sie auf allen Endgeräten ohne App-Download und durchforsten Sie mit der Schlagwortsuche in Sekundenschnelle die gesamte Ausgabe. Speichern und downloaden Sie klassisch PDFs und springen mit einem Klick im interaktiven Inhaltsverzeichnis sofort auf den gewünschten Heftbeitrag. Verlinkte Quellenangaben der Fachartikel liefern zusätzliches Spezialwissen rund um die Themen im Heft. Der interaktive Termin kalender bietet vollumfängliche Informationen zum Event durch Verknüpfung mit Seminar-, Kongress- und Messeseiten. Und das Beste: Heftabonnenten von WasserWirtschaft erhalten die digitale Ausgabe zusätzlich und kostenlos.
- ✓ **Alert:** Lassen Sie sich mit dem neuen E-Mail-Service erinnern, wenn eine neue digitale Ausgabe erschienen ist.
- ✓ **Satte Rabatte:** Im Jahresabo sparen Privatpersonen jährlich mehr als 400,- Euro im Vergleich zum Einzelheftkauf und Unternehmen sparen gegenüber dem Einzelheftkauf knapp 17 Prozent!
- ✓ **Onlineutzung von mehr als 180 Ausgaben inklusive:**
Freier Zugriff auf das Onlinearchiv mit mehr als 180 Ausgaben zum kostenlosen Lesen, Recherchieren, Downloaden inkl. pdf-Generierung.
- ✓ **Druckfrische und pünktliche Lieferung:** Nach Hause oder ins Unternehmen.
- ✓ **Viele Prämienschancen für Abonnenten:** Ihre Empfehlung ist uns viel wert. Denn wer kann die WasserWirtschaft besser empfehlen als ein überzeugter Leser wie Sie? Werben Sie einen neuen Abonnenten für uns und Sie erhalten ein ganz besonderes Dankeschön. Sie haben die Möglichkeit, aus hunderten von Prämien auszuwählen. Schauen Sie hier: www.meinfachwissen.de/umwelt
- ✓ **Rundum-Betreuung:** 24-Stunden-Service im Internet und täglich erreichbare Hotline +49 (0) 6221 / 345-4303 (jeweils 8 – 18 Uhr).
- ✓ **Sie lesen die WasserWirtschaft noch nicht regelmäßig im Abonnement:** Dann bestellen Sie noch heute Ihr persönliches Vorteilsabo beim WasserWirtschaft-Leserservice: Tel. +49 (0) 6221 / 345-4303 oder online unter: www.mein-fachwissen.de/wawi
Wenn wir Sie noch nicht überzeugen konnten, testen Sie gerne kostenlos 2 Heftausgaben: www.mein-fachwissen.de/wawi/probe

Wasserkraft | Forderung nach einer Verdopplung der weltweiten Kapazität bis 2050

Die Internationale Wasserkraft-Vereinigung (International Hydropower Association, IHA) hat ihren aktuellen „World Hydropower Outlook 2024“ veröffentlicht. Der Bericht macht nach IHA-Angaben deutlich, dass sich die installierte Wasserkraft-Kapazität weltweit bis 2050 verdoppeln müsse, um die Klimaschutzziele zu erreichen. Nur so könne die internationale Staatengemeinschaft ihren Energiebedarf ohne weitere Emissionen aus fossilen Brennstoffen decken und zugleich die auf der UN-Klimakonferenz Cop 28 vereinbarte Verdreifachung der erneuerbaren Energien bis 2030 ermöglichen.

Nach Angaben der IHA, die ihren Sitz in London hat und internationale Akteure der Wasserkraftbranche vertritt, liegt der Ausbaupfad aktuell deutlich unter dem erforderlichen Niveau. In den vergangenen fünf Jahren sei die weltweit installierte Wasserkraft-Leistung lediglich um 115 000 MW gewachsen – das entspricht laut IHA nur der Hälfte des Tempos, das nötig wäre, um die Ziele der Pariser Klimakonferenz zu erreichen.

Wasserkraft als Backup für Trinkwasser und volatile Erzeuger

Wasserkraft sei dabei weit mehr als nur eine Energiequelle, heißt es in dem Bericht. Sie leiste wichtige Systemdienste –

wie Flexibilität und Langzeitspeicherung – und sei damit ein notwendiger Ausgleich für die schwankende Einspeisung aus Wind- und Solaranlagen. Mehr als 90 % der weltweit gespeicherten Energie stammten aus Pumpspeicherkraftwerken. Zugleich räumt der Bericht mit drei weitverbreiteten Mythen über die Rolle der Wasserkraft aus Sicht der IHA auf:

- Erstens werde sie oft als unzuverlässig eingestuft, da Dürreereignisse zunehmen. Dabei nähmen auch Überflutungen zu – mit der Folge, dass die Energieerzeugung zwar regional schwanken, global aber nicht zurückgehen werde.
- Zweitens gelte Wasserkraft als veraltete Technologie, obwohl sie im Zusammenspiel mit neuen Anwendungen, wie digitalem Monitoring, intelligenter Netztechnik und speicherfähigen Lösungen, weiterhin eine zentrale Rolle spielen könne.
- Drittens werde häufig angenommen, dass das globale Ausbaupotenzial weitgehend ausgeschöpft sei. Der Bericht verweist dagegen auf ein nahezu unbegrenztes Potenzial von Pumpspeichern abseits der großen Flusssysteme.

Der größte Hemmschuh für die Entwicklung sei derzeit das fehlende politische Engagement. Laut IHA braucht es vereinfach-

te Genehmigungsverfahren, neue Finanzierungsmechanismen und verlässliche Zielvorgaben, um auch private Investitionen zu mobilisieren. Bisher wurde der Sektor stark von staatlichen oder multilateralen Institutionen getragen, deren Spielräume seien jedoch begrenzt. Gleichzeitig sei angesichts hoher Anfangsinvestitionen in große Infrastrukturprojekte langfristige Planungssicherheit notwendig.

Ein Regelwerk für soziale und ökologische Kriterien

Neben der technischen und finanziellen Seite thematisiert der Bericht auch die sozialen und ökologischen Aspekte neuer Projekte. Für neue Standorte seien transparente Planungsprozesse und Nachhaltigkeitsstandards zentral, um Akzeptanz zu schaffen und Zugang zu Finanzmitteln zu erhalten. Die IHA verweist auf den international anerkannten „Hydropower Sustainability Standard“, der bewährte Praktiken für Planung, Bau und Betrieb definiert.

Die IHA kündigt an, künftig verstärkt auf politische Kommunikation, Wissensaustausch und internationale Zusammenarbeit zu setzen. Ziel sei es, die Rolle der nachhaltigen Wasserkraft als Rückgrat der globalen Energiewende stärker in den Fokus zu rücken. **SH**



Der Katse-Staudamm in Lesotho: Die IHA sieht etwa in vielen Ländern Afrikas ein großes Potenzial zum Ausbau der Wasserkraft

Wasserwirtschaft | Seit 75 Jahren schützen Europäer den Rhein gemeinsam

Am 11. Juli 1950 – fünf Jahre nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs – gründeten die an den Rhein angrenzenden Länder eine Kommission, um die Verschmutzung des Flusses gemeinsam anzupacken. Es war die Geburtsstunde der IKSR, der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins.

Dank dieser grenzübergreifenden Zusammenarbeit konnte sich der Rhein erholen. Die wichtigsten Erfolge:

- Die Wasserqualität hat sich erheblich verbessert.
- Viele rheintypische Tier- und Pflanzenarten wie der Atlantische Lachs und das Knoten-Laichkraut sind zurückgekehrt und zahlreiche Hindernisse für die ökologischen Durchgängigkeit wurden beseitigt.
- Das Hochwasserrisiko wurde durch die Wiederherstellung natürlicher Überschwemmungsgebiete und gezielt einsetzbare Hochwasserrückhalteräume verringert.

Gleichzeitig stellt der Klimawandel den Rhein und seine Zuflüsse vor neue Herausforderungen. Die durchgeführten Studien prognostizieren große Veränderungen im Abflussregime des Flusses, der immer mehr von Niederschlägen ab-



Seit 75 Jahren arbeiten mehrere europäische Länder zusammen, um die vielfältige Nutzung und den Schutz des Rheins in Einklang zu bringen

hängig ist, während das Schmelzwasser der Alpengletscher an Bedeutung abnimmt.

Es drohen zunehmend trockene Sommer, geringere Wasserverfügbarkeit, steigende Wassertemperaturen und regionale Sturzfluten. Der Klimawandel bedroht auch die Biodiversität. Dies führt zu Veränderungen der Lebensräume und begünstigt invasive gebietsfremde Arten auf Kosten lokaler Arten, die empfindlicher auf Veränderungen ihrer Lebensbedingungen reagieren.

Darüber hinaus bleibt die Verbesserung der Wasserqualität als historisches Ziel der IKSR aktuell. Trotz vieler Fortschritte bei Abwasserbehandlung und Chemikalienabfällen werden auch heute noch neue Stoffe identifiziert, die für die Wasserqualität problematisch sind. Dazu gehören etwa Mikroverunreinigungen aus Pestiziden, Medikamentenrückständen und industriellen Anwendungen. Bis Ende 2025 soll der erste Zwischenbericht über die Strategie zur Verringerung von Mikroverunreinigungen veröffentlicht werden. **BAI**

Boden | Ton ist das Gestein des Jahres 2025

Ton ist aus dem täglichen Leben kaum wegzudenken. Aus ihm werden Gefäße gebrannt, er dichtet Deiche oder Regenrückhaltebecken ab, adsorbiert Schadstoffe oder macht Kunststoffe UV-beständig. Dass Ton zu den ältesten und wichtigsten Roh- und Werkstoffen der Menschheit gehört, liegt an den besonderen Eigenschaften des Materials.

Ton ist quellfähig, kann also Wasser aufnehmen und sein Volumen vergrößern. Bei ausreichendem Wassergehalt kann man ihn sogar plastisch verformen. Getrocknet ist er haltbar und lässt sich vielseitig nutzen. Lehmziegel etwa sind auch heute noch ein wichtiger Baustoff in vielen Teilen der Welt.

Trotz seiner Fähigkeiten wird die Bedeutung dieses Gesteins oft unterschätzt oder kaum wahrgenommen. Auch deshalb hat der Berufsverband Deutscher

Geowissenschaftler (BDG) in diesem Jahr den Ton zum Gestein des Jahres ernannt. Im Rahmen von Veranstaltungen und Publikationen informiert der BDG ein Jahr lang die Öffentlichkeit über das ausgewählte Gestein, z. B. über seine Geologie, seine Funktion im Naturraum, seine Verwendung sowie über die Gewinnung.

Ton gehört zu den wenig verfestigten Sedimentgesteinen und besteht hauptsächlich aus Tonmineralen, weiterhin aus geringeren Mengen an Quarz, Glimmermineralen, Feldspat und seltenen Karbonaten. Es ist ein Naturprodukt, das in Stillwasserbereichen der Meere oder auf dem Kontinent abgelagert wird oder auch durch Verwitterung entsteht. **BAI**



Ton: ein vielseitig genutztes Gestein mit erstaunlichen Fähigkeiten



Weitere Informationen unter:
www.geoberuf.de

Wasserkraft | Norwegens Schlüsselposition für Europas Energieversorgung



Europaweit einzigartig: Rund 90 % des norwegischen Stroms stammen aus Wasserkraft

Im Verbundprojekt HydroConnect hat das Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE untersucht, ob und wie die gut ausgebaute norwegische Wasserkraft zum Klimaschutz in Europa beitragen kann.

Norwegen ist über leistungsstarke Unterseekabel mit dem kontinentaleuropäischen Stromnetz verbunden. Es bestehen direkte Verbindungen zu den Niederlanden, Dänemark, Deutschland und Großbritannien. Über diese Leitungen kann Norwegen mit seiner Wasserkraft helfen, die Schwankungen von Wind- und Solarenergie in anderen Ländern auszugleichen.

Ein besonderer Fokus des IEE-Projekts lag auf der mittel- und langfristigen Ausgestaltung des europäischen Energiesystems, den Treibhausgasemissionen in Europa, den Strompreisen in Norwegen und Europa sowie den Umweltauswirkungen auf norwegische Stauseen und Flusssysteme. Zentrale Fragen waren:

- Wie kann norwegische Wasserkraft zur Dekarbonisierung des europäischen Energiesystems beitragen?
- Welche Folgen hat die Teilnahme an den europäischen Märkten für das norwegische Stromsystem?
- Welche Auswirkungen hat die Teilnahme an den europäischen Märkten auf den Betrieb und die Erlöse von Wasserkraftwerken?

- Welche Auswirkungen hat der Betrieb von Wasserkraftwerken auf die Umweltbedingungen in den norwegischen Stauseen?

Die Analysen zeigen, dass der Ausbau der norwegischen Wasserkraft – zusammen mit zusätzlichen Stromverbindungen zu anderen Ländern – deutliche Vorteile für das europäische Energiesystem bringt. Die Gesamtkosten sinken, und es kommt zu einer stärkeren Angleichung der Strompreise zwischen Norwegen, Kontinentaleuropa und Großbritannien. Unterschiede im Preisniveau und in der -volatilität werden geringer. In Norwegen steigen sie leicht an, während sie in den Nachbarländern deutlich zurückgehen.

Wasserkraft wird also sehr wahrscheinlich auch in Zukunft für ein klimaneutrales Energiesystem in Europa gebraucht. Gleichzeitig bleibt offen, wie sich die Vorteile eines solchen Ausbaus verteilen – wer am stärksten profitiert, wer mögliche Lasten trägt und wie soziale, ökologische und regionale Auswirkungen berücksichtigt werden sollten.

BAI

Gewässer | Hat die Elbe in Sachsen als Wasserstraße ausgedient?

Die Elbe in Sachsen ist als Wasserstraße faktisch nicht mehr nutzbar, sagt der Umweltverbund Bund. Grund dafür sei ein dauerhaftes Niedrigwasser, das seit Ende

Februar 2025 herrsche. Laut Bund wurden zwischen der deutsch-tschechischen Grenze und Magdeburg dieses Jahr an 122 Tagen die für Gütertransporte notwendige Tiefe von 1,4 m unterschritten, an über 60 Tagen wurde weniger als 1 m gemessen

„Die klimatischen Bedingungen haben sich grundlegend verändert. Niedrigwasserperioden nehmen mit der Klimaerwärmung an Häufigkeit und Ausmaß zu. Die eingetiefte Elbe beschleunigt die Wasserableitung – und verschärft damit die Dürre“, sagte Prof. Felix Ekardt, Vorsitzender des Bund Sachsen, in einer Pressemitteilung.

Und das Jahr 2025 soll kein Einzelfall sein. Die offiziell angestrebte Fahrrinntiefe von 1,4 m werde mittlerweile in jedem Jahr in drei bis fünf Monaten nicht er-

reicht – mehr als doppelt so häufig wie in den Jahren vor 2014. Langanhaltendes Niedrigwasser könne mittlerweile zu jeder Jahreszeit auftreten, ein verlässlich planbarer Gütertransport per Schiff sei daher nicht möglich.

Der Leiter für Vertrieb und Logistik der Sächsischen Binnenhäfen Oberelbe, Frank Thiele, sieht das anders. Für ihn bleibe die Schifffahrt ein wichtiges Verkehrsmittel mit Hinblick auf die Verkehrswende. „Wenn Wasser da ist, kommen Schiffe zu uns beziehungsweise fahren auch Schiffe mit wichtiger Exportware in die Nordseehäfen“, sagte Thiele dem Mitteldeutschen Rundfunk (MDR).

Die Schifffahrt zeige gerade im Bereich Projekt- und Schwerlastladung, dass es sowohl im Import als auch Export enorme Güterströme gebe. Diese würden Straßen und Brücken allein durch die Tonnagen viel mehr belasten.

BAI



Führt die Elbe in Sachsen zu wenig Wasser für einen verlässlichen Gütertransport per Schiff?

Wasserwirtschaft | Branchenverbände wollen die berufliche Bildung verbessern

Verschiedene wasser- und energiewirtschaftliche Verbände wie BDEW, DVGW oder DWA haben eine neue Vereinbarung unterzeichnet, um die berufliche Qualifizierung in der Branche gemeinsam zu stärken. Ziel ist es, die Zusammenarbeit auszubauen, Kompetenzen zu bündeln und die Qualität der beruflichen Bildung weiterzuentwickeln.

Der Gremienverbund zur beruflichen Qualifizierung in der Energie- und Wasserwirtschaft baut auf bisherigen Kooperationen auf und erweitert diese um neue Partner und Themenfelder.

Er verfolgt das Ziel, Qualifizierungswege branchenübergreifend nutzbar zu machen, Abschlüsse aufzuwerten und Sichtbarkeit zu schaffen.

Die Partner wollen gemeinsam Empfehlungen zur Qualifizierung entwickeln, sich gegenseitig bei Kommunikation und Positionierung unterstützen, Netzwerke ausbauen und relevante Daten zusammen erheben und austauschen.

BAI

Boden | Positive Effekte der Bodenentsiegelung

Die Versiegelung von Böden bringt einige unerwünschte Nebenwirkungen mit sich: der natürliche Wasserhaushalt verändert sich, Abflüsse verstärken sich, das Mikroklima wird wärmer und trockener und Lebensräume gehen verloren. Versiegelte Böden fallen somit als Puffer gegen Klimafolgen wie Hitze, Überflutungen oder Trockenheit aus.

Doch Böden können ihre natürlichen Funktionen zurückerlangen, wenn sie wieder entsiegelt werden. Deshalb widmet sich der 52. Geobericht des niedersächsischen Landesamtes für Bergbau, Energie und Geologie der Entsiegelung von Böden als eine Maßnahme zur Klimaanpassung. Der erste Teil des Berichts

erläutert fachliche Grundlagen zu den Themen Versiegelung und Entsiegelung. Dabei werden u. a. die Funktionen und Leistungen von Böden, die vielfältigen Auswirkungen der Bodenversiegelung sowie die positiven Effekte einer Bodenentsiegelung dargestellt. Anschließend werden relevante rechtliche Grundlagen vorgestellt, die zur Begründung und Umsetzung von Entsiegelungsmaßnahmen genutzt werden können.

Im zweiten Teil werden Empfehlungen zur Durchführung von Entsiegelungsmaßnahmen gegeben, von der Konzeption über die Planung bis hin zur praktischen Umsetzung. Dabei liegt der Fokus insbesondere auf dem schonenden Um-

gang mit dem Boden, der maßgeblich über den Erfolg oder Misserfolg einer Entsiegelungsmaßnahme entscheidet. Häufig gestellte Fragen im Zusammenhang mit Entsiegelungsmaßnahmen bilden den Abschluss des Geoberichts.

Zukünftig wird der Bericht ergänzt durch einen Teil B, der u. a. Möglichkeiten zur Erfassung und Bewertung der Flächenversiegelung in Kommunen, die zu erwartenden Effekte von Entsiegelungsmaßnahmen sowie Praxisbeispiele aus Niedersachsen behandeln wird.

BAI

Download des Berichts unter:
https://tdt.https://nibis.lbeg.de/DOL/dateien/GB_52_2025_Text_6_web.pdf



Wasserbau | Charta für Wasserbauprojekte unterzeichnet

Im Frühjahr haben der Verband Beratender Ingenieure (VBI), die Bundesingenieurkammer (BInGK) und die Bundesvereinigung der Prüfm Ingenieure für Bautechnik (BVPI) mit Vertretern der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes eine Charta zur Zusammenarbeit bei Planung und Bauüberwachung von Wasserstraßenprojekten unterzeichnet.

Die Charta verfolgt das Ziel, die Zusammenarbeit zwischen der öffentlichen Hand und den Planungsbüros zu intensivieren. Sie definiert Verhaltensregeln, die Vertrauen, Transparenz und eine faire Vergabe von Planungs- und Überwachungsleistungen fördern.

Zudem wollen die Partner die digitale Transformation in den Bereichen Pla-

nung, Prüfung und Genehmigung fördern. Die Dokumente zur Charta stehen auf der Website des WSV zum Download bereit.

BAI

Mehr zur Charta unter:
www.wsv.de/charta-planung



**Anzeigenschluss für die WasserWirtschaft 10/2025
 ist der 11. September 2025.
 (Erscheinungstermin: 7. Oktober 2025)**

Forschung | Kunstlicht lässt Blaualgen in Seen wachsen

Straßenlaternen, Leuchtreklame, Flutlichter – in modernen Städten ist es selten richtig dunkel. Das künstliche Licht leuchtet so intensiv, dass es selbst aus dem Weltraum noch sichtbar ist. Es streut in die Atmosphäre und hellt den Nachthimmel auf. Dieses Phänomen wird auch als künstliches Himmelsleuchten oder Skyglow bezeichnet.

Auch wenn es schön aussieht, hat das Lichtspektakel eine dunkle Seite: Es kann nämlich die biologische Vielfalt über große Entfernungen hinweg beeinträchtigen, etwa indem es den Tag-Nacht-Rhythmus von Lebewesen in Seen stört. In einer Studie konnten IGB-Forscher nun zeigen, dass das künstliche Licht die Vermehrung von Cyanobakterien in der Nacht fördert. Diese Mikroorganismen, auch als Blaualgen bekannt, können giftige Stoffe bilden.

Das IGB-Team nutzte für das Experiment das Seelabor im Stechlinsee: 24 Versuchszylinder, die jeweils ein Wasservolumen von knapp 1 300 m³ umschließen und vom Rest des Sees abtrennen. Die im Wasser schwebenden Organismen waren zu Beginn des Experiments in allen Versuchszylindern annähernd gleich verteilt. Zehn



Der Versuch zum Skyglow im IGB Seelabor

der 15 Versuchszylinder wurden nachts mit einem speziell entwickelten Beleuchtungssystem schwach erhellt; fünf Kontrollbecken blieben unbeleuchtet.

Das Ergebnis nach einem Monat: Die Häufigkeit von Cyanobakterien und anderen Bakterien, die Lichtenergie nutzen, war unter den beleuchteten Bedingungen

im Vergleich zu den Kontrollen durchschnittlich um das 32-fache erhöht – ein eindeutiges Ergebnis, auch wenn die Zahlen je nach Versuchsbecken schwankten. Bei Algenblüten, die bisher nicht erklärt werden konnten, sollte deshalb Skyglow als mögliche Ursache mit in Betracht gezogen werden. **BAI**

Umwelt | Auch Gewässer werden von der Energiewende profitieren



Die Energiewirtschaft beeinflusst den Zustand von Gewässern

Das Umweltbundesamt (UBA) hat in einer Studie untersucht, wie sich die Energiewende auf den Wasserhaushalt auswirken wird. Dazu hat das UBA verschiedene Szenarien entworfen. Das Ergebnis: Der Ausbau der erneuerbaren Energien und eine verringerte Anzahl an thermischen Kraftwerken wird voraussichtlich dazu führen, dass sich der Zustand der Gewässer mit Hinblick auf die Wassermenge und die Temperatur künftig verbessern wird. Eine Verschlechterung ist nur dann zu erwarten, wenn großflächig Energiepflanzen bewässert werden müssen oder die tiefe Geothermie mit wasserintensiver Kraftwerks- und Kühltechnologie ausgebaut wird. **BAI**



Die Studie zum Download:
<https://tinyurl.com/yvjtpbbx>

Veranstaltungen September bis Oktober 2025

Zeit und Ort	Veranstalter und Thema der Veranstaltung	Information / Anmeldung
8. bis 12. September 2025 Frankfurt am Main	DGL: Jahrestagung 2025	www.dgl-ev.de/veranstaltungen/
8. bis 12. September 2025 Sevilla, Spanien	European Confederation of Soil Science Societies (ECSSS): Eurosoil 2025. Tagung der europäischen Bodenkundler	www.eurosoil2025.eu
9. bis 12. September 2025 Krakau, Polen	ICOLD: XXI Technical Dam Control International Conference	https://tkz.is.pw.edu.pl/en/
10. und 11. September 2025 Dresden	DFGZ: Grundlagen der Hydrogeologie für Ingenieure	www.dgfh.de/grundlagen-der-hydrogeologie-fuer-ingenieure-1
10. bis 13. September 2025 Jakarta, Indonesien	PT Pamerindo Indonesia: Fachmesse Water Indonesia 2025	https://waterindonesia.merebo.com/
12. September 2025 Wädenswil, Schweiz	ZHAW: Start CAS Gewässerrenaturierung	www.zhaw.ch
13. bis 18. September 2025 Sevilla, Spanien	Jahrestagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (DGB) 2025. Gesunde Böden und Klimaschutz	www.dbg2025.de
16. und 17. September 2025 Karlsruhe	BAW: Flussregelung im 21. Jahrhundert – viele Anforderungen! Gute Lösungen?	https://tinyurl.com/s7pja4te
17. und 18. September 2025 Grenoble, Frankreich	Hydrotechnical Society of France (SHF): HydroES 2025 Symposium	https://tinyurl.com/5cytsrds
17. und 18. September 2025 Bruneck, Italien	IBI: Energietagung	www.ibi-kompetenz.eu/veranstaltungen/
18. September 2025 Hamburg	BAW: Erfahrungen aus aktuellen Schiffsneubauten und schiffbautechnischen Entwicklungen	https://tinyurl.com/v6phf6a2
21. bis 25. September 2025 Buffalo, USA	WCC: World Canals Conference 2025	https://wcc2025buffalo.com
23. bis 26. September 2025 Greifswald	Greifswald Mire Centre/Thünen: 4 th International Conference on the Utilisation of Wetland Plants	https://rrr2025.com/
24. bis 26. September 2025 Koblenz	Tagung der Uni Koblenz, Hochschule Koblenz und BfG: Extremereignisse im Zusammenhang mit dem Klimawandel – Qualitative und quantitative Auswirkungen auf den Wasserkreislauf	https://uni-ko.de/tagung-wasser
24. und 25. September 2025 Bonn	DVGW: Kongress 2025	www.dvgw-kongress.de/2025/
24. und 25. September 2025 Dresden	DFGZ: Regenwasserbewirtschaftung und Grundwasseranreicherung	https://tinyurl.com/3aj9bwjf
24. und 25. September 2025 Landquart, Schweiz	Conexio pse: 28. Anwenderforum Kleinwasserkraft	www.kleinwasserkraft-anwenderforum.de
25. September 2025 Stuttgart	Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg: Klimafit-für-die-Zukunft-Kongress	https://tinyurl.com/y8t5y3d3
28. September bis 1. Oktober 2025 Saskatoon, Kanada	Canadian Dam Association (CDA): 2025 Conference and Trade Show	www.cda.ca
7. und 8. Oktober 2025 Lindau	DWA: Landesverbandstagung Bayern 2025	www.dwa-bayern.de/de/tagungen.html
14. bis 17. Oktober 2025 Pittsburgh, USA	National Hydropower Association (NHA): Clean Currents 2025	www.cleancurrents.org
15. und 16. Oktober 2025 Berlin	DWA, DVGW, u. v. m.: InfraSPREE Fachkongress für Wasserwirtschaft und technische Infrastruktur 2025	www.infraspre-kongress.de/kongress-2025
16. und 17. Oktober 2025 Husum	Messe Husum & Congress GmbH: Fachkonferenz für Küsten- und Hochwasserschutz	https://coast-prevention.de/
21. und 22. Oktober 2025 Pforzheim	DWA: Landesverbandstagung Baden-Württemberg 2025	https://tinyurl.com/4k2h6bta
22. und 23. Oktober 2025 Nürnberg	Nürnberg Messe GmbH: Kommunale 2025	www.kommunale.de/de-DE
22. bis 24. Oktober 2025 Thessaloniki, Griechenland	Hydropower & Dams: Hydro 2025	www.hydropower-dams.com
26. bis 29. Oktober 2025 München	Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU): Internationale Klimaresilienzkonferenz	https://tinyurl.com/42ppn2px

Weitere Veranstaltungshinweise finden Sie unter www.springerprofessional.de/link/834296



©Verbund Infrastwerke GmbH/ J. Wiedl

Wanderungen potamodromer Cypriniden in einer Kraftwerkskette

Die Wanderungen der Fischarten Aitel, Nase und Barbe wurden über ein Jahr mittels Radiotelemetrie an einer Kette von fünf mittelgroßen Laufkraftwerken untersucht. Als Aufstiegswege kommen prinzipiell nur die Fischaufstiegsanlagen (FAA) in Frage, als Abstiegswegen jene durch die Turbinen, über die Wehre oder die FAA. Die besenderten Fische führten im Mittel 0,48 flussauf gerichtete und 0,63 flussab gerichtete Kraftwerkspassagen pro Jahr durch, davon 0,28 Turbinenpassagen. Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Quantifizierung turbinenbedingter Einflüsse auf Populationen potamodromer Flussfischarten.

Clemens Ratschan, Maximilian Zauner, Gerald Zauner, Andreas Zitek, Walter Reckendorfer, Martin Schletterer und Josef Schneider

1 Einleitung

Fische führen zur Maximierung von Überleben und Reproduktion Wanderungen durch. In energiewirtschaftlich genutzten Gewässern können dabei Kraftwerke (KW) in unterschiedlichem Ausmaß als Barriere wirken oder flussab und über Fischaufstiegsanlage (FAA) auch flussauf passiert werden. Zu Schädigungsraten von Fischen bei der Passage von Turbinen gibt es bereits eine Vielzahl von Studien [7]. Im Fall von anadromen (z. B. Lachsarten) oder katadromen Fischarten (z. B. Aal) können

auf Basis solcher Daten bereits Aussagen zu Auswirkungen auf Populationen abgeleitet werden, weil die Zahl von großräumigen Wanderungen durch den Lebenszyklus dieser Arten vorgegeben ist.

Der Gilde potamodromer Arten, welcher die überwiegende Zahl der heimischen Fische angehören, werden jene zugeordnet, die sich unabhängig von der Länge der Wanderwege auf das Süßwasser beschränken. Bei diesen stellt sich die mögliche Passage von KW deutlich komplexer dar [2], [3], weil sie in unterschiedlichen Stadien und zu unterschiedlichen Jahreszeiten Wande-

Kompakt

- Kraftwerkspassagen heimischer potamodromer Fischarten wurden mittels Radiotelemetrie untersucht.
- Im Mittel führten sie 0,63 flussab und 0,48 flussauf gerichtete Passagen pro Jahr durch, davon 0,28 durch Turbinen.
- Die Ergebnisse dienen als Grundlage zur Beurteilung der turbinenbedingten Mortalität.

rungen sowohl flussauf als auch flussab durchführen. Das Ausmaß solcher Wanderungen ist bis heute nur eingeschränkt bekannt, was für viele heimische Flussfischarten insbesondere im Fall von größeren Flüssen mit Kraftwerksanlagen der Fall ist. Solche Daten stellen aber eine notwendige Voraussetzung dar, um anhand der Schädigungsraten Auswirkungen auf Populationen beurteilen zu können. In Form der aktiven Telemetrie stehen Methoden zur Verfügung, welche die Untersuchung von Fischwanderungen über eine längere Zeitdauer auch in sehr abflussstarken Wanderkorridoren wie an Kraftwerksketten an mittelgroßen Flüssen ermöglichen.

Das übergeordnete Ziel des Projekts „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich - Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den Fischschutz und Fischabstieg“ war es, den Einfluss von durch Turbinenpassage verursachten Schäden auf Fischpopulationen zu erfassen. Es waren dazu Daten zum Ausmaß flussab gerichteter Wanderungen über den Zeitraum eines Jahres notwendig. Zur Erarbeitung dieser Grundlage wurde das Versuchsdesign gewählt, Adultfische weit verbreiteter heimischer Arten (Nase, Barbe und Aitel) zu besendern und deren Wanderungen über eine Serie von Wasserkraftanlagen hinweg zu erfassen.

2 Methodik

Das Untersuchungsgebiet liegt in einer Staukette am Unterlauf der Mur in der Südsteiermark (**Bild 1**), die dort einen mittleren Abfluss von 130-144 m³/s aufweist und der Barbenregion zuzuordnen ist. Das obere Ende wird durch das KW Lebring definiert. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich weiter flussab über die Stauräume weiterer vier Kraftwerksanlagen, so dass insgesamt ein 20 km langer Flussabschnitt abgedeckt wird (**Bild 2**).

Es handelt sich um Laufkraftwerke mit ca. 13-20 MW Leistung und jeweils zwei Kaplan-turbinen. Die Fallhöhe beträgt 6,5 bis 10,2 m, der Ausbaudurchfluss je Standort 200 bis 260 m³/s. Alle KW weisen Einlaufrechen mit einer lichten Weite von 10 cm auf. Sie wurden mit Ausnahme der obersten (Lebring) einige Jahre vor Beginn der Studie mit FAA ausgestattet, die mit etwa 500 l/s dotiert werden. Es liegt somit ein für Fische oben abgeschlossener Flussabschnitt vor, der nach flussab offen ist.

Die Feldarbeiten erfolgten zwischen Februar 2018 und Mai 2019. Die Abflussverhältnisse während der Studie beinhalteten Phasen über der Ausbauwassermenge, große Hochwässer fanden

aber nicht statt. Die Fische wurden zwischen März und Mai 2018 gefangen, besendert und unmittelbar im selben Stauraum wieder entlassen. Die Empfangsanlagen wurden im März und April 2018 installiert und zeigten bis Ende Mai 2019 Signale auf. Zusätzlich wurden an vier Terminen mobile Ortungen durchgeführt. Für die Studie war eine Tierversuchsgenehmigung notwendig, die vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung erteilt wurde (GZ ABT13-15445/2018-7).

Die Versuchstiere wurden mit Radiotransmittern des Herstellers Lotek besendert. An den KW wurden Empfänger und insgesamt 38 Antennen betrieben, die im Oberwasser, im Unterwasser, im Bereich der Wehrfelder, des unmittelbaren Turbinen-Abstrombereichs (**Bild 3**) sowie in die FAA situiert waren. In Summe wurden 216 Fische besendert, davon 53 Barben, 96 Nasen und 67 Aitel. Die Barben waren im Mittel 495 ± 92 mm lang, die Nasen 404 ± 38 mm und die Aitel 402 ± 74 mm. Bei 199 Fischen (entspricht 92 %) war eine Auswertung der Wanderwege möglich, bei 8 % lagen zu wenig Detektionen für ein interpretierbares Ergebnis vor. Die Datensätze der mobilen und stationären Ortungen wurden in einer Datenbank zusammengeführt. Den individuellen Wandermustern wurden das Abflussgeschehen und Zeiten mit Wehröffnung gegenübergestellt. Bei Fischen mit Stauraum-Wechsel(n) wurde anhand der einzelnen Registrierungen der Auf- und Abstiegsweg eruiert und kategorisiert.

3 Ergebnisse

Die betriebenen stationären Empfangsgeräte lieferten einen großen Datensatz von Registrierungen (131 Mio. Signale). **Tabelle 1** zeigt die Zahl von Individuen, die sich resident oder mobil verhielten. Etwa die Hälfte der Fische führte keine Wechsel des Stauraums durch, wobei dieser Anteil bei den Aiteln mit 55,9 % am höchsten und bei der Nase mit 48,9 % am niedrigsten war.

Einen Aufstieg über zumindest ein KW führten 32,2 % aller besenderten Fische durch, hier war der Anteil der Barbe am



Bild 1: In den Nahebereich des Turbinenauslasses am KW Gralla gerichtete Antennen

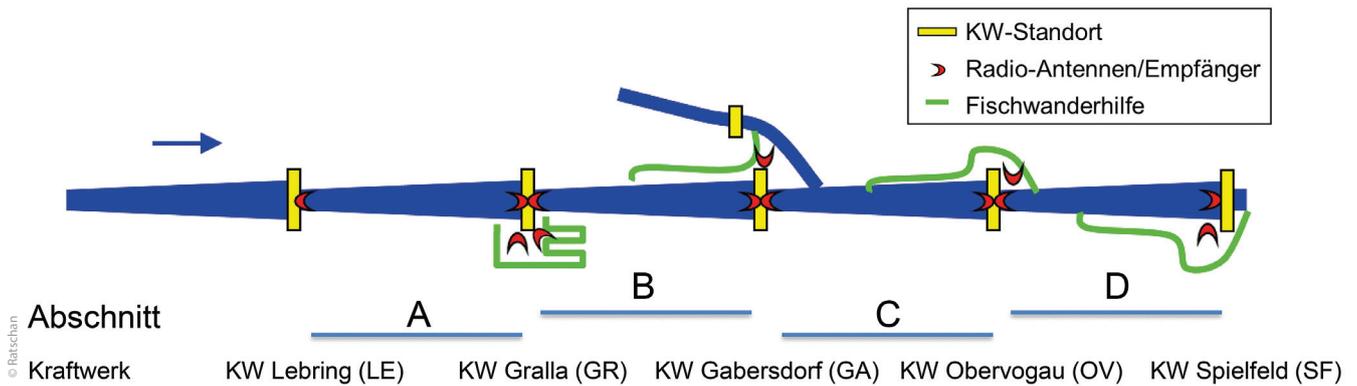


Bild 2: Schematischer Überblick über die bearbeiteten Stauräume und Bezeichnungen der Abschnitte A bis D (E und F folgen flussab)



Bild 3: Strukturarme Stauwurzel (Unterwasser KW Lebring)

höchsten (43,5 %) und beim Aitel (28,8 %) bzw. bei der Nase (26,1 %) geringer. Durch Mehrfachaufstiege eines Teils der Fische sind den 64 aufgestiegenen Individuen insgesamt 94 flussaufgerichtete Passagen von FAA zuzurechnen. Im saisonalen Verlauf zeigen sich sehr deutliche Unterschiede zwischen den Monaten aber auch zwischen den Arten. Während der Anteil aufgestiegener Nasen im April 2018 sehr hoch ist, stieg in den Monaten Mai und Juni jener der Aitel und Barben deutlich an. Im August ging die Aufstiegsaktivität stark zurück und blieb über den Rest der Untersuchungszeit gering.

Insgesamt 87 der 199 Fische führten einen Abstieg durch (125 Passagen inkl. Mehrfachabstiegen; **Tabelle 1**). Die artspezifischen Ergebnisse unterscheiden sich vom Aufstieg, im Fall der Nase waren Abstiege statistisch signifikant häufiger als Aufstiege. Der Anteil abgestiegener Tiere war bei der Nase mit 47,7 % am höchsten, gefolgt von der Barbe (41,5 %) und dem Aitel (39 %). Im saisonalen Verlauf zeigen sich ähnliche Muster wie beim Aufstieg, mit einem hohen Anteil flussab wandernder Nasen im April und Mai 2018, während im Juni 2018 Aitel und

Barben in hoher Zahl flussab wanderten. Die Abstiegsaktivität geht im Juli und August sukzessive zurück, allerdings sind auch in den Monaten Oktober bis Dezember noch flussab gerichtete Wanderungen über KW zu beobachten.

Ein nicht unwesentlicher Anteil der Versuchsfische führte Aufstiege (n = 21) oder Abstiege (n = 30) über mehrere KW durch (**Bild 4**). Bei der Verteilung der Ein- und Mehrfachpassage zeigen sich zwischen den Arten wenig Unterschiede, und auch zwischen den Auf- und Abstiegen. Passagen über vier KW wurden nur beim Aitel gefunden, während 2- oder 3-fache Kraftwerkspassagen bei allen Arten auftraten.

Auf Basis der Signalmuster wurden definierte Kategorien für die Abstiegswege vergeben (**Bild 5**). Von den insgesamt 125 Kraftwerkspassagen wurden 34 oder 27 % dem Abstiegsweg Turbine zugeordnet. Weitere 5 könnten entweder durch die Turbine oder bei Überwasser über das Wehr gewandert sein, 20 könnten durch die Turbine oder die FAA geführt haben und bei 18 ist der Weg ganz unklar, das heißt Turbine, FAA oder Wehr wurden genutzt. 48 (38 %) der Abstiege führten über eine

Tabelle 1: Zahl von Individuen mit Auf- und/oder Abstieg sowie pro Richtung durchgeführte Passagen, die %-Werte beziehen sich auf den Anteil der Individuen der jeweiligen Kategorie an allen Fischen einer Art und sind mit ± 95%-Konfidenzintervall angegeben (Quelle: Ratschan)

Fischart	Individuen	kein Wechsel		Aufstieg			Abstieg		
		Ind.	%	Ind.	%	Passagen	Ind.	%	Passagen
Nase	88	43	48,9 ± 10,4	23	26,1 ± 9,2	32	42	47,7 ± 10,4	56
Barbe	52	27	51,9 ± 13,6	24	43,5 ± 13,5	34	22	41,5 ± 13,4	35
Aitel	59	33	55,9 ± 12,7	17	28,8 ± 11,6	28	23	39,0 ± 12,4	34
Gesamt	199	103	51,8 ± 6,9	64	32,2 ± 6,5	94	87	43,7 ± 6,9	125

FAA. Ein Abstieg über ein geöffnetes Wehr konnte in keinem einzigen Fall klar belegt werden, in einer vergleichsweise geringen Zahl aber in Betracht kommen (23 Abstiege).

Ordnet man alle Abstiegswege, die nachweislich oder potenziell durch die Turbine geführt haben, diesem Weg zu, so betrifft dieser bis zu 77 (62 %) der Abstiege, also einen wesentlich höheren Teil als bei der Minimalschätzung von 27 %. Weist man alle Abstiege, die nachweislich oder potenziell über die FAA geführt haben, dem Abstiegsweg FAA zu, so ergibt sich ein Anteil von 69 % der Abstiege, also ein wesentlich höherer Anteil als die Minimalschätzung von 38 %. Die Verteilung der einzelnen Fischarten (Bild 5A) weist keine auffälligen Unterschiede auf. Beim Vergleich zwischen den Anlagen (Bild 5B) zeigt sich, dass am KW Obervogau ein geringer Anteil von Abstiegen klar der Turbine zuzuordnen war und am KW Spielfeld ein höherer Anteil von Abstiegen über die FAA.

4 Diskussion

Im Zuge dieser Studie wurden Wanderungen einer großen Zahl von Adultfischen verfolgt, wodurch fundierte Zahlen zur Zahl von Kraftwerkspassagen über den Zeitraum eines Jahres ermittelt wurden. Darüber hinaus wurden Anteile der verschiedenen

Abstiegswege erarbeitet, die bei der flussab gerichteten Passage von KW genutzt wurden (Tabelle 2).

Bei diesem Anteil gibt es aus methodischen Gründen eine erhebliche Zahl von unsicheren Fällen (Störungen, Signalkollisionen, temporären Ausfall von Antennen oder von Sendern, z. B. durch Laufradkollision). Weil in keinem einzigen Fall ein Abstieg über ein Wehr klar nachgewiesen werden konnte, ist davon auszugehen, dass sich auch unter den nicht eindeutigen Fällen ein geringer Anteil von Absteigern über das Wehr verbirgt. Insgesamt ist anzunehmen, dass die Minimalschätzung des Anteils der Absteiger durch die Turbinen das wahre Ausmaß deutlich unterschätzt. An dieser Stelle wird in weiterer Folge als „best guess“ die Hälfte der Absteiger, bei denen möglicherweise ein Abstieg durch die Turbine erfolgte, diesem Weg zugeordnet. Der Anteil von Abstiegen über die Turbinen liegt somit über alle Fischarten gerechnet zwischen der Minimal- und Maximalschätzung (27 % und 62 %) bei 44 %.

Durch Multiplikation der Zahl von Kraftwerkspassagen mit dem Anteil von Passagen durch die Turbine kann eine Zahl von jährlichen Turbinenpassagen errechnet werden (Tabelle 2). Im Mittel wurden 0,63 flussab gerichtete Kraftwerkspassagen pro Jahr und Individuum gefunden. Setzt man dabei einen Anteil von 44 % der Abstiegswege durch eine Turbine an, so ergeben

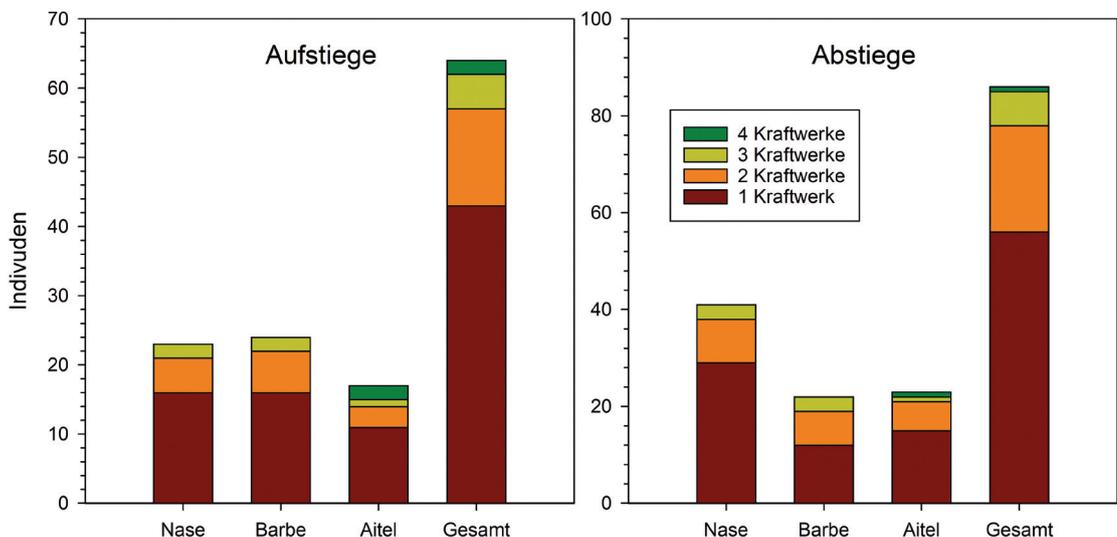


Bild 4: Zahl von einfachen und mehrfachen Auf- und Abstiegen über Kraftwerke

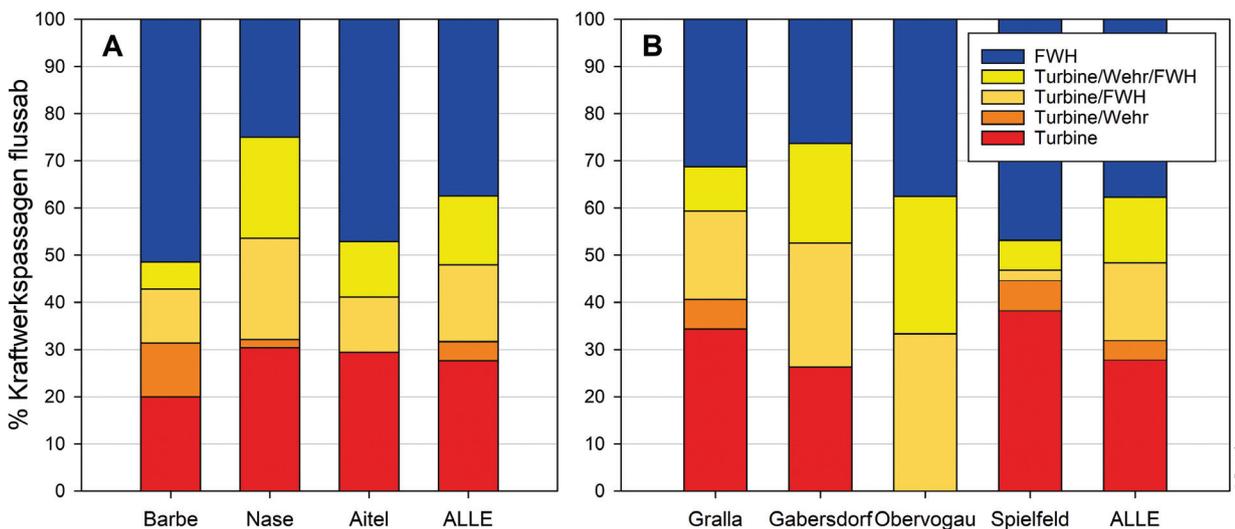


Bild 5: Relativer Anteil der verschiedenen Abstiegswege (A) je Art über alle Anlagen und (B) je Anlage über alle Arten

sich pro Jahr und Individuum 0,28 Turbinenpassagen. Dieser über alle Arten gepoolte Wert wird in weiterer Folge als Eingangsparameter für ein Populationsmodell genutzt [9].

Für eine quantitative Einordnung dieser Ergebnisse wären Vergleiche zu ähnlichen Studien von hohem Wert, die allerdings nur in geringer Zahl verfügbar sind. Untersuchungen, bei denen Fische gezielt flussauf versetzt wurden, sind von beschränkter Aussagekraft, weil es bei Fragestellungen zu Populationsauswirkungen die natürliche Wanderung zu untersuchen gilt. An Kleinwasserkraftanlagen wurde bereits eine Reihe von Studien zu flussabgerichteten Wanderungen durchgeführt, z. B. [4], [8]. Eine Übertragbarkeit von Ergebnissen auf mittlere und große Anlagen ist aber problematisch. An der Aare in der Schweiz wurden an zwei großen Anlagen ($Q_A > 400 \text{ m}^3/\text{s}$) Telemetriestudien durchgeführt [1], [6]. Dort wurden allerdings Fische verwendet, die ins Oberwasser versetzt wurden. Am KW Bannwil stiegen 37 % der untersuchten Barben ab, wobei ein hoher Anteil (83,5 %) den Weg durch die Turbinen wählte und nur ein geringer über den Beckenpass (2,8 %) wanderten. Die geringe Nutzung des Wehrs (3,7 %) entspricht den Ergebnissen der gegenständlichen Studie. Das Ergebnis von 37 % Abstiegswahrscheinlichkeit an dieser Einzelanlage ist ähnlich wie jenes an der Mur (41 % bei der Barbe), wenn man den Anteil von Mehrfachabsteigern abzieht. Am KW Wildeg-Brugg wurden die Wanderwege

detailliert untersucht. Nur 11 % der dort untersuchten Fische führten über 2 Jahre eine Passage ins Unterwasser durch. Dabei wurde fast ausschließlich die Turbine genutzt und die FAA (gering dotierter Beckenpass) nur durch einzelne Fische.

An Kleinwasserkraftanlagen nutzen hingegen teils durchaus wesentliche Anteile der Individuen FAA auch flussab [8]. Andererseits korreliert die Zahl abwandernder Fische stark mit dem Abfluss und trotz vorhandener Feinrechen und Bypässe können große Anteile durch die Turbinen wandern [5]. Allerdings beinhalten diese Ergebnisse hohe Anteile von Jung- und Kleinfischen, können also mit Telemetrie-Ergebnissen von Adultfischen nicht direkt verglichen werden.

An größeren Flüssen zeigen manche Studien eine geringe Nutzung des Abstiegswegs über FAA. Bei anderen Studien wurden teils individuenreiche flussab gerichtete Wanderungen durch großzügig dimensionierte Umgehungsgewässer dokumentiert, aus methodischen Gründen ist dabei aber ein Bezug auf die Fischpopulationen schwierig und der Anteil durch die Turbinen wandernder Individuen bleibt unbekannt. Die Ergebnisse von der Mur belegen, dass auch in diesem mittelgroßen Fluss FAA flussab passiert werden. Hier führten immerhin 38 % der flussab gerichteten Wanderungen nachweislich über FAA.

Im Überblick der Literatur zeigt sich, dass das quantitative Ausmaß flussab gerichteter Wanderungen potamodromer Fisch-

Tabelle 2: Zahl von Individuen und Anteil von Kraftwerkspassagen pro markiertem Individuum ($\pm 95 \%$ CL), Anteil der Turbinenpassagen (MW: „best guess“ als Mindestschätzung +50 % der unklaren Fälle) und Zahl von Turbinenpassagen pro Jahr (Quelle: Ratschan)

Art	Individuen	Kraftwerkspassagen flussab		Anteil durch Turbine			Turbinenpassagen		
		n	Anteil	min	MW	max	min	MW	max
Nase	88	56	0,64 \pm 0,10	0,30	0,53	0,75	0,19	0,34	0,48
Barbe	52	35	0,67 \pm 0,13	0,20	0,34	0,49	0,13	0,22	0,32
Aitel	59	34	0,58 \pm 0,13	0,29	0,41	0,53	0,17	0,24	0,31
Gesamt	199	124	0,63 \pm 0,07	0,27	0,44	0,62	0,17	0,28	0,39

Clemens Ratschan, Maximilian Zauner, Gerald Zauner, Andreas Zitek, Walter Reckendorfer, Martin Schletterer and Josef Schneider

Migration of potamodromous cyprinids in a chain of hydropower plants

The migrations of adult fish of the cyprinid species chub (*Squalius cephalus*), nase (*Chondrostoma nasus*) and barbel (*Barbus barbus*) were studied over one year using radio telemetry at a chain of 5 medium-sized run-of-river power plants on the Mur river in southern Styria (Austria). The power plants each have 2 Kaplan turbines, intake screens with a clear width of 10 cm, and discharge flows of 200-260 m³/s. Downstream migration across power plants took place all year round. The increased migration activity in early summer can be interpreted as post-spawning migration. For the 216 fish studied, an average of 0.63 downstream and 0.48 upstream passages were found, with comparatively little difference between the species. Only the fishways can be used for the upstream migrations, turbines, weirs or fishways for downstream migrations. Combining the annual descent rate with the proportion of turbine passages, this results in a mean value of 0.28 turbine passages per year. The recorded mobility reflects the situation in a structurally poor chain of comparatively small impoundments. The results serve as a basis for modelling the influence of turbine-related impacts on populations of potamodromous fish species.

arten bislang erst unzureichend untersucht wurde. Dies gilt insbesondere für das natürliche - also nicht durch Umsetzen beeinflusste - Fischverhalten und Wanderungen über größere Flussstrecken mit Passagen mehrerer KW. Es verbleiben dadurch erhebliche Wissenslücken in Hinblick auf die Auswirkungen von turbinenbedingter Mortalität auf die Populationen potamodromer Arten.

Dank

Das Projekt „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich - Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den Fischschutz und Fischabstieg“ wurde über die Förderschiene Collective Research der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) finanziert (Projektnummer 857 801). Fördernehmer war Österreichs Energie und eine Co-Finanzierung erfolgte durch beteiligte Energieversorgungsunternehmen. An alle beteiligten Institutionen und deren zahlreiche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die namentlich hier nicht erwähnt werden können, sei hiermit ein herzliches Dankeschön ausgesprochen.



Fischaufstiegsanlage



Reckendorfer, W. et al.: Abwärtswanderung durch eine Fischaufstiegsanlage - neue Erkenntnisse durch Untersuchungen mittels PIT-Tags. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 2-3/2023. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2023. <https://sn.pub/1WpJKS>

Autoren

Mag. Clemens Ratschan

DI Maximilian Zauner

DI Dr. Gerald Zauner

ezb-TB Zauner GmbH

Marktstrasse 35

4090 Engelhartzell, Österreich

ratschan@ezb-fluss.at

zauner@ezb-fluss.at

m.zauner@ezb-fluss.at

DI Dr. Andreas Zitek

EcoScience

Alois-Czedik-Gasse ¾

1140 Wien, Österreich

andreas.zitek@ecoscience.at

Dr. Walter Reckendorfer

Verbund Hydro Power GmbH

Europaplatz 2

1150 Wien, Österreich

walter.reckendorfer@verbund.com

Priv.-Doz. Mag. Dr. Martin Schletterer

TIWAG - Tiroler Wasserkraft AG

(und Universität für Bodenkultur Wien (BOKU))

Eduard-Wallnöfer-Platz 2

6020 Innsbruck, Österreich

martin.schletterer@tiwag.at

Dr. Dipl.-Ing. Josef Schneider

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz

Stremayrgasse 10

8010 Graz, Österreich

schneider@tugraz.at

Literatur

- [1] Axpo; FishConsult (Hrsg.): Verhaltensbiologische Untersuchungen mittels akustischer Telemetrie. Teilprojekt F: Fischabstieg am Maschinenhaus. Kraftwerk Wildegg-Brugg - Sanierung Geschiebehalt und Wiederherstellung Fischwanderung. 2024.
- [2] Cowx, I. G.; Noble, R. A. A.; King, M. et al.: Fishfriendly Innovative Technologies for Hydropower. D 1.4: Cumulative Impact Assessment. FIThydro. 2020.
- [3] Harrison, P. M.; Martins, E. G.; Algera, D. A. et al.: Turbine entrainment and passage of potadromous fish through hydropower dams: Developing conceptual frameworks and metrics for moving beyond turbine passage mortality. In: Fish and Fisheries (2019), S. 1-16.
- [4] Knott, J.; Müller, M.; Pander, J.; Geist, J.: Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen. In: LFU (Hrsg.): Reihe Umweltspezial (2022), Band 12.
- [5] Knott, J.; Müller, M.; Pander, J.; Geist, J.: Downstream fish passage at small-scale hydropower plants: Turbine or bypass? In: Front. Environ. Sci. 11 (2023), 1 168 473.
- [6] Peter, A.; Schölzel, N.; Wilmsmeier, L.: Radiotelemetrische Untersuchungen zum Fischabstieg am Kraftwerk Bannwil. Studie im Auftrag der BKW Energie AG. 2023.
- [7] Radinger, J.; Treek, R. v.; Wolter, Ch.: Evident but context-dependent mortality of fish passing hydroelectric turbines. In: Conservation Biology (2022), S. 1-12.
- [8] Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (Hrsg.): Fischschutz und Fischabstieg in Österreich. Wien, 2019.
- [9] Zitek A.; Ratschan, C.: Fischschädigung durch Turbinen: Modellierung auf Populationsniveau. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 38-43.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2554-6>

Ergebnisse aus der Illerstrategie zu Fischwanderung und Habitatgestaltung - Erkenntnisse für die zukünftigen Wege zum guten Zustand oder Potenzial

Die mittlere Iller zwischen Altusried und Lautrach ist durch intensive anthropogene Nutzung geprägt. Eine Kombination verschiedener Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerökologie, wie naturnahe Fischaufstiegsanlagen und Kieszugaben, zeigten positive Effekte. Hiervon profitierten insbesondere Fischbestände und Makrozoobenthos. Der alleinige Bau von Fischaufstiegsanlagen stellte sich in stark veränderten Flusstrecken nicht als ausreichend heraus, um positive Auswirkungen auf die Biozönose zu zeigen. Ein ganzheitlicher Ansatz, der Maßnahmen im Hauptfluss und in Nebengewässern verbindet, ist nötig, um das ökologische Potenzial nachhaltig zu verbessern.

Tobias Eppe, Oliver Born, Olav König, Hendrik Engelsing, Karl-Friedrich Wetzel und Sebastian Blaß

1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts Illerstrategie der LEW Wasserkraft GmbH und des EU-Projekts ISOBEL werden in der mittleren Iller verschiedene Maßnahmen zur Habitatgestaltung und -vernetzung erprobt und kombiniert. Ziel ist die Erreichung des guten ökologischen Potenzials gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL). Schwerpunkte sind der Bau von naturnahen Fischaufstiegsanlagen (FAA) mit Habitatfunktion, die Schaffung kiesiger Gewässerstrukturen in den ungestauten Abschnitten unterstrom der Wehranlagen und die Förderung von wechselfeuchten Lebensräumen entlang der FAA. Dieser Artikel fasst die Ergebnisse dieser Maßnahmen zusammen und diskutiert ihre Implikationen für zukünftige Projekte zur Verbesserung der Gewässerökologie.

2 Einführung in das Untersuchungsgebiet

Das Projektgebiet der Illerstrategie und des EU-Projekts ISOBEL ist die mittlere Iller zwischen Altusried und Lautrach (**Bild 1**). In diesem Abschnitt betreibt die LEW Wasserkraft GmbH fünf

Laufwasserkraftwerke (Illerstufe 4: Altusried, Illerstufe 5: Fluhmühle, Illerstufe 6: Legau, Illerstufe 7: Maria Steinbach, Illerstufe 8: Lautrach) [1].

Die Iller wird gemäß der WRRL als Heavily Modified Water Body klassifiziert und mündet bei Ulm in die Donau. Der mittlere Abfluss (MQ) am Pegel Kempten beträgt 46,5 m³/s. Der Fischbestand der Iller setzt sich aus den typischen Arten der sommerkalten Flüsse der Äschen- und Barbenregion des Donau-einzugsgebiets zusammen, darunter Bachforelle (*Salmo trutta fario*), Äsche (*Thymallus thymallus*), Huchen (*Hucho hucho*), Barbe (*Barbus barbus*), Döbel (*Squalius cephalus*), Nase (*Chondrostoma nasus*) und Rutte (*Lota lota*).

Die hydromorphologischen und gewässerökologischen Defizite der mittleren Iller liegen insbesondere in der fehlenden ökologischen Durchgängigkeit, dem gestörten Geschiebehauhalt und der mangelnden Auenanbindung. Dies führt zu einem Mangel an Schlüsselhabitaten für rheophile Fischarten, insbesondere Laich-, Larven- und Jungfischhabitate, zum Lebensraumverlust für benthische Invertebraten und zum Verlust der Habitatvernetzung und Wandermöglichkeiten für potamodrome Fischarten.

3 Illerstrategie und EU-Projekt ISOBEL

Um die genannten Defizite zu beheben, wurden im Rahmen der Illerstrategie und des EU-Projekts ISOBEL verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerökologie erprobt und kombiniert. Ziel war die Schaffung des guten ökologischen Potenzials im Untersuchungsgebiet und die Ausarbeitung von Best-Practice-Lösungen zur ökologischen Aufwertung geschleibeverarmter, sommerkalter Flüsse des Donau-einzugsgebiets [1].

Die beiden Projekte umfassten unter anderem den Bau von großzügig gestalteten, naturnahen FAA mit Habitatfunktion, die

Kompakt

- In anthropogen stark veränderten Fließgewässern ist ein ganzheitlicher Ansatz zur Verbesserung des ökologischen Potenzials notwendig.
- Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerökologie müssen sowohl den Hauptfluss als auch Nebengewässer umfassen.
- Anforderungen von Zielfischarten müssen auf Artniveau betrachtet werden.

Schaffung kiesiger Gewässerstrukturen in drei Kraftwerksunterwasserstrecken und die gezielte Förderung von wechselfeuchten Lebensräumen entlang der FAA [1]. Begleitet wurden die Projekte durch ein umfangreiches Monitoringprogramm, welches vor allem die Wanderbewegungen und Populationsentwicklung von Fischen, die Entwicklung benthischer Invertebraten, die Untersuchung der Wassertemperatur und die hydromorphologischen Auswirkungen der Kieszugaben beinhaltet. Es wurde somit das Ziel verfolgt, die Veränderungen im aquatischen Lebensraum und die Land-Wasser-Beziehungen möglichst umfassend zu untersuchen.

4 Entwicklung wechselfeuchter Lebensräume entlang der FAA

Das Aueninstitut Neuburg-Ingolstadt erprobte und untersuchte die Entwicklung wechselfeuchter Lebensräume entlang der FAA. Im Zuge dessen wurden an den FAA gezielt trockene Brennen-Standorte, offene Uferabbrüche, Stillwasserbereiche, periodisch überflutete Flächen und kleinere strömungsberuhigte Uferbereiche geschaffen. Diese Strukturen sollen auch die Habitatverfügbarkeit für Fische in den FAA aufwerten [2]. Bei der Gestaltung derartiger Lebensräume wurde beachtet, dass diese den Wanderkorridor für Fische in der FAA nicht negativ beeinflussen.

Ein speziell erarbeitetes Unterhaltungskonzept, welches vor allem regelmäßige Flutungen beinhaltet, dient dem langfristigen Erhalt der geschaffenen wechselfeuchten Zonen und der dynamischen Entwicklung der Lebensräume innerhalb der FAA.

Die Untersuchungen zeigten, dass Flutungen in der Vegetationsperiode besonders relevant sind. Um entsprechende Effekte zu zeigen, ist eine Flutungsdauer von ca. 10 Tagen notwendig. In diesem Zeitraum wird die Dotation der FAA verdoppelt. Um den Reproduktionserfolg von Fischen in naturnahen FAA nicht zu gefährden, ist der Flutungszeitraum außerhalb der typischen Laich- und Larvenzeiten der im jeweiligen Gewässer vorkommenden Hauptfischarten zu wählen. Im Projektgebiet wurden die Flutungen daher im Hochsommer zwischen Juli und August durchgeführt.

5 Geschiebemanagement

Ein Hauptschwerpunkt der Illerstrategie und des ISOBEL-Projekts ist die Erarbeitung eines effektiven Geschiebemanagements. In drei Kraftwerksunterwasserstrecken wurden unter wissenschaftlicher Betreuung des Instituts für Geographie der Universität Augsburg verschiedene Methoden zur Schaffung kiesiger Gewässerstrukturen erprobt, mit dem Ziel, ökologisch und

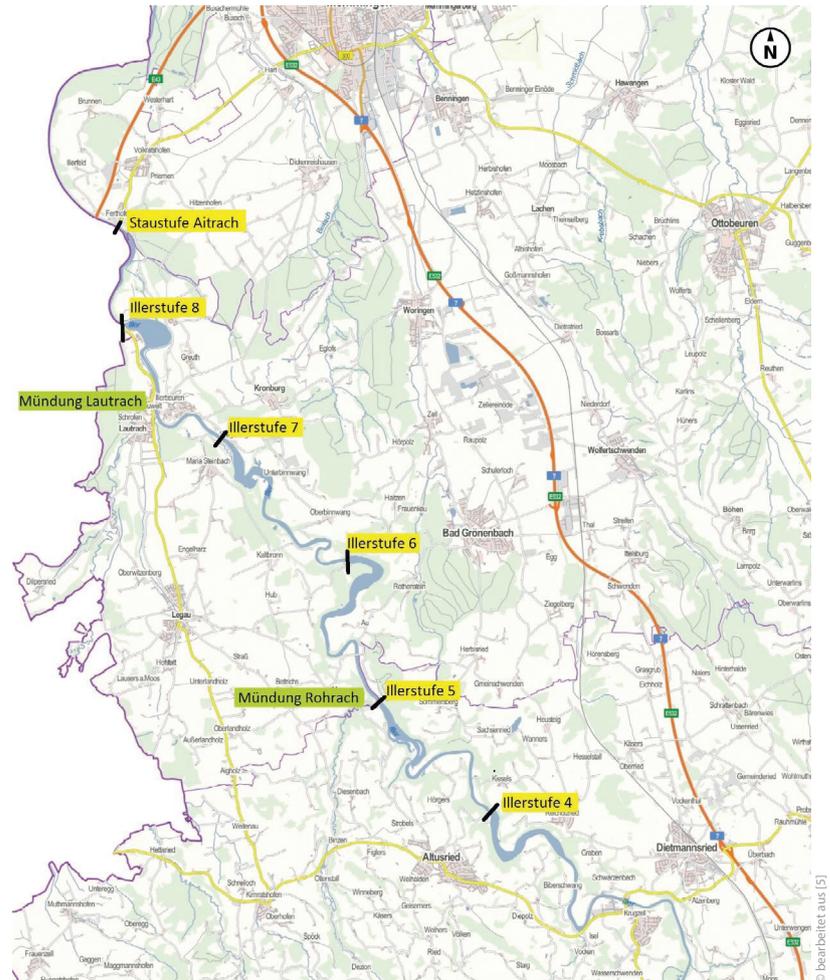


Bild 1: Übersicht über das Untersuchungsgebiet der Projekte Illerstrategie und ISOBEL entlang der mittleren Iller zwischen Illerstufe 4 (Altusried) und dem Unterwasser der Illerstufe 8 (Lautrach)

hydromorphologisch funktionsfähige Strukturen mit möglichst effektivem Einsatz von Kies zu schaffen [3], [4]. Die Maßnahmen umfassten:

- Unterwasser Illerstufe 4: Flächige Kieszugabe verbunden mit einer aus groben Blöcken bestehenden harten Uferbefestigung und aktive Laichbettbereitung vor Beginn der Laichsaison.
- Unterwasser Illerstufe 6: Flächige Einbringung von Kies über einer stabilisierenden Sohlenbelegung aus Flussbausteinen. Strukturelemente wie Waben und Bogenstrukturen sollen vor rascher Verlagerung schützen.
- Unterwasser Illerstufe 7: Bau von insgesamt fünf deklinanten und teilweise geöffneten Buhnen, Schaffung einer Pendelströmung innerhalb des Buhnenfelds und Kieszugabe zwischen den Buhnen.

Als Ergebnis der Kieseinbringungen zeigten die Unterwasserstrecken 6 und 7 eine deutliche Verbesserung der Gewässerstrukturen sowie eine deutliche Zunahme der Strömungsvielfalt und der Tiefenvariabilität. Insbesondere die Buhnen in der Unterwasserstrecke 7 führten zu einer ausgeprägten hydromorphologischen Dynamik mit z. T. erheblichen Unterschieden der

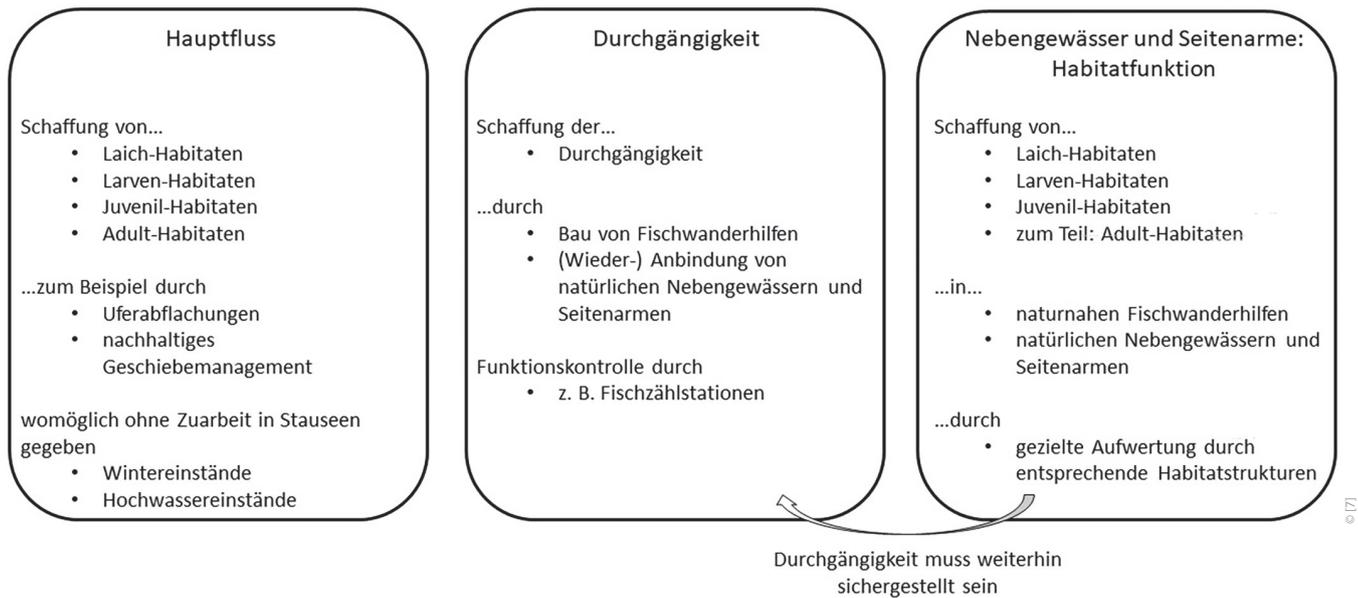


Bild 2: Aus den unterschiedlichen Habitatnutzungen der betrachteten Fischarten Äsche, Bachforelle, Huchen, Barbe und Nase wurde ein Konzept zur Förderung potamodromer rheophiler Fischarten in staugeprägten Fließgewässern erarbeitet, das auf drei Säulen basiert

Wassertiefe auf engem Raum. Im Gegensatz dazu konnte in der Unterwasserstrecke 4 keine ausgeprägte Verbesserung der hydromorphologischen Situation erreicht werden, lediglich eine leichte Verbesserung der Strömungsvielfalt [3].

6 Makrozoobenthos

Das Monitoring des Makrozoobenthos (MZB) in den Kraftwerksunterwasserstrecken und FAA wurde durch Terra Media und das Büro H2 Hess + Heckes durchgeführt. Über die regelmäßigen Aufnahmen konnte belegt werden, dass das Geschiebemanagement deutlich positive Auswirkungen auf die MZB-Besiedlung hat. Die Kiesdotation führte zu einer erheblichen Zunahme der MZB-Biomasse/m². Das MZB zeigte im Mutterbett eine extreme Robustheit gegenüber Hochwässern und Kieseinbringungen. Allerdings wurde in Bereichen, in denen mit Raupen/Baggern im Gewässer gefahren wurde, teilweise eine verminderte MZB-Besiedlung festgestellt, was zu einer laufenden Anpassung der Methodik des Geschiebeeintrags führte. Die FAA werden arten- und individuenreicher von MZB besiedelt als der Hauptstrom, wobei die Besiedlung vor allem durch an geringe Gewässerdynamik angepasste Arten erfolgt.

7 Entwicklung der Fischpopulation und Wanderbewegungen

Die fischökologischen Fragestellungen der vorgestellten Projekte wurden insbesondere durch das Institut für Geographie der Universität Augsburg und die Fischereifachberatung des Bezirks Schwaben bearbeitet.

Die Fischbestandshebungen zeigten eine Verbesserung des ökologischen Potenzials für die Qualitätskomponente Fische zwischen 2016 und 2019 in den Probestrecken unterhalb der Illerstufen 6 und 7. Im Unterwasser der Illerstufe 8, wo lediglich eine naturnahe FAA gebaut wurde, blieb eine Bestandszunahme der untersuchten Fischarten und eine Verbesserung des ökologischen Potenzials aus. Dies deutet darauf hin, dass der alleinige Bau einer naturnahen FAA an stark anthropogen veränderten Flussabschnitten nicht ausreichend ist, um rheophile Fischarten zu fördern. Bemühungen zur Verbesserung des ökologischen Zustands oder Potenzials in stark anthropogen veränderten Flussabschnitten müssen daher zusätzlich zur Schaffung der Durchgängigkeit immer auf strukturverbessernde Maßnahmen sowohl im Hauptfluss als auch in den Nebengewässern basieren (**Bild 2**). Zudem konnte gezeigt werden, dass verschiedene Fischarten artspezifisch Schlüsselhabitate in unterschiedlichen Gewässerkompartimenten nutzen. Einzelne Fischarten nutzen beispielsweise ausschließlich Kieslaichplätze im Hauptfluss, während anderen Arten nur Kieslaichplätze in den Nebengewässern nutzen. Dies ist beispielhaft für die Barbe in **Bild 3** dargestellt. Daher müssen bei zukünftigen Renaturierungsprojekten die Anforderungen der Zielfischarten immer auf Artniveau betrachtet werden [5], [6], [7].

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass die langfristigen Auswirkungen der umgesetzten Maßnahmenkonzepte aufgrund der langsamen Reaktion von Fischpopulationen auf Habitatveränderungen trotz stark positiver Tendenzen noch nicht klar abschätzbar sind. Daher sollen die regelmäßigen Fischbestandsaufnahmen im Projektgebiet auch in Zukunft weiter fortgeführt werden.

Die tägliche Aufnahme der Wanderbewegungen durch die fünf FAA des Projektgebiets über 4,5 Jahre hinweg, die Auf-

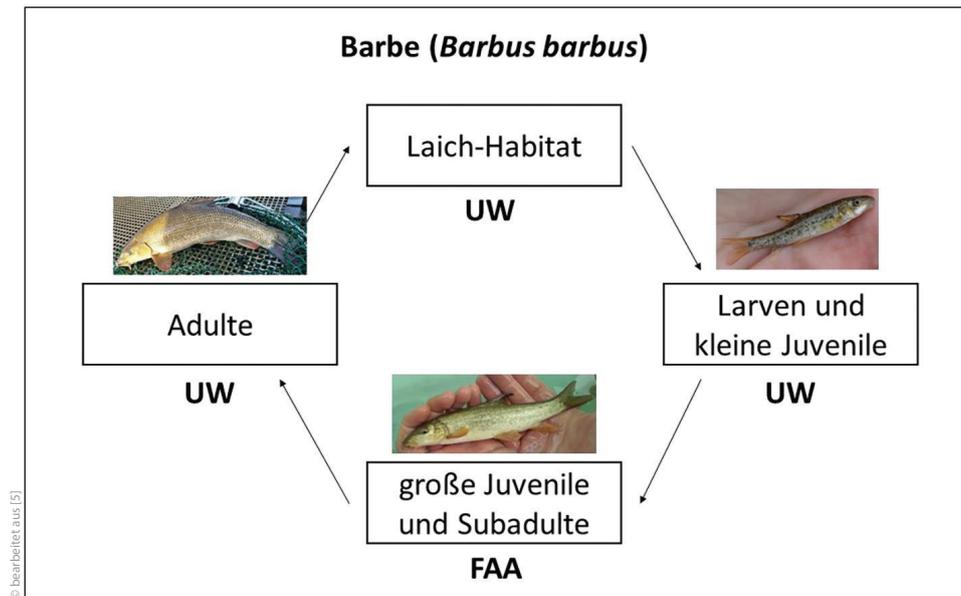


Bild 3: Vereinfachter Überblick über die während ausgesuchter Stadien des Lebenszyklus der Barbe im Untersuchungsgebiet primär genutzten Gewässerkompartimente (UW = Hauptfluss Iller, FAA = naturnahe FAA)

nahme von 14 Umweltfaktoren zur Korrelation mit den Aufstiegszahlen und die Farbmarkierung weitgehend aller in den FAA und bei Fischbestandsaufnahmen nachgewiesenen Fische über 20 cm Gesamtlänge ermöglichten detaillierte Einblicke in das Wanderverhalten der Fische. Hierbei konnte belegt werden, dass alle im Projektgebiet vorkommenden Fischarten die FAA für den Fischeaufstieg nutzen (**Bild 4**). Über Farbmarkierungen wurden von einzelnen Fischen Wanderbewegungen über bis zu vier FAA hintereinander nachgewiesen. Die hierbei dokumentierten Wanderdistanzen zeigten dabei nur wenig Übereinstimmung mit der gängigen Einteilung der Arten nach ihrer Migrationsdistanz in Kurz- und Mittelstreckenwanderfische. Darüber hinaus konnte über die Farbmarkierung aufgezeigt werden, dass sich insbesondere salmonidenartige Fische bei Wehrüberfall über die Kraftwerke abdriften lassen [5], [8].

Über Korrelationen der Wanderzahlen durch die FAA mit verschiedenen Umweltfaktoren wurden für 17 Arten komplexe Zusammenhänge zwischen dem zeitlichen Muster der Aufstiegsbewegungen und den aufgenommen abiotischen Einflüssen erarbeitet [5], [8].

8 Wassertemperatur

Das Monitoring der Wassertemperatur wurde von der Hydrometrie-Beratung durchgeführt. Hierbei wurde die Wassertemperatur sowohl im Hauptfluss der Iller als auch in den FAA kontinuierlich überwacht. Im Sommer wurden in den Kraftwerksunterwasserstrecken Wassertemperaturen bis zu 25 °C gemessen, in den FAA sogar bis zu 26,3 °C. In sommerlichen Hitzeperioden kam es zu einer Zunahme der Wassertemperatur durch die Staustufenkette um 1,7 bis 2,6 °C. Zwischen Zu- und Abläufen der FAA wurden Temperaturzunahmen von 0,1 bis 0,5 °C (Mittelwerte) festgestellt. Betrieblich bedingte, zeitlich begrenzte

Durchflussreduzierungen der FAA führten im Sommer zu Temperaturanstiegen von bis zu 3,5 °C.

Aus den Ergebnissen des Temperaturmonitorings, lassen sich insbesondere die folgenden Handlungsempfehlungen ableiten:

- Die Verbreiterung von Fließgewässern im Rahmen der Gewässerrenaturierung sollte überdacht werden, da dies zu einer weiteren Erwärmung des Wassers führen kann.
- Um den zu erwartenden Klimaveränderungen gerecht zu werden ist bei Renaturierungsbemühungen in sommerkalten Gewässern die Schaffung von Kaltwasserrückzugsräumen notwendig, z. B. durch Gestaltung von Gumpen an Mündungen von kühleren Nebengewässern und Grundwasseraustritten.
- Eine weitere Methode, um eine übermäßige Erwärmung des Gewässers zu verhindern ist die Förderung der Beschattung, v. a. auch von natürlichen und künstlichen Nebengewässern sowie FAA.
- Die Einlaufstellen von FAA liegen häufig innerhalb gestauter Gewässerbereiche. Dadurch erfolgt deren Dotation häufig mit warmem Oberflächenwasser. Beim Bau zukünftiger FAA ist daher die Position und Tiefe des Einlaufbereichs genau zu prüfen. Dieser sollte an einer sich möglichst wenig erwärmenden Gewässerstelle liegen.

9 Fazit

Die Ergebnisse der Illerstrategie und des ISOBEL-Projekts zeigen, dass eine Kombination der gezeigten Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung positive Auswirkungen auf das ökologische Potenzial oder den ökologischen Zustand geschlebeverarmter sommerkalter Flüsse hat. Insbesondere durch das Geschiebemanagement und den Bau großzügig dimensionierter FAA mit Habitatfunktion konnten wertvolle Schlüssellebens-

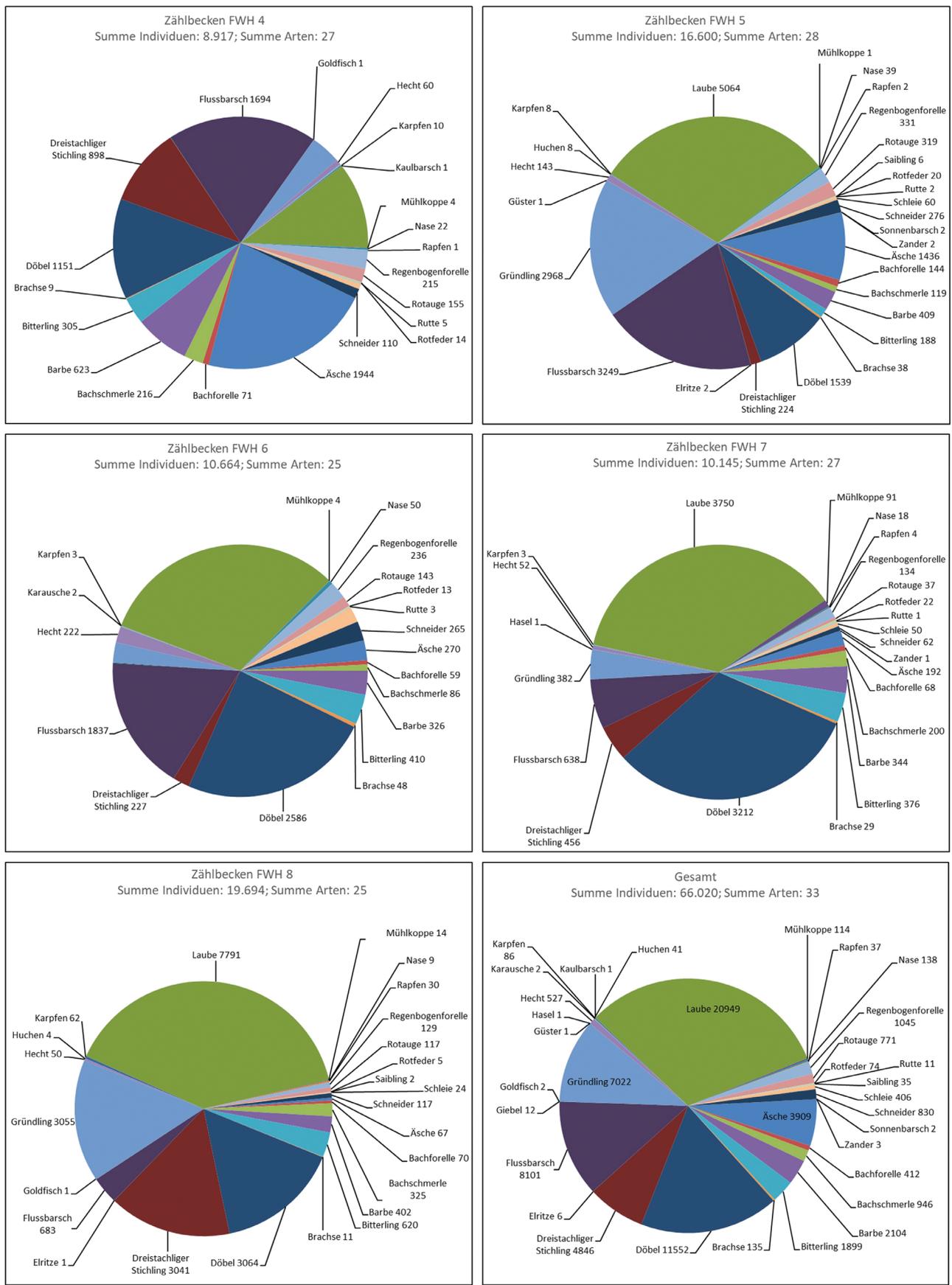


Bild 4: Arten und Anzahlen der in den fünf Kontrollstationen der FAA des Projektgebiets zwischen dem 15.08.2016 und 31.12.2020 nachgewiesenen Fische (FWH [Zahl] = FAA um die Illerstufe [Zahl])

räume für rheophile Fischarten und benthische Invertebraten geschaffen werden [5], [7], [9].

Allerdings zeigen die Ergebnisse auch, dass der alleinige Bau einer naturnahen FAA an stark anthropogen veränderten Flussabschnitten nicht ausreichend ist, um rheophile Fischarten auf Populationsniveau zu fördern. Vielmehr ist ein ganzheitlicher Ansatz erforderlich, der neben der Verbesserung der Durchgängigkeit auch die hydromorphologischen Defizite, die mangelnde Auenanbindung und die Beeinträchtigungen des thermischen Regimes berücksichtigt [3], [5], [7], [9].

Die Illerstrategie und das ISOBEL-Projekt liefern wertvolle Erkenntnisse für die Revitalisierung von Flüssen des Alpenvorlandes. Die Kombination verschiedener Maßnahmen und die Berücksichtigung hydromorphologischer Prozesse sind entscheidend für den Erfolg. Zukünftige Projekte zur ökologischen Aufwertung sollten verstärkt auf integrative Ansätze setzen und sowohl das Haupt- als auch Nebengewässer miteinbeziehen, um das ökologische Potenzial nachhaltig zu verbessern.

Autoren

Dr. Tobias Epple

Fischereifachberatung des Bezirks Unterfranken
Silcherstr. 5
97074 Würzburg
t.epple@bezirk-unterfranken.de

Dr. Oliver Born

Fischereifachberatung des Bezirks Schwaben
Schwäbischer Fischereihof
Mörgenerstr. 50
87775 Salgen
oliver.born@bezirk-schwaben.de

Olav König

Terra Media
Uferstraße 7a
86842 Türkheim
olav-koenig@t-online.de

Dr. Hendrik Engelsing

Hydrometrie-Beratung
Max-Porzig-Str. 5
78224 Singen
tremeacquae@t-online.de

Apl. Prof. Dr. Karl-Friedrich Wetzel

Institut für Geographie
Universität Augsburg
Alter Postweg 118
86159 Augsburg
karl-friedrich.wetzel@geo.uni-augsburg.de

Sebastian Blaß

Aueninstitut Neuburg-Ingolstadt
Schloss Grünau
86633 Neuburg an der Donau
sebastian.blass@ku.de

Literatur

- [1] Epple, T.; Friedmann, A.; Wetzel, K. F.: Illerstrategie 2020 und EU-Projekt ISOBEL schließen Lücken zwischen Forschung und Praxis. In: Wasserwirtschaft 109 (2019), Heft 2-3, S. 68-74.
- [2] Epple, T.; Born, O.; Friedmann, A.: Schritte zum guten ökologischen Potenzial - Fischaufstiegsanlagen und Ersatzlebensräume an den Illerstufen der LEW Wasserkraft GmbH. In: Wasserwirtschaft 109 (2019), Heft 10, S. 12-16.

- [3] Wetzel, K. F.; Epple, T.; Merkel, W.; Stojakowits, P.: Empfehlungen zum Geschiebemanagement in Staustufenketten am Beispiel der Iller. In: Wasserwirtschaft, 112 (2022), Heft 2-3, S. 23-27.
- [4] Stojakowits, P.; Epple, T.; Merkel, W.; Friedmann, A.; Wetzel, K. F.: Wege zur Zielerreichung des „guten ökologischen Potenzials“ am Beispiel der Iller zwischen Krugzell und Lautrach. In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 63 (2019), Heft 5, S. 262-277.
- [5] Epple, T.: Eine ganzheitliche Betrachtung von Maßnahmen zur Förderung potamodromer Fischarten in subalpinen Flüssen am Beispiel der mittleren Iller. Dissertation an der Universität Augsburg, 2021.
- [6] Epple, T.; Friedmann, A.; Wetzel, K. F.: Der Lebenszyklus der Nase (*Chondrostoma nasus*) vor und nach dem Bau von Kraftwerksanlagen in der mittleren Iller. Die Nase (*Chondrostoma nasus*) - Fisch des Jahres 2020. Deutscher Angelfischer-Verband e. V., 2020.
- [7] Epple, T.; Born, O.; Wetzel, K. F.; Friedmann, A.: Ein Konzept zur Förderung potamodromer Fischarten in staugeprägten Flüssen des Donau-einzugsgebiets am Beispiel der mittleren Iller. In: Hydrologie & Wasserbewirtschaftung 65 (2021), Heft 4, S. 156-179.
- [8] Epple, T.; Friedmann, A.; Wetzel, K. F.; Born, O.; Müller, G.: The migration of four salmonid species through fish bypass channels depending on environmental factors. In: Environmental Biology of Fishes 105 (2022), No. 12, S. 2 099-2 117.
- [9] Epple, T.; Born, O.; Wetzel, K. F.; Friedmann, A.: ISOBEL-Lebensraumfunktion von Fischaufstiegsanlagen und Auswirkung der Revitalisierungsmaßnahmen auf die Fischfauna. In: Wasserwirtschaft 112 (2022), Heft 2-3, S. 33-39.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2549-3>

Tobias Epple, Oliver Born, Olav König, Hendrik Engelsing, Karl-Friedrich Wetzel and Sebastian Blaß

Results from the Iller-Strategy on fish migration and habitat design: Insights for future pathways towards good ecological status or potential

The middle section of the Iller River between Altusried and Lautrach (Germany) is characterized by intensive anthropogenic use. A combination of various river restoration measures, including near-natural fish passages and gravel augmentation, demonstrated positive effects. Fish populations and macrozoobenthos particularly benefited from these interventions. However, the construction of fish passages alone proved insufficient in heavily modified river sections to elicit positive impacts on the biocoenosis. A holistic approach, integrating measures in both the main river channel and tributaries, is necessary to sustainably enhance the ecological potential of the river system.

 Springer Professional

Iller



Wetzel, K.-F. et al.: Empfehlungen zum Geschiebemanagement in Staustufenketten am Beispiel der Iller. In: Wasserwirtschaft, Ausgabe 2-3/2022. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. <https://sn.pub/u44ele>

Klocke, R.: Systemischer Ansatz zum Kiesmanagement zur Schaffung von Laichhabitaten am Beispiel der Illerstaufen. In: Wasserwirtschaft, Ausgabe 2-3/2022. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2022. <https://sn.pub/w6vzn3>

Der Sensorfisch - eine innovative Methode zur Abschätzung des Schädigungsrisikos von Fischen an Wasserkraftanlagen

Der Sensorfisch ist ein innovatives Messinstrument, das die physikalischen Belastungen für Fische bei der Passage von Wasserkraftanlagen unter realen Betriebsbedingungen aufzeichnen kann. Kollisionen, Druckveränderungen, Scherkräfte und Turbulenzen, die in Turbinen oder alternativen Abstiegskorridoren auftreten, können während des laufenden Betriebs gemessen und quantifiziert werden. Aus den Sensorfisch-Daten lassen sich weniger schädliche Turbinentypen, Betriebsmodi und alternative Abstiegskorridore für flussabwärts wandernde Fische identifizieren, was zu einer Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen beitragen kann.

Josef Knott, Joachim Pander und Jürgen Geist

1 Hintergrund

Weltweit werden große Anstrengungen unternommen, um die Nutzung der Wasserkraft auszubauen und verschiedene Klima- und Energieziele, wie die Reduktion von Treibhausgasemissionen und die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien, zu erreichen. Neben diesem „grünen“ Aspekt der Wasserkraft als erneuerbare Energieform führt der Ausbau der Wasserkraft jedoch - zusammen mit anderen Stressoren wie dem Klimawandel oder Landnutzungsänderungen - zu einem zunehmenden Druck auf Fließgewässerökosysteme [1]. Für eine zukünftige nachhaltige Entwicklung der Wasserkraftnutzung ist es daher entscheidend, die negativen Umweltauswirkungen für Gewässerorganismen zu minimieren. Dies kann durch die Entwicklung innovativer Turbinentechnologien und Kraftwerkskon-

zepte, die Optimierung des Betriebs und die Installation gut funktionierender alternativer Abstiegskorridore erfolgen [2], [3].

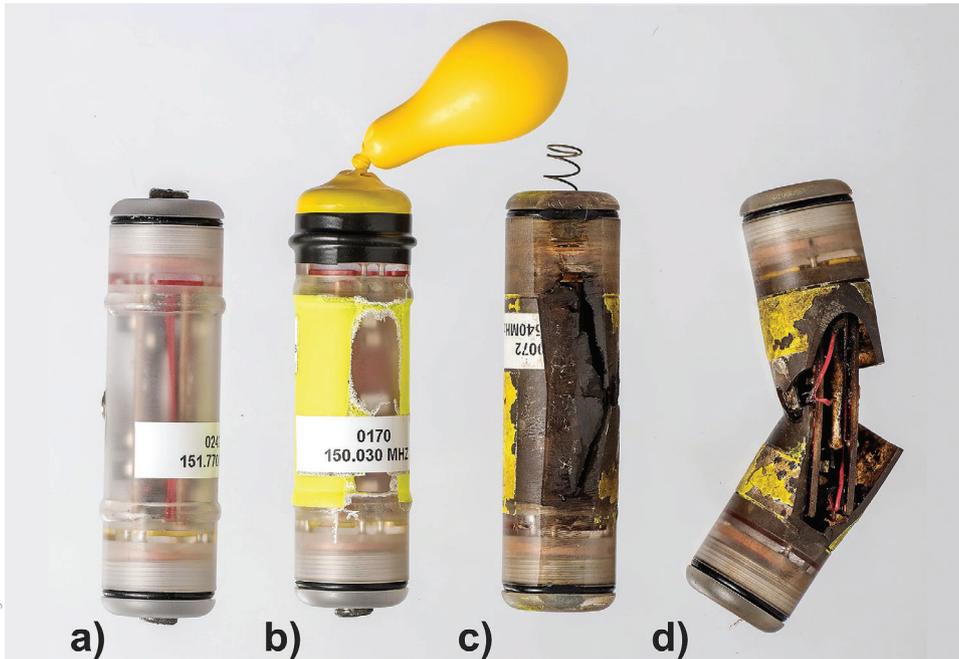
Während der Turbinenpassage sind insbesondere Fische verschiedenen hydraulischen und physikalischen Kräften ausgesetzt, die zu schwerwiegenden äußeren und inneren Verletzungen bis zum Tod führen können [4], [5]. Kenntnisse über das Auftreten und die Schwere physikalischer und hydraulischer Kräfte, denen Fische beim Passieren verschiedener Turbinentypen ausgesetzt sind, können daher einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen leisten [1]. Derzeit gibt es viele Bemühungen, die negativen ökologischen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung durch die Entwicklung neuer Kraftwerkskonzepte und Turbinentechnologien zu verringern. Diese sollen beispielsweise das Risiko von Kollisionen mit den Laufradschaufeln, Scherkräften und Schädigungen durch rasche Druckveränderungen, sogenannte Barotraumata, für Fische bei der Turbinenpassage senken und die ökologische Durchgängigkeit flussabwärts verbessern [6].

Um zu bewerten, ob beispielsweise der Einbau einer innovativen Turbine zu ökologischen Verbesserungen führt, ist es daher notwendig, zu verstehen, welchen physikalischen Kräften Fische beim Passieren ausgesetzt sind und wie hoch das daraus resultierende Verletzungs- und Mortalitätsrisiko ist. Solche Untersuchungen können entweder durch Tierversuche mit lebenden Fischen [3], Modellierungen [7] oder auch durch In-situ-Messungen mit einem autonomen Sensor, dem sogenannten Sensorfisch, durchgeführt werden [8].

Modellierungsansätze werden oft genutzt, um das Schädigungsrisiko von Fischen bei der Turbinenpassage abzuschätzen, da sie kostengünstig und flexibel auf verschiedene Wasserkraftstandorte angewendet werden können. Aktuelle Modellierungsansätze basieren jedoch primär auf Modellen, die das Risiko eines Laufradtreffers abschätzen und dadurch zwar kollisionsbedingte Verletzungen gut beschreiben [7], jedoch andere

Kompakt

- Der Sensorfisch wurde bereits in mehreren wissenschaftlichen Studien weltweit erfolgreich eingesetzt, um physikalische und hydraulische Belastungen für Fische an Wasserkraftanlagen zu quantifizieren.
- Im Gegensatz zu Tierversuchen benötigen Untersuchungen mit dem Sensorfisch keine spezielle Genehmigung und ermöglichen einen standardisierten Vergleich zwischen unterschiedlichen Betriebsweisen, Turbinentypen und Wasserkraftanlagen.
- Sensorfisch-Daten können weniger schädliche Turbinentypen, Betriebsmodi und alternative Abstiegskorridore für flussabwärts wandernde Fische identifizieren und so den Fischschutz an Wasserkraftanlagen verbessern.


Bild 1:

a) Fabrikneuer Sensorfisch, b) Sensorfisch mit angebrachtem gelbem Auftriebskörper, c) und d) während der Turbinenpassage zerstörte Sensorfische

Effekte, wie Barotrauma oder Scherkräfte, nicht oder unzureichend berücksichtigen. Da neben direkten Laufradtreffern aber auch andere Strukturen bei der Turbinenpassage, wie z. B. Leitapparat, Leitbleche, hervorstehende Kanten bzw. Betonbauteile, zu Verletzungen und Mortalität bei Fischen führen können, wird die Gesamtschädigungsrate in Modellen meist unterschätzt. Hinzu kommt, dass artspezifische Toleranzgrenzen von Fischen gegenüber mechanischen Belastungen dabei weitgehend außer Acht gelassen werden.

Im Gegensatz dazu haben Versuche mit lebenden Fischen den Vorteil, dass art- und größenspezifische Verletzungsmuster und Mortalitätsraten realistisch erfasst werden können. Entsprechende Versuche mit lebenden Fischen sollten allerdings gemäß des 3-R-Prinzips (Replacement, Reduction, Refinement) möglichst minimiert werden und sind zudem sehr arbeits- und kostenintensiv. Außerdem ist eine spezielle Tierversuchsgenehmigung erforderlich, deren Beantragung und Genehmigung ebenfalls sehr aufwändig ist und spezielle Qualifikationen erfordert, die meist nur an wenigen Einrichtungen vorhanden sind. Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass standardisierte Lebendfischversuche aus technischen Gründen nicht uneingeschränkt an jedem Standort durchgeführt werden können. Beispielsweise können die bauliche Ausgestaltung oder hohe Abfluss- und Treibgutmengen den Wiederfang von Fischen nach der Turbinen- oder Wehrpassage mittels Fangnetzen erschweren bzw. unmöglich machen.

Für den Einsatz des Sensorfisches gibt es hingegen keine derartigen Restriktionen. Ein weiterer Vorteil von Untersuchungen mit dem Sensorfisch liegt darin, dass die während der Turbinenpassage oder der Passage alternativer Abstiegskorridore auftretenden physikalischen Kräfte unter realen Betriebsbedingungen aufgezeichnet werden können. Kollisionen, Druckveränderungen, Scherkräfte und Turbulenzen können während des laufenden Betriebs gemessen und quantifiziert werden. Durch Ver-

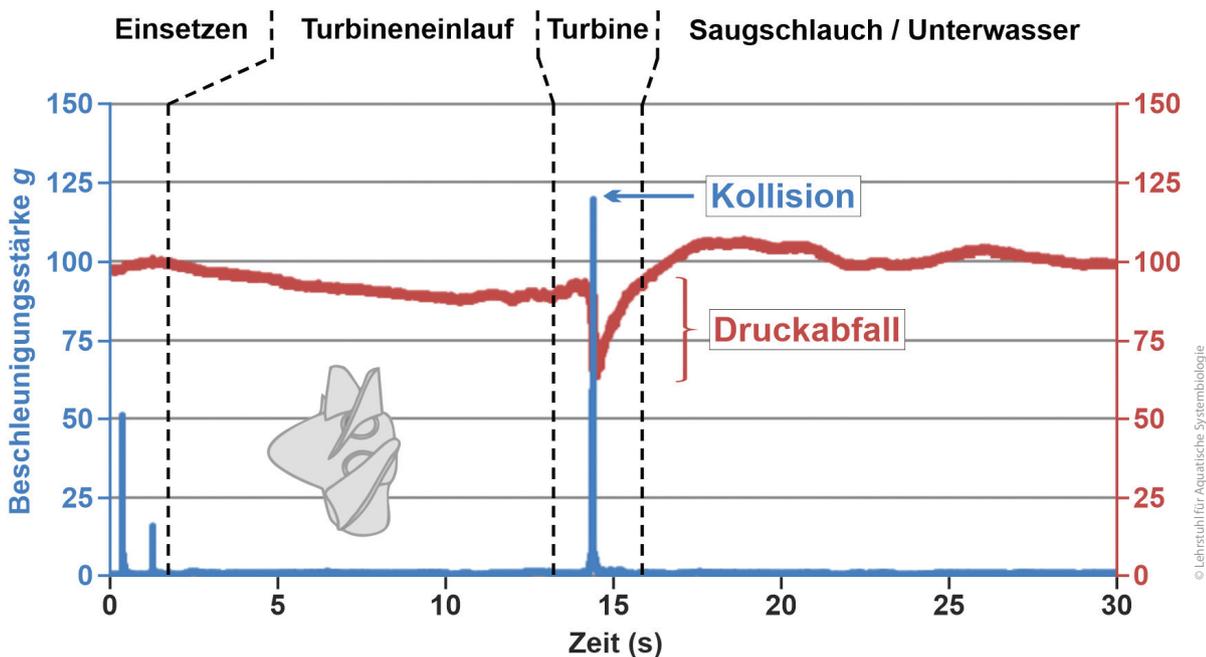
knüpfung der Sensorfisch-Daten mit den Ergebnissen verschiedener Laborstudien, die die Toleranzgrenzen verschiedener Fischarten gegenüber physikalischen Stressoren ermittelt haben, können Rückschlüsse auf die potenziellen Auswirkungen der Turbinenpassage oder der Passage alternativer Abstiegskorridore auf Fische gezogen und mit anderen Situationen (z. B. andere Turbinentypen oder Betriebsweisen) verglichen werden.

2 Der Sensorfisch

2.1 Anwendungsgebiet

Das Anwendungsgebiet des Sensorfisches ist nicht beschränkt auf die Messung der physikalischen Bedingungen bei der Passage verschiedener Typen von Turbinen (z. B. Kaplan-Turbine, VLH-Turbine, Wasserkraftschnecke, hydrokinetische Turbine). Der Sensorfisch kann auch an alternativen Abstiegskorridoren eingesetzt werden, um potenzielle Gefahrenquellen für den Fischabstieg zu identifizieren. Dies beinhaltet unter anderem den Einsatz an Wehranlagen, oberflächen- und sohlennahen Bypässen, überströmten und unterschlächtigen Schützen, Spülrinnen, rauen Rampen oder sonstigen Abstiegs-einrichtungen. Weiterhin kann der Sensorfisch beispielsweise auch an Bewässerungsanlagen oder Pumpwerken eingesetzt werden.

Der Sensorfisch wurde bereits erfolgreich an mehreren Wasserkraftanlagen mit Kaplan- und Francis-Turbinen und großen Fallhöhen in Nordamerika und Südostasien verwendet [9], [10]. Im Gegensatz dazu wurden kleinere Wasserkraftanlagen mit Fallhöhen <10 m bisher nur selten untersucht [2], [11]. Da sich der zukünftige Ausbau und die Modernisierung der Wasserkraftnutzung in Mitteleuropa zunehmend auf zahlreiche kleine Anlagen konzentrieren wird, besteht ein dringender Bedarf, deren ökologische Auswirkungen besser zu erforschen, um Ver-



© Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie

Bild 2: Beispiel eines typischen Druck- und Beschleunigungsprofils, das mit dem Sensorfisch bei der Passage einer horizontalen Kaplan-Rohrturbine gemessen wurde: Die Spitzenausschläge der blauen Linie (Beschleunigung) zeigen Kollisionsereignisse an, die der roten Linie (Druck) Dekompressionsereignisse; die Beschleunigung wird als Faktor der Erdbeschleunigung g angegeben

besserungspotenziale zu erkennen und negative Umweltauswirkungen zu minimieren.

2.2 Eigenschaften

Der Sensorfisch (Modell ARC800, Advanced Telemetry Systems, Inc., Isanti, MN, USA) hat einen Durchmesser von 25 mm und eine Länge von 90 mm (**Bild 1a**). Er wiegt 43 g, hat eine Dichte von $1,01 \text{ mg/mm}^3$ und schwimmt im Süßwasser nahezu frei in der Wassersäule. Die Sensoren im Gerät messen die lineare Beschleunigung in drei Richtungen (hoch-runter, vor-zurück, seitwärts), die Geschwindigkeit in drei Winkelrichtungen (schwanken, drehen, gieren) sowie den absoluten Druck und die Temperatur. Der Sensorfisch verfügt über einen internen Akku und einen internen Flash-Speicher, welcher während der Aufnahmezeit von bis zu fünf Minuten 2 048 Messwerte pro Sekunde für jeden einzelnen Parameter aufzeichnen kann.

Durch das Abwerfen von zwei umweltfreundlichen Gewichten schwimmt der Sensorfisch am Ende eines Versuchsdurchgangs wieder automatisch an die Wasseroberfläche, um ihn bergen zu können. Ein integrierter Radiotelemetrie-Sender, der geortet werden kann, und ein zusätzlich angebrachter aufblasbarer Auftriebskörper (**Bild 1b**) erleichtern das Wiederfinden der Sensorfische nach der Turbinenpassage bzw. der Passage anderer Korridore. Nach der Bergung des Sensorfisches können die erhobenen Daten auf einen PC übertragen und analysiert werden. Die Analyse dieser Daten lässt Rückschlüsse auf den Weg des Sensorfisches durch den jeweiligen Korridor zu. Aus den aufgezeichneten Daten lassen sich mögliche signifikante Ereignisse, wie Druckveränderungen, Kollisionen, Scherkräfte und Turbulenzen, identifizieren.

2.3 Datenauswertung

Die generierten Druck- und Beschleunigungsdaten werden mittels spezieller Software (Hydropower Biological Evaluation Toolset, PNNL, Richland, WA, USA) [12] in Datenprofilen ausgewertet (**Bild 2**). Diese Datenprofile werden, je nach Zone in der sich der Sensorfisch während der Kraftwerkspassage aufhielt, in verschiedene Segmente unterteilt. Bei einer Turbinenpassage werden dabei beispielsweise folgende Zonen unterschieden: Turbineneinlauf, Turbine (Leitapparat- und Laufradpassage), Saugschlauch/Unterwasser.

Wenn der Sensorfisch mit harten Oberflächen kollidiert oder starken Scherkräften ausgesetzt ist, zeigt sich ein hoher Amplitudenausschlag in den zeitlichen Aufzeichnungen der Beschleunigungs- und Rotationsgeschwindigkeitsdaten. Die Intensität eines Ereignisses wird als leicht ($25 \text{ g} \leq |a| \leq 50 \text{ g}$), mittel ($50 \text{ g} < |a| \leq 95 \text{ g}$) und schwer ($|a| > 95 \text{ g}$) eingestuft [12]. Kollisions- und Scherereignisse werden danach unterschieden, dass ein Kollisionsereignis einen wesentlich geringeren/schmaleren Spitzenausschlag in der Beschleunigung und der Rotationsgeschwindigkeit erzeugt als ein Scherereignis [8]. Die Dauer des Spitzenausschlags ist definiert als die Dauer der Beschleunigung innerhalb von 70 % des Spitzenwerts sowie folgender Bedingungen für Kollisions- und Scherereignisse:

- 1) das Ereignis ist eine Kollision, wenn der Spitzenwert kürzer als 0,0075 Sekunden andauert;
- 2) das Ereignis wird durch Scherkräfte verursacht, wenn der Spitzenwert länger als 0,0075 Sekunden andauert.

Für die Auswertung der Druckdaten werden Dekompressionsraten (= Druckabfall pro Zeiteinheit in kPa/s) und das Verhältnis des niedrigsten Drucks während der Passage (Nadir-Druck)

zum Akklimatisierungsdruck unmittelbar vor der Passage einer Turbine oder eines anderen Korridors berechnet (= Druckveränderungsrate). Zudem werden die Rotationsgeschwindigkeiten während der Passage als Maß für auftretende Turbulenzen ausgewertet.

Bei der Interpretation der potenziellen Auswirkungen physikalischer Stressoren auf Fische sollte jedoch berücksichtigt werden, dass die Toleranzgrenzen für Kollisionsereignisse, Scherkräfte und Druckänderungen für in Mitteleuropa heimische Fischarten noch nicht bekannt sind und daher weitere Forschung erforderlich ist. Derzeit können nur Ergebnisse aus Laborexperimenten mit nordamerikanischen, australischen und brasilianischen Fischarten verwendet werden. Es muss auch berücksichtigt werden, dass der Sensorfisch nicht genau die gleichen Eigenschaften wie ein lebender Fisch hat (z. B. keine aktive Bewegung) und sich auch bzgl. Form und Viskosität von echten Fischen unterscheidet. Die gemessenen Werte sind daher nicht vollständig auf Fische übertragbar und müssen dementsprechend vorsichtig interpretiert werden, wenn es darum geht, potenzielle Verletzungen und Mortalität bei Fischen abzuschätzen.

3 Fazit

Der Einsatz von Sensorfischen zur Charakterisierung der physikalischen Kräfte während der Passage von Turbinen und alternativen Bypassen kann ein wertvolles Instrument für die Bewertung der potenziellen Auswirkungen von Wasserkraftanlagen oder anderen Strukturen auf flussabwärts passierende Fische sein. Kollisionen, Druckveränderungen, Scherkräfte und Turbulenzen, die in Turbinen oder alternativen Abstiegskorridoren auftreten, können während des laufenden Betriebs gemessen und quantifiziert werden, was einen standardisierten Vergleich zwischen unterschiedlichen Betriebsweisen, Turbinentypen und Wasserkraftanlagen ermöglicht. Auch die Vermeidung und der

Josef Knott, Joachim Pander and Jürgen Geist

The sensor fish - an innovative method for assessing the injury risk of fish at hydropower plants

The sensor fish is an innovative measuring device that can record the physical forces experienced by fish during hydropower plant passage under real operating conditions. Collision events, pressure changes, shear forces and turbulence that occur in turbines or alternative bypasses can be measured and quantified during operation. This enables a standardized comparison between different operation modes, turbine types and hydropower plants. By linking the sensor fish data with the tolerance levels of different fish species to physical stressors, conclusions can be drawn regarding the potential effects of turbine or bypass passage on fish. This enables the identification of less harmful turbine types, operation modes and alternative bypasses for downstream passing fish, which can contribute to improving fish protection at hydropower plants. However, when interpreting the potential effects of physical stressors on fish, it must be considered that the tolerance levels for strike, decompression and shear forces for species native to Central Europe are not yet established and further research is consequently required.

Ersatz von Tierversuchen gemäß den Zielen des 3-R-Prinzips durch den Einsatz von Sensorfischen anstatt von lebenden Versuchsfischen verringern Kontroversen erheblich, erhöhen die Geschwindigkeit solcher Bewertungen und die Verfügbarkeit von wichtigen Umweltdaten.

Autoren

Dr. rer. nat. Josef Knott

Dr. rer. nat. Joachim Pander

Univ. Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Geist

Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie

Technische Universität München

Mühlenweg 22

85354 Freising

joesef.knott@tum.de

joachim.pander@tum.de

geist@tum.de

Literatur

- [1] Geist, J.: Green or red: Challenges for fish and freshwater biodiversity conservation related to hydropower. In: *Aquat. Conserv.* 31 (2021), S. 1 551-1 558 (doi.org/10.1002/aqc.3597).
- [2] Knott, J.; Mueller, M.; Pander, J.; Geist, J.: Ecological assessment of the world's first shaft hydropower plant. *Renew. Sustain. In: Energy Rev.* 187 (2023), 113 727 (doi.org/10.1016/j.rser.2023.113727).
- [3] Mueller, M.; Knott, J.; Pander, J.; Geist, J.: Experimental comparison of fish mortality and injuries at innovative and conventional small hydropower plants. In: *J. Appl. Ecol.* 59 (2022), S. 2 360-2 372 (doi.org/10.1111/1365-2664.14236).
- [4] Mueller, M.; Pander, J.; Geist, J.: Evaluation of external fish injury caused by hydropower plants based on a novel field-based protocol. In: *Fish. Manag. Ecol.* 24 (2017), S. 240-255 (doi.org/10.1111/fme.12229).
- [5] Mueller, M.; Sternecker, K.; Milz, S.; Geist, J.: Assessing turbine passage effects on internal fish injury and delayed mortality using X-ray imaging. In: *PeerJ* 8 (2020), e9977 (doi.org/10.7717/peerj.9977).
- [6] Hogan, T. W.; Cada, G. F.; Amaral, S. V.: The status of environmentally enhanced hydropower turbines. In: *Fisheries* 39 (2014), S. 164-172 (doi.org/10.1080/03632415.2014.897195).
- [7] Deng, Z.; Carlson, T. J.; Dauble, D. D.; Ploskey, G. R.: Fish passage assessment of an advanced hydropower turbine and conventional turbine using blade-strike modeling. In: *Energies* 4 (2011), S. 57-67 (doi.org/10.3390/en4010057).
- [8] Deng, Z.; Carlson, T. J.; Richmond, M. C.: Six-degree-of-freedom sensor fish design and instrumentation. In: *Sensors* 7 (2007), S. 3 399-3 415 (doi.org/10.3390/s7123399).
- [9] Martinez, J. J.; Deng, Z. D.; Titzler, P. S.; Duncan, J. P.; Lu, J.; Mueller, R. P.; Tian, C.; Trumbo, B. A.; Ahmann, M. L.; Renholds, J. F.: Hydraulic and biological characterization of a large Kaplan turbine. In: *Renew. Energy* 131 (2019), S. 240-249 (doi.org/10.1016/j.renene.2018.07.034).
- [10] Romero-Gomez, P.; Poomchaivej, T.; Razdan, R.; Robinson, W.; Peyreder, R.; Raeder, M.; Baumgartner, L. J.: Sensor fish deployments at the Xaya-buri hydropower plant: Measurements and simulations. In: *Water* 16 (2024), 775 (doi.org/10.3390/w16050775).
- [11] Boys, C. A.; Pflugrath, B. D.; Mueller, M.; Pander, J.; Deng, Z. D.; Geist, J.: Physical and hydraulic forces experienced by fish passing through three different low-head hydropower turbines. In: *Mar. Freshw. Res.* 69 (2018), S. 1 934-1 944 (doi.org/10.1071/MF18100).
- [12] Hou, H.; Deng, Z. D.; Martinez, J. J.; Fu, T.; Duncan, J. P.; Johnson, G. E.; Lu, J.; Skalski, J. R.; Townsend, R. L.; Tan, L.: A hydropower biological evaluation toolset (HBET) for characterizing hydraulic conditions and impacts of hydro-structures on fish. In: *Energies* 11 (2018), 990 (doi.org/10.3390/en11040990).

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2562-6>

Barotrauma von Larven und Jungfischen bei der Turbinenpassage

Mittels einer eigens konstruierten Barotraumakammer wurden unterschiedliche Larven- und Jungfischstadien repräsentativer europäischer Flussfischarten (Äsche, Flussbarsch, Nase, Rotaugen) systematisch Druckverläufen ausgesetzt, welche in Turbinen von Laufwasserkraftwerken vorherrschen. Es wurden deutliche art- und stadienspezifische Unterschiede in den Mortalitätsraten festgestellt, wobei vor allem der Entwicklungsstatus und Typ der Schwimmblase einen wesentlichen Einfluss auf die Schädigungen unterschiedlicher Größenklassen und Arten hatte.

Andreas Zitek, Wolfgang Gessl, Peter Mehlmaier, Clemens Ratschan, Maximilian Zauner und Josef Schneider

1 Einleitung

Das Barotrauma stellt für Fische neben dem direkten Kontakt mit den Schaufelblättern einer Turbine eines Laufkraftwerkes (Blade-Strike) die Hauptursache von Schädigungen im Zuge einer flussabwärts gerichteten Turbinenpassage dar [1]. Barotraumaschäden werden dabei durch das abrupte Ausdehnen der Schwimmblase bei der Durchwanderung der Turbinen durch eine plötzliche Druckentlastung verursacht. Der niedrigste auftretende Druck wird hierbei als Nadir bezeichnet. Ausschlaggebend für den Grad der Schädigungen ist das Verhältnis zwischen dem Ausgangsdruck, an den sich die Fische entsprechend der Aufenthaltstiefe im Wasser akklimatisiert haben (101 kPa an der Wasseroberfläche bzw. Erhöhung um ca. 10 kPa pro m Wassertiefe) und dem direkt unterwasserseitig der Turbine auftretenden Nadir, da dies die Ausdehnung der Schwimmblase bestimmt.

Typische Schädigungen, die durch Barotrauma entstehen können, sind innere Blutungen, geplatzte Schwimmblasen, Exophthalmie (herausgestülpte Schwimmblase und Augen), aus dem Schlund austretendes Blut oder Gallenflüssigkeit sowie Gasblasen (Embolien) in den Kiemen und Flossen [1].

Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass bei unterschiedlichen Fischarten aufgrund ihrer Physiologie, im speziellen des Baues ihrer Schwimmblase, unterschiedlich große Schädigungswahrscheinlichkeiten anzunehmen sind. Hier ist vor allem die Unterscheidung zwischen sogenannten Physoclisten und Phy-

sostoma zu beachten [1]. Physoclisten, wie zum Beispiel Barschartige, wie Zander *Sander lucioperca* und Flussbarsch *Perca fluviatilis*, aber auch die Aalrutte *Lota lota*, können den Druckausgleich ihrer Schwimmblase über das Blutsystem nur langsam durchführen. Physostoma hingegen besitzen eine Verbindung zwischen Schwimmblase und Speiseröhre, den sog. Ductus pneumaticus, über den grundsätzlich Druckunterschiede ausgeglichen werden können. Darunter fallen Karpfenartige, wie Nase *Chondrostoma nasus*, Barbe *Barbus barbus* und Salmoniden, wie die Äsche *Thymallus thymallus*, der Huchen *Hucho hucho* und die Forelle *Salmo trutta*. Auch stadienspezifische Unterschiede in den Schädigungsraten sind bekannt bzw. erwartbar.

Aktuelle systematische Studien zu Barotrauma bei Süßwasserfischen unter Verwendung fortschrittlicher Barotraumakammern sind bisher nur für Arten aus Australien und den USA bekannt [2], [3]. Bezüglich typischer europäischer Fischarten fehlen bisher Informationen zu druckänderungsbedingten Schädigungen bei der Turbinenpassage praktisch vollständig. Lediglich vereinzelte liegen systematische Studien zu vergleichbaren Arten, wie der Karausche *Carassius carassius* (Physostom) [4], vor. Druckänderungsbedingte Schädigungen in größerem Ausmaß sind z. B. auch für ca. 50 mm große Flussbarsche bei Freilanduntersuchungen dokumentiert [5].

Ziel der Barotrauma-Untersuchungen im Rahmen eines großen Forschungsprojektes über Auswirkungen von Turbinen auf Gesamtfischpopulationen war es, Schädigungen von Larven und Jungfischen ausgewählter repräsentativer europäischer Fischarten beim Turbinendurchgang mittels der Simulation der beim Durchtritt erfahrenen Druckänderungen in einer Barotraumakammer experimentell festzustellen.

2 Methodik

2.1 Versuchsaufbau und Barotraumakammer

Die Untersuchungen wurden im Rahmen eines genehmigten Tierversuches (BMBWF-68.210/0007-V/3b/2018) mittels einer eigens entwickelten Barotraumakammer [6] zwischen 20.05.2020 und 24.6.2021 an der TU Graz durchgeführt.

Kompakt

- Die Untersuchung der Effekte von Barotrauma auf Larven und Jungfische erfolgte mittels Barotraumakammer.
- Schädigungen bei oberflächenadaptierten Fischen sind ab einem Nadir 50 kPa festzustellen.
- Es sind deutliche art- und stadienspezifische Unterschiede in den Mortalitätsraten beeinflusst durch Entwicklungsstatus und Typ der Schwimmblase festzustellen.

2.2 Untersuchte Fischarten und Stadien

Aufgrund des unterschiedlichen Baues der Schwimmblase und der bekannten Driftneigung unterschiedlicher Stadien wurden Versuche für folgende Arten und Stadien durchgeführt:

- Äsche (L1/L2, 0+),
- Nase (L1, 0+),
- Rotauge (L6/J1, 0+) und
- Flussbarsch (L1/L2, L6/J1, 0+).

Dabei handelte es sich bei L um Larvenstadien, bei J um frühe Juvenilstadien, und bei 0+ um Jungfische im Herbst des ersten Lebensjahres.

2.3 Vorversuche Feststellung Betäubungsmittelkonzentration

Im Zuge der Betäubungsversuche wurde jene Menge MS 222 in mg/l festgestellt, bei der die Fische Phase III Stufe 2 (tiefe Anästhesie für chirurgische Eingriffe, keine Reaktion auf Schmerz, flache regelmäßige Kiemenbewegung) [7] in weniger als drei Minuten erreichten. Danach sollten die Fische acht Minuten in Betäubung verbleiben und nach dieser Zeit wieder in weniger als zehn Minuten aufwachen. Zusätzlich wurde das Überleben nach 24 h bewertet. Es wurden je zwei Replikate mit jeweils fünf Fischen pro Versuch für unterschiedliche Stadien der vier Arten durchgeführt.

2.4 Allgemeine Beschreibung der Versuchsabläufe

Die benötigte Zahl von Larven und Jungfischen wurde für die Versuche mittels Messbecher (Larven) bzw. Netz (Jungfische) in einen (Larven) bzw. mehrere (Jungfische) Plexiglaszylinder (Durchmesser und Länge ca. 12,5 x 20 cm) überführt, die mit einem feinmaschigen Netz (ca. 250 µm) bespannt waren. Diese wurden dann in die Barotraumakammer eingebracht, in welcher sich Wasser mit der entsprechenden Konzentration an Betäubungsmittel befand. Zur Feststellung einer möglichen Schädigung durch das Handling wurde eine Kontrollgruppe genauso behandelt wie die beiden Versuchsgruppen, allerdings ohne Applikation des Druckverlaufes. Nach der Entnahme der Zylinder und nach rund zehn Minuten Aufwachzeit wurden die Versuchs- und Kontrollfische auf Schäden untersucht. Dabei wurden in einem ersten Schritt

- a) die eindeutig toten Fische (reg- und reaktionslos an der Oberfläche oder am Boden) und
- b) offensichtlich geschädigte Fische mit deutlich auffälligem Verhalten entnommen, schmerzfrei mit MS 222 getötet und unter dem Mikroskop auf Schädigungen untersucht.

Sowohl Versuchs- als auch Kontrollfische mit normalem Schwimmverhalten, wurden als offensichtlich nicht geschädigte Tiere betrachtet und zur 24-h-Nachhälterung in einer mit frischem Wasser durchströmten Langstromrinne (Larven) bzw. Rundbecken (Jungfische) gehältert. Der Zustand der Fische wurde regelmäßig kontrolliert und nach Ablauf der 24 h wurde die Anzahl der weiteren toten bzw. auffälligen Individuen gezählt und die verbleibenden Fische wurden mit MS 222 getötet. Nach dem Töten der Fische erfolgte immer eine sofortige Untersuchung der nachgehälterten Fische auf etwaige sichtbare Verletzungen unter dem Mikroskop sowie deren fotografische Dokumentation.

2.5 Vorversuche Auswirkungen Betäubungsmittel

Um mögliche Auswirkungen der Betäubung auf das Ergebnis festzustellen, wurden für Flussbarsche (L1/L2, L4, 0+), Äsche (L1/L2, 0+) und Rotauge (0+) Vorversuche mit betäubten und unbetäubten Fischen (jeweils n = 70) durchgeführt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels Fisher's exaktem Test bei einer Power von 80 %.

2.6 Hauptversuche

Für die Hauptversuche wurden jeweils zehn Fische Druckverläufen mit Nadiren von 101 kPa (Kontrolle), 60 kPa, 40 kPa, 30 kPa und 15 kPa ausgesetzt, wobei je Druckverlauf und Art-Stadium drei Versuche durchgeführt wurden.

2.7 Akklimatisationsversuche

Für die Akklimatisationsversuche wurden jeweils 70 Stück (0+)-Individuen von Äsche, Nase, Rotaugen und Flussbarsche über eine Dauer zwischen 18 und 24 h auf einen Druck von 15 m Tiefe (251 kPa) akklimatisiert. Danach erfolgte die plötzliche Entlastung auf einen minimal erreichbaren Nadir oder eine langsame Entlastung auf Atmosphärendruck im Zuge von Kontrollversuchen.

2.8 Feststellung tödlich verletzter Fische

Um die Anzahl tödlich verletzter Fische festzustellen, wurden in einem ersten Schritt tote und auffällige Fische (direkt und im Zuge der Nachbeobachtungen bis 24 h) in der Gruppe „funktionell tot“ zusammengefasst. Um weitere mögliche, über die Nachbeobachtungsdauer von 24 h hinaus verzögert auftretende Mortalitäten aufgrund eindeutig erkennbarer Schädigungen bei lebenden und bis zu diesem Zeitpunkt nicht auffälligen Fischen zu berücksichtigen, wurde ein sog. „mortal-injury-metric“ berechnet [8]. Dabei geht es darum, jene Verletzungen bei den Versuchsfischen, welche einer Druckentlastung ausgesetzt waren (Haupt- und Vorversuche), zu identifizieren, die signifikant mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zum Tod oder zu eindeutig auffälligem Verhalten führen. Fische mit eindeutig geplatzten Schwimmblasen wurden immer als tödlich verletzt eingestuft.

2.9 Datenauswertung

Auf Basis der Hauptversuche wurden logarithmische, art- und stadienspezifische Dosis-Wirkungskurven zwischen Akklimatisationsdruck/Nadirdruck-Verhältnis und der Anzahl der tödlich verletzten Fische erstellt. Die Kontrollmortalität wurde dabei berücksichtigt.

2.10 Umlegung der Resultate auf Turbinenverhältnisse

Anhand der numerischen Partikelsimulationen (Simulation von ca. 5 000 Partikeln) für je ein Drau- und Murkraftwerk wurde die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten auftretenden Druckes in einer Turbine bei Voll- bzw. Teilauslastung berechnet [9] und mit der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer letalen Schädigung kombiniert, um so einen Prozentsatz der letztlich tödlich verletzten Fische zu berechnen. Die logistische Regression wurde dabei erst ab einem Nadir kleiner bzw. gleich 60 kPa angewendet, um eine Überschätzung der Werte im unteren Bereich der Funktion, die sich zwar mathematisch durch die Funktion, nicht aber in der Natur einstellen würden, zu vermeiden.

Tabelle 1: Vorversuch 1 - Feststellung der notwendigen MS-222-Konzentration für die untersuchten Arten und Stadien (Quelle: Zitek)

Art	Stadium	Konzentration [mg/l]	Beobachtungen während der Betäubung
Äsche	L1/L2	30 mg/l	Keine Auffälligkeiten
	0+	50 mg/l	Keine Auffälligkeiten
Nase	L1	20 mg/l	Keine Auffälligkeiten
	0+	40 mg/l	Unterschiedliche Betäubungstiefe, abhängig von der unterschiedlichen Größe der Jungfische
Flussbarsch	L1/L2	5 mg/l	Fische immer noch beweglich, bei höheren Konzentrationen jedoch bereits Mortalität
	L4	30 mg/l	Keine Auffälligkeiten
	L6/J1	40 mg/l	Keine Auffälligkeiten
	0+	90 mg/l	Keine Auffälligkeiten
Rotauge	L6/J1	50 mg/l	Keine Auffälligkeiten
	0+	65 mg/l	Keine Auffälligkeiten

3 Ergebnisse

3.1 Betäubungsmittelkonzentration

Die festgestellten optimalen Konzentrationen für eine Betäubung der untersuchten Stadien und Fischarten sind in **Tabelle 1** dargestellt. Bei L1/L2-Flussbarschen (5 mg/l) und (0+)-Nasen (40 mg/l) mussten aufgrund der Variabilität der Reaktion auf das Betäubungsmittel Konzentrationen gewählt werden, die zu keiner vollständigen Betäubung aller Individuen führten.

3.2 Auswirkungen des Betäubungsmittels (Vorversuche)

Anhand der durchgeführten Vorversuche mit Flussbarschen (L1, L4, 0+), Äschen (L1/L2, 0+) und Rotaugen (0+) wurde kein signifikanter Effekt der Betäubung auf die Resultate festgestellt.

3.3 Hauptversuche

In **Bild 1** sind alle Ergebnisse der Hauptversuche anhand der logistischen Regressionen zur Vorhersage der Schädigungswahrscheinlichkeiten im Vergleich zu den Werten des Königslachses (Chinook salmon) [10] dargestellt. Bei L1/L2-Äschen, die auf Atmosphärendruck akklimatisiert waren, wurden in den Hauptversuchen keine Ausfälle festgestellt. Bei den übrigen Arten trat 50 % Mortalität bei Ausgangsdruck/Nadir-Verhältnissen zwischen 2,7 (Nase L1 und 0+, Rotauge L6/J1) und 12,2 (Äsche 0+ und Flussbarsch L1/L2) auf.

3.4 Umlegung auf Turbinenverhältnisse

Die Prozentsätze tödlich verletzter Fische bei Umlegung der logistischen Regressionskurven auf die Turbinenbedingungen eines Drau-Kraftwerkes (bei Vollast 18,55 % der Datenpunkte

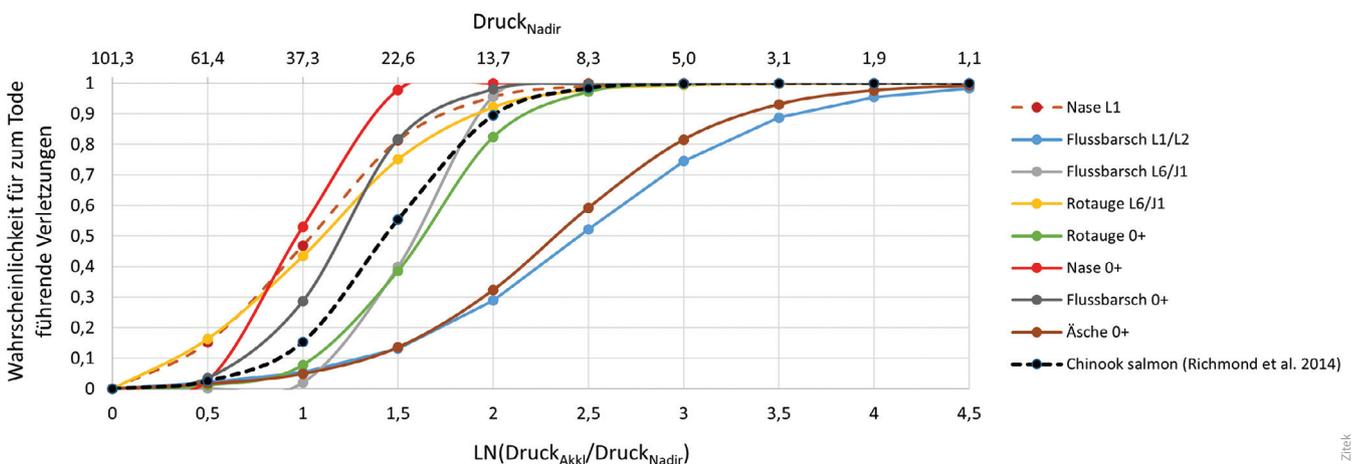


Bild 1: Zusammengefasste Darstellung der Schädigungswahrscheinlichkeiten aller untersuchten Fischarten und Stadien bei unterschiedlichen Nadir-Drücken in Bezug zu einer Akklimatisation auf Atmosphärendruck bzw. bei unterschiedlichen LN(A/N)-Werten im Vergleich zu den Werten des Chinook salmon [10]; bei L1/L2-Äschen, die auf Atmosphärendruck akklimatisiert waren, wurden keine Ausfälle festgestellt, weshalb auch keine Funktion dazu erstellt wurde

Tabelle 2: Zusammengefasste Darstellung der Modellparameter für die logistische Regression zur Berechnung der Schädigungswahrscheinlichkeiten $P(X) = \text{EXP}(b_0 + b_1 \cdot \text{LN}(\text{DruckAkk}/\text{DruckNadir}) / (1 + \text{EXP}(b_0 + b_1 \cdot \text{LN}(\text{DruckAkk}/\text{DruckNadir}))$ (Prozent Mortalität = % M) für Volllast (VL) und Teillast (TL) an einem Drau- und einem Mur-Kraftwerk bei nicht akklimatisierten Fischen gemäß der Hauptversuche; die Formel wurde erst ab einem Nadir ≤ 60 kPa (rund 0,5 LN(DruckAkk/DruckNadir)) zur Anwendung gebracht, um eine Überschätzung der Werte im unteren Bereich der Funktion zu vermeiden (Quelle: Zitek)

Kraftwerksstandort	Modellparameter		Drau-Kraftwerk		Mur-Kraftwerk	
	Art/Stadium	b0	b1	% M VL	% M TL	% M VL
Äsche L1/L2	Keine Ausfälle	0	0	0	0	0
Nase L1	-3,319	3,194	8,2	0,80	10,7	2,0
Flussbarsch L1/L2	-4,848	1,974	1,4	0,10	1,9	0,9
Flussbarsch L6/J1	-10,909	6,998	2,4	0,04	1,9	0,9
Rotaue L6/J1	-3,003	2,737	7,8	0,78	10,5	2,0
Rotaue 0+	-6,492	4,017	2,8	0,12	2,6	1,0
Nase 0+	-7,257	7,377	8,0	0,56	8,1	1,4
Äsche 0+	-5,182	2,222	1,4	0,09	1,9	0,9
Flussbarsch 0+	-5,720	4,806	5,9	0,36	5,9	1,3

Tabelle 3: Zusammengefasste Darstellung der Akklimatisationsversuche für (0+)-Individuen von Rotaue, Nase, Flussbarsch und Äsche, wobei für die Äsche die Versuche einmal betäubt und einmal unbetäubt durchgeführt wurden, unter Angabe des Akklimatisationsdruckes und des Wertes für das Ausgangsdruck/Nadir-Verhältnis (P(A/N)), sowie der anhand der Regressionsgleichung der Hauptversuche errechneten Schädigungsraten im Vergleich zu den tatsächlich im Zuge der Versuche festgestellten Schädigungsraten (Quelle: Zitek)

Art	Akk. Druck [kPa]	Nadir [kPa]	Druckentlastung	P (A/N)	% Schädigung berechnet	% Schädigung festgestellt
Rotaue 0+	251	44	schnell	5,7	62,3	79,0
Rotaue 0+	251	101,3	langsam	2,5	5,5	0,0
Nase 0+	251	29	schnell	8,7	100,0	100,0
Nase 0+	251	101,3	langsam	2,5	36,3	9,0
Flussbarsch 0+	251	15	schnell	16,7	100,0	100,0
Flussbarsch 0+	251	101,3	langsam	2,5	20,4	0,0
Äsche 0+ (betäubt)	251	44	schnell	5,7	21,2	90,0
Äsche 0+ (unbetäubt)	251	42	schnell	6,0	23,0	94,0
Äsche 0+	251	101,3	langsam	2,5	4,0	47,0

unter einem Nadir von 60 kPa, bei Teillast 2,69 %) bzw. eines Mur-Kraftwerkes (bei Volllast 32,61 % der Datenpunkte unter einem Nadir von 60 kPa, bei Teillast 5,64 %) sind in **Tabelle 2** dargestellt.

3.5 Akklimatisationsversuche

Die Ergebnisse der Akklimatisationsversuche sind in **Tabelle 3** dargestellt. Auffällig ist insbesondere das Resultat bei der Äsche. Während bei der Äsche in den Hauptversuchen durch die Druckentlastung keine Schädigungen festgestellt wurden, lagen die Werte tödlich verletzter Fische (v. a. durch geplatzte Schwimmblasen) bei tiefenakklimatisierten Fischen bei rund 90 %. Auch bei einer langsamen Entlastung auf Atmosphärendruck wiesen 47 % Fische tödliche Verletzungen auf.

4 Diskussion

Die Studie zeigte, dass die Empfindlichkeit von Fischlarven und Jungfischen gegenüber Barotrauma stark von Art und Entwicklungsstadium abhängt. Besonders gefährdet sind Stadien mit bereits ausgebildeter Schwimmblase, da diese bei schnellen Druckänderungen platzen kann. Larven ohne Schwimmblase (z. B. L1/L2-Äschen, L1/L2-Flussbarsche) sind dagegen weniger anfällig gegenüber Barotrauma. Unerwartet waren hohen Schädigungsraten für Cypriniden, da bisher bei diesen Arten von einer möglichen Entlastung der Schwimmblase durch den Ductus pneumaticus im Zuge der Turbinenpassage ausgegangen wurde. Dies lässt auf eine bisher unterschätzte Gefährdung von Arten aus dieser Familie - darunter häufig Leitarten in potama-

len Flüssen - durch Barotrauma schließen. Überraschend war auch, dass Äschen mit einem nachgewiesenen guten Druckausgleichssystem bei vorheriger Tiefenanpassung (Akklimation) stark geschädigt wurden, wobei auch bei langsamer Druckentlastung größere Anteile an Fischen mit geplatzter Schwimmblase festgestellt wurden. Letzteres bedeutet, dass zumindest ein Teil der Äschen zu langsamen Druckentlastungen nach einer Akklimation auf 15 m Tiefe in diesem Stadium physiologisch nicht in der Lage ist, was darauf hindeutet, dass diese evolutionäre Anpassung in natürlichen Gewässern vermutlich nicht notwendig war. Forschungsbedarf besteht daher generell hinsichtlich der genauen vertikalen Verteilung, Akklimation und des Anteils abwandernder Fische, um die langfristigen Auswirkungen Barotrauma-bedingter Schädigungen auf Populationsebene bewerten zu können.

Dank

Das Projekt „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich - Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den Fischschutz und Fischabstieg“ wurde über die Förderschiene Collective Research der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) finanziert (Projektnummer 857 801). Fördernehmer war Österreichs Energie und eine Co-Finanzierung erfolgte durch beteiligte Energieversorgungsunternehmen. An der Durchführung der Untersuchungen waren folgende Institutionen und Personen maßgeblich beteiligt: Normandeu Associates, Centre for Bio-robotics der Tallinn University of Technology, I AM HYDRO, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS) der Universität Stuttgart, Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen der TU Graz, Georg Fürnweger sowie der Tierarzt Dr. Oliver Hochwartner. An alle anderen beteiligten Institutionen und deren zahlreiche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die namentlich hier nicht erwähnt werden können, sei hiermit ein herzliches Dankeschön ausgesprochen.

Andreas Zitek, Wolfgang Gessl, Peter Mehlmauer, Clemens Ratschan, Maximilian Zauner and Josef Schneider

Barotrauma of larvae and juvenile fish during turbine passage

Using a specially constructed barotrauma chamber, different larval and juvenile stages of representative European river fish species (grayling, perch, nase, roach) were systematically exposed to pressure profiles common in hydropower turbines. Significant species- and stage-specific differences in damage rates were observed, with developmental stage and swim bladder type having a significant influence on the damage. Significant injuries of surface-adapted fish could be observed at nadirs below 50 kPa. Mortality rates determined for larvae and young-of-the-year fish ranged between 0% (grayling larval stage 1/2) and 8.2% (nase larval stage) at full turbine load with significantly lower mortalities at partial load.

Autoren

DI Dr. Andreas Zitek, M. Sc.

EcoScience
Alois-Czedik-Gasse ¾
1140 Wien, Österreich
andreas.zitek@ecoscience.at

Mag. Wolfgang Gessl

Tobisegg 215
8503 St. Josef, Österreich
gessl@pisces.at

Mag. Peter Mehlmauer

Grüne Gasse 35
8020 Graz, Österreich
petermehlmauer@hotmail.com

Mag. Clemens Ratschan

DI Maximilian Zauner
ezb-TB Zauner GmbH
Marktstrasse 35
4090 Engelhartzell, Österreich
ratschan@ezb-fluss.at
m.zauner@ezb-fluss.at

Assoc. Prof. DI Dr. Josef Schneider

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, TU Graz
Stremayrgasse 10
8010 Graz, Österreich
schneider@tugraz.at

Literatur

- [1] Brown, R. S.; Colotelo, A. H.; Pflugrath, B. C. et al.: Understanding barotrauma in fish passing hydro structures: a global strategy for sustainable development of water resources. In: *Fisheries* (2014), S. 39.
- [2] Miller, B.; Boys, C.: Design of specialist Barochambers for the study of Barotrauma. In: *11th International Symposium on Ecohydraulics* (2016), S. 440-447.
- [3] Brown, R. S.; Carlson, T. J.; Welch, A. E. et al.: Assessment of Barotrauma Resulting from Rapid Decompression of Depth Acclimated Juvenile Chinook Salmon Bearing Radio Telemetry Transmitters. *Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA, USA, 2007.*
- [4] Meng, L.; Xue, N. Z.; Liao, C. L. et al.: Assessment of injury and mortality from rapid decompression on crucian carps. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2018), No. 163, S. 012 075.
- [5] Barus, V.; Gajdusek, J.; Pavlov, D. S.; Nezdolij, V. K.: Downstream fish migration from two Czechoslovakian Reservoirs in Winter conditions. In: *Folia Zoologica* 33 (1984), Nr. 2, S. 167-181.
- [6] Schneider, J.; Haas, C.; Thumser, P. et al.: A Barotrauma Chamber for the Systematic Assessment of Barotrauma-Related Injuries in Potamodromous European Fish Species. In: *Journal of Ecohydraulics* (submitted).
- [7] Sneddon, L. U.: Clinical anesthesia and analgesia in fish. In: *Journal of Exotic Pet Medicine* 21 (2012), Nr. 1, S. 32-43.
- [8] McKinstry, C. A.; Carlson, T. J.; Brown, R. S.: Derivation of a mortal injury metric for studies of rapid decompression of depthacclimated physostomous fish. *Pacific Northwest National Laboratory: Richland, WA, USA, 2007.*
- [9] Benigni, H.; Schneider, J.; Reckendorfer, W. et al.: Numerical Simulation and Experimental Verification of Downstream Fish migration in a Bulb turbine. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (2022), 1 079 012 101 (doi.org/10.1088/1755-1315/1079/1/012101).
- [10] Richmond, M. C.; Serkowski, J. A.; Ebner, L. L. et al.: Quantifying barotrauma risk to juvenile fish during hydro-turbine passage. In: *Fisheries Research* 154 (2014), S. 152-164.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2551-9>

In-situ-Erhebung der Schädigung von Fischen beim Durchgang großer Kaplan-Turbinen

Schädigungen der heimischen Fischarten Aitel, Nase und Äsche bei der Turbinenpassage wurde mittels HI-Z-Tags an zwei mittelgroßen Laufkraftwerken untersucht. Bei juvenilen Fischen wurden Überlebensraten (48 h) zwischen 87 % und 94 % gefunden, bei den adulten Fischen zwischen 75 % und 90 %. Die geringeren Schädigungen am Murkraftwerk im Vergleich zum Draukraftwerk können plausibel durch eine geringere Zahl an Turbinenflügeln (vier statt fünf), eine geringere Fallhöhe und eine etwas langsamer laufende Turbine erklärt werden.

Clemens Ratschan, Cory Hoffman, Maximilian Zauner, Gerald Zauner, Andreas Zitek und Josef Schneider

1 Einleitung

Bei flussab gerichteten Wanderungen von Fischen in energie-wirtschaftlich genutzten Flüssen kommt es zur Passage von Wasserkraftanlagen. Wird dabei der Wanderkorridor durch Turbinen genutzt, so kann es durch verschiedene Mechanismen zu Schädigungen kommen. Diese betreffen einerseits mechanische Verletzungen („blade strike“ und „grinding“) und Druckänderungen (Barotrauma), umfassen aber auch weitere Auswirkungen etwa durch Scherkräfte und Turbulenz, Kavitation und Prä-dation im Unterwasser [1]. Speziell zu den durch mechanische Einflüsse auftretenden Schädigungsraten gibt es bereits seit langer Zeit theoretische Ansätze [2] und mittlerweile auch Modelle auf Basis von Sensorfischen [3] sowie umfangreiche biologische Erhebungen [4]. Letztere beschränken sich für die in Mitteleuropa heimischen Arten aber hauptsächlich auf kleine Anlagen, wo Fangnetze (Hamen) eingesetzt werden können [5]. Bei großen Anlagen ist dies aufgrund der räumlichen Dimensionen und hohen Abflüsse kaum möglich, hier stellen sogenannte Ballon-Tags (auch HI-Z-Tags) die Methode der Wahl dar [6]. Diese in Nordamerika entwickelte Methode wurde auch in Europa bereits mit diadromen Arten eingesetzt [7], erstmals mit potamodromen Arten aber im Rahmen der gegenständlichen Studie innerhalb des Projekts „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich - Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den

Fischschutz und Fischabstieg“. Das übergeordnete Ziel dieses Projekts ist es, den Einfluss von durch Turbinenpassage verursachten Schäden auf Fischpopulationen zu verstehen. Dazu ist auch das quantitative Ausmaß mechanischer Schäden bei heimischen Arten und die Übertragbarkeit der bestehenden Daten auf größere Anlagen zu erfassen.

2 Methodik

Im September 2017 wurden an zwei mittelgroßen Wasserkraftanlagen in Österreich Untersuchungen zu Schädigungsraten juveniler und adulter Fische bei der flussabwärts gerichteten Turbinenpassage durchgeführt. An einem Kraftwerk an der Drau mit zwei vertikalen Kaplan-Turbinen (Ausbauwassermenge Q_A jeweils 275 m³/s, Fallhöhe 25,2 m, 5 Flügel) und an einem Kraftwerk im Mittellauf der Mur mit zwei horizontalen Rohrturbinen (Q_A jeweils 104 m³/s, Fallhöhe 7,36 m, 4 Flügel). Das Ziel war, Überlebens- und Verletzungsraten von juvenilen und adulten Nasen (*Chondrostoma nasus*), adulten Aiteln (*Squalius cephalus*) sowie juvenilen Äschen (*Thymallus thymallus*) in situ zu erfassen. Dazu wurden insgesamt 716 Versuchsfische eingesetzt (**Tabelle 1**). Die Aitel und der Großteil der Nasen wurde wenige Wochen vor Versuchsbeginn mittels Elektrofischerei gefangen, die juvenilen Äschen stammten aus einem Aquakulturbetrieb. Die Fische wurden im Kraftwerksgelände in Becken mit ständigem Austausch von Flusswasser gehalten und vor ihrer Verwendung mindestens 24 Stunden vor Ort akklimatisiert.

Es wurde die Methodik „HI-Z Turb’N (HI-Z) tag-recapture“ von Normandeau angewendet, die ein rasches Bergen von Versuchsfischen und somit eine unmittelbare Bewertung des Zustands der Fische nach der Turbinenpassage erlaubt [6]. Die Jungfische wurden mit einem oder zwei HI-Z-Tags ausgestattet, Adultfische mit bis zu 8 Stück, um sie rasch und sicher an die Oberfläche zu bringen. Zusätzlich wurde ein Radiotransmitter angebracht, um das Wiederfinden zu erleichtern.

An beiden Standorten wurden die Überlebensraten 1 h und 48 h nach der Passage ermittelt. Zusätzlich wurde der Zustand

Kompakt

- Schäden bei der Passage mittelgroßer Turbinen wurden mittels HI-Z-Tags untersucht.
- Überlebensraten liegen bei Jungfischen zwischen 87 % und 94 %, bei adulten Fischen zwischen 75 % und 90 %.
- Art-, stadien- und anlagenspezifische Schädigungen wurden festgestellt.

Tabelle 1: Art, Zahl, Größe und Herkunft der eingesetzten Versuchsfische (Quelle: Ratschan)

Fischart	Stadium	Totallänge [cm]		Individuen		Herkunft
		Mittelwert ± SD	Min.-Max.	Draukraftwerk	Murkraftwerk	
Nase	adult	383 ± 56	255 - 520	101	96	Wildfang
Nase	juvenil	177 ± 29	121 - 284	81	75	Aquakultur/Wildfang
Aitel	adult	333 ± 73	232 - 562	101	101	Wildfang
Äsche	juvenil	198 ± 24	146 - 353	85	76	Aquakultur
				368	348	

mittels eines „Injury-free-Indexes“ und eines „Malady-free-Indexes“ erfasst. Als „malady-free“ wurden dabei jene Fische klassifiziert, die frei von sichtbaren Verletzungen waren, keinen Verlust des Gleichgewichts und nicht mehr als 20 % Schuppenverletzungen aufwiesen. Bei den letzteren beiden Indizes werden nur Fische berücksichtigt, die an Land begutachtet werden konnten. Nicht also Tiere, die zwar als gestorben klassifiziert wurden, aber nicht geborgen werden konnten. Daher können diese Indices fallweise höher sein als die Überlebensraten.

Das Studienkonzept wurde so angelegt, dass ausreichend Fische jeder Art bzw. jedes Stadiums eingesetzt wurden, um eine Genauigkeit von ±10 % mit einer Sicherheit von 90 % zu erzielen. Für die Studie war eine Tierversuchsgenehmigung notwen-

dig, die jeweils vom Amt der Steiermärkischen bzw. Kärntner Landesregierung erteilt wurde.

Die Fische am Draukraftwerk wurden über den Dammbalkenschlitz, also hinter dem Einlaufrechen, mittels eines 40 m langen Schlauchs mit 150 mm Durchmesser zu einer Injektions-einrichtung aus Stahl gepumpt (**Bild 1**). Am Murkraftwerk erfolgte die Injektion der Fische über einen kürzeren Schlauch zu einem an der Rechenreinigungsanlage montierten, knieförmigen und sich zu einem Rechteckprofil verjüngenden Stutzen, welcher die Fische durch den Einlaufrechen führt (**Bild 2**). Natürlicherweise einwandernde Fische, die in unterschiedlichen Tiefen in den Turbineneinlauf einschwimmen, können vom Laufrad in verschiedenen Abständen von der Turbinenachse



Bild 1: Schlauch und absenkbares Injektionssystem (links) und Rohr zur Beigabe der Kontrollgruppe (rechts) beim Draukraftwerk

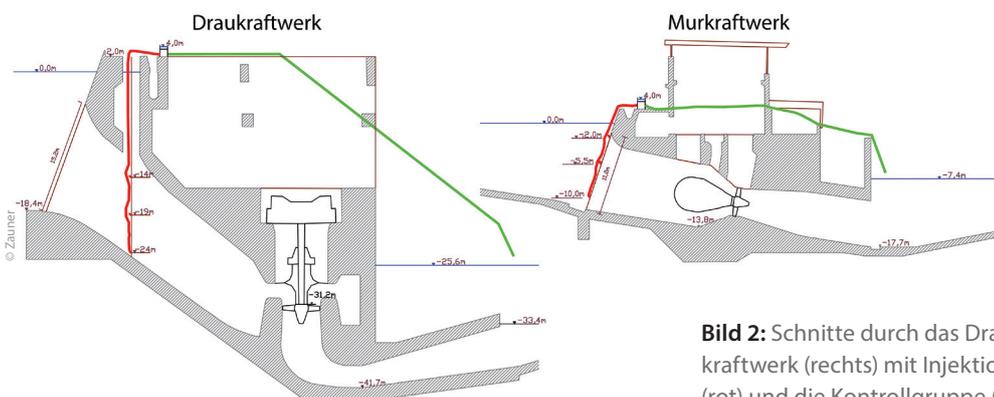


Bild 2: Schnitte durch das Draukraftwerk (links) und das Murkraftwerk (rechts) mit Injektionssystem für die Versuchsgruppe (rot) und die Kontrollgruppe (grün)

Tabelle 2: Überlebensraten (survival) und weitere erfasste Indices mit 90-%-Konfidenzintervall (Quelle: Ratschan)

Draukraftwerk	survival 1 h	survival 48 h	injury-free estimate	malady-free estimate
Nase adult	85,2 ± 6,6	75,3 ± 7,9	64,6 ± 8,8	61,3 ± 9
Nase juvenil	94,3 ± 5,3	86,8 ± 7,6	92,4 ± 5,9	86,8 ± 7,7
Aitel adult	91,4 ± 5,1	88,9 ± 5,7	73,8 ± 8,1	72,5 ± 8,2
Äsche juvenil	90 ± 6,4	90 ± 6,4	93,1 ± 5,4	74,1 ± 9,5
Murkraftwerk	survival 1 h	survival 48 h	injury-free estimate	malady-free estimate
Nase adult	89,7 ± 5,6	89,7 ± 5,6	78,2 ± 7,7	76,1 ± 8,4
Nase juvenil	92,2 ± 6,3	92,2 ± 6,3	97,9 ± 3,4	97,9 ± 3,4
Aitel adult	91,3 ± 5,3	90 ± 5,6	88,6 ± 5,9	88,6 ± 5,9
Äsche juvenil	94,1 ± 5,4	94,1 ± 5,4	100 ± 0	100 ± 0

getroffen werden und sind somit unterschiedlichen Risiken ausgesetzt. So werden sie im Fall von Kontakten mit dem Laufrad weiter außen mit höheren Geschwindigkeiten konfrontiert. Um dies abzudecken, wurden die Versuchsfische in drei Tiefen (seicht, Mitte, tief) dem der Turbine zuströmenden Wasser zugegeben. Die Fische der Kontrollgruppe wurden über ein 65 m (Drau) bzw. 40 m (Mur) langes, glattes Kunststoffrohr (150 mm) unmittelbar dem Kraftwerksunterwasser zugegeben.

3 Ergebnisse

Draukraftwerk

Bei der Erhebungskampagne am Draukraftwerk wurden 53 juvenile Nasen, 60 juvenile Äschen, 81 adulte Nasen und 81 adulte Aitel sowie 93 Kontrollfische dieser Arten eingesetzt. Der Durchfluss durch die Turbine betrug während der Versuche im Mittel $220 \pm 31 \text{ m}^3/\text{s}$ oder 80 % der Ausbauwassermenge. Es konnten zwischen 96,7 % (juv. Äschen) und 100 % (juvenile Nasen) der Tiere nach der Turbinenpassage erfolgreich geborgen werden, der Mittelwert aller Arten betrug 98,2 %. Bei nur 1,2 % der geborgenen Individuen war das HI-Z-Tag vom Fisch abgetrennt, diese wurden als tot klassifiziert. Alle Kontrollfische konnten lebend und mit intaktem HI-Z-Tag geborgen werden.

Die ermittelten Überlebens- und Schädigungsraten sind **Tabelle 2** sowie **Bild 3** und **Bild 4** zu entnehmen. Die 1-h- und 48-h-Überlebensraten (mit 90-%-Konfidenzintervall) für juvenile Äschen lagen bei jeweils $90 \pm 6,4 \%$. Bei juvenilen Nasen lagen diese Werte bei $94,3 \pm 5,3 \%$ bzw. $86,8 \pm 7,6 \%$. Adulte Nasen überlebten mit einer 1-h- bzw. 48-h-Überlebensrate von $85,2 \pm 6,6 \%$ und $75,3 \pm 7,9 \%$. Bei den adulten Aiteln lagen die Werte bei $91,4 \pm 5,1 \%$ bzw. $88,9 \pm 5,7 \%$.

Die Malady-free-Indizes lagen bei $74,1 \pm 9,5 \%$ für juvenile Äschen, bei $86,8 \pm 7,7 \%$ für juvenile Nasen, bei $61,3 \pm 9,0 \%$ für adulte Nasen sowie bei $72,5 \pm 8,2 \%$ für adulte Aitel.

Murkraftwerk

Bei der Erhebungskampagne am Murkraftwerk wurden 51 juvenile Nasen, 51 juvenile Äschen, 78 adulte Nasen und 80 adulte

Aitel sowie 88 Kontrollfische dieser Arten eingesetzt. Der Durchfluss durch die Turbine betrug während der Versuche etwa $95 \text{ m}^3/\text{s}$, also 91 % des Ausbaudurchflusses. Die Wiederfangrate der juvenilen Äschen und Nasen betrug nach der Turbinenpassage jeweils 94,1 %, jene der adulten Nasen und Aitel lagen bei 98,7 % und 100 %. Mit Ausnahme von drei Individuen konnten alle Fische der Kontrollgruppe geborgen werden. Ein Tier war in eine Strömungstasche getrieben und kam später frei und zwei Tiere wurden durch Raubfische (sehr wahrscheinlich Huchen) attackiert. Eines davon konnte später geborgen werden und starb, während das andere mittels Radiotag an unterschiedlichen Stellen im Unterwasser geortet wurde, offensichtlich also vom Raubfisch geschluckt wurde. Die drei verlorenen Kontrollfische wurden durch zusätzliche Individuen ersetzt.

Die ermittelten Überlebens- und Schädigungsraten sind **Tabelle 2** sowie **Bild 3** und **Bild 4** zu entnehmen. Die 1-h- und 48-h-Überlebensraten für juvenile Äschen (mit 90-%-Konfidenzintervall) lagen jeweils bei $94,1 \pm 5,4 \%$. Bei juvenilen Nasen lagen diese Werte bei jeweils $92,2 \pm 6,3 \%$. Es trat also bei diesen grundsätzlich recht sensiblen Arten bzw. Stadien keine verzögerte Mortalität nach 48 h auf. Adulte Nasen überlebten mit einer 1-h- bzw. 48-h-Überlebensrate von $89,7 \pm 5,6 \%$. Bei den adulten Aiteln lagen die Werte bei $91,3 \pm 5,3 \%$ bzw. etwas geringeren Wert von $90,0 \pm 5,6 \%$, weil ein zusätzliches Tier nach 48 h Hälterung gestorben war.

Die Malady-free-Indizes lagen bei $100 \pm 0,0 \%$ für juvenile Äschen, bei $97,9 \pm 3,4 \%$ für juvenile Nasen, bei $76,1 \pm 8,4 \%$ für adulte Nasen sowie bei $88,6 \pm 5,9 \%$ für adulte Aitel.

4 Diskussion

Die Erhebungen liefern erstmals in situ erhobene Daten zu Verletzungen europäischer, potamodromer Fischarten bei der Passage mittelgroßer Kaplan-Turbinen. Es treten abhängig von Anlage, Fischart und Stadium Überlebensraten zwischen 75 % und 94 % auf, die somit deutlich höher sind als jene, wie sie bei Kaplan-Turbinen an Kleinwasserkraftanlagen gefunden wurden [5]. Im Vergleich zur umfangreichen Recherche von Radinger et al. [4], die

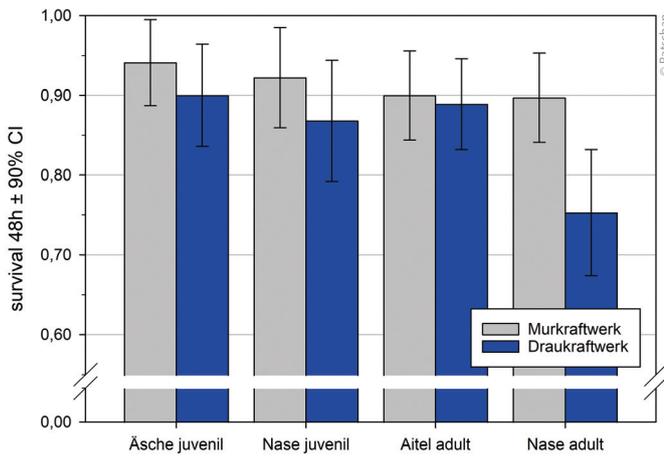


Bild 3: Vergleich der 48-h-Überlebensraten zwischen den Arten bzw. Größenstadien und den beiden Kraftwerken

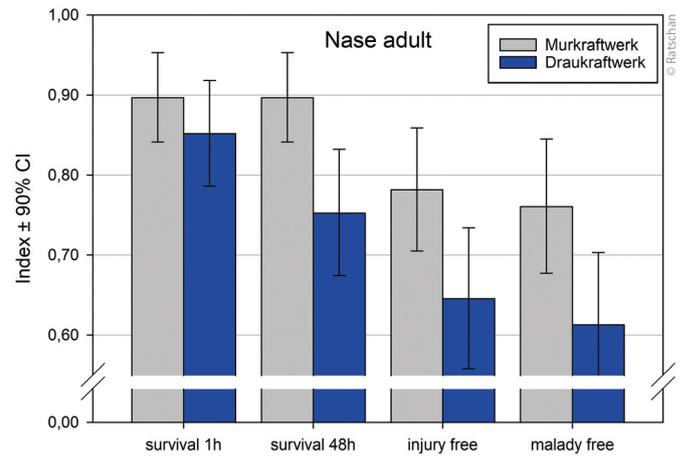


Bild 4: Vergleich der verschiedenen Indizes für adulte Nasen

neben HI-Z-Studien auch mittels Telemetrie und Hamen erhobene Daten zu unterschiedlich großen Kaplan-Turbinen und vielen verschiedenen Fischarten berücksichtigt, zeigt sich unter Berücksichtigung der Körperlänge eine gute Übereinstimmung. Die Datenpunkte zur 1-h-Mortalität liegen dabei tendenziell etwas unter den Referenzdaten (**Bild 5 links**), jene zur 48-h-Mortalität im Fall des Draukraftwerks speziell bei der Nase etwas darüber (**Bild 5 rechts**). Diese Unterschiede sind aber statistisch nicht signifikant, wie die deutlich überlappenden Konfidenzintervalle zeigen.

Die Wahrscheinlichkeit von mechanischen Verletzungen von Fischen durch „blade strike“ bei der Turbinenpassage ist generell bei größeren Fischen höher als bei kleineren, was sich in Übereinstimmung zum bekannten Wissen [1], [3], [5] auch bei den vorliegenden Ergebnissen zeigt. Die untersuchten Jungfische wiesen mittlere Längen von 177 bzw. 198 mm Überlebensraten (48 h) zwischen 87 % und 94 % auf. Die Adultfische waren bei mittleren Längen von 333 bzw. 383 mm deutlich größer und mit Überlebens-

raten (48 h) zwischen 75 % und 91 % durch höhere Schäden gekennzeichnet.

Die meist geringeren Schädigungen am Murkraftwerk im Vergleich zum Draukraftwerk sind insofern plausibel erklärbar, da dort eine geringere Zahl an Turbinenflügeln (vier statt fünf), eine geringere Fallhöhe und eine etwas langsamer laufende Turbine (125 versus 136 U/min) vorliegen. Der geringere Durchmesser (3,85 m versus 5,10 m) trägt, gemeinsam mit der langsameren Rotation, auch zu einer geringeren Geschwindigkeit der „blade tip“ bei, was einen Beitrag zu einer sichereren Passage von Adultfische liefern kann [8]. Die exakte Injektionstiefe beeinflusste die Überlebens- und Verletzungsraten an beiden Kraftwerken nicht erkennbar.

Die Art der Verletzungen war z. T. artspezifisch. Beispielsweise dürfte das im Vergleich zu den Nasen gröbere, festere Schuppenkleid der Aitel das geringere Ausmaß von Schuppenverlusten bei dieser Cyprinidenart erklären, während bei den

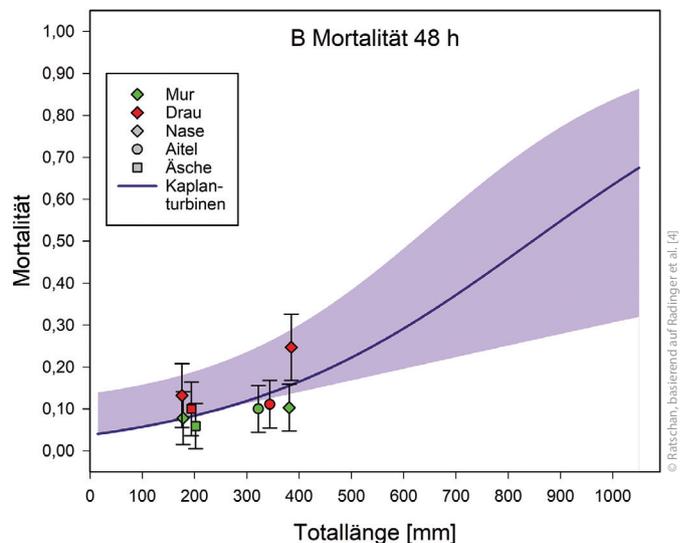
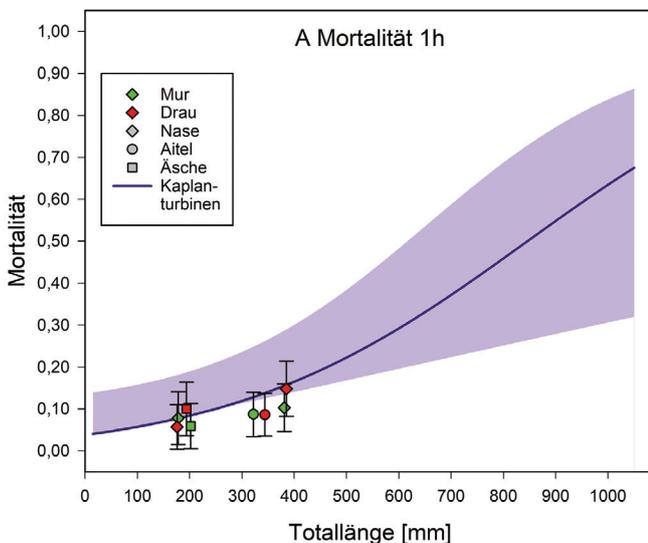


Bild 5: Vergleich der Mortalitätsraten (1 minus Überlebensrate ± 90 % CI) mit den Ergebnissen für Kaplan-Turbinen (Mittelwert mit 95%-Konfidenzintervall)

Nasen nicht nur etwas geringere Überlebensraten (wahrscheinlich primär durch die etwas höhere Körpergröße erklärbar), sondern auch deutlich höhere Verletzungsraten auftraten. Die Beobachtungen am Murkraftwerk weisen darauf hin, dass Präädation bei Fischen nach der Turbinenpassage eine Rolle spielt.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass bei HI-Z-Studien nur oberflächenadaptierte Fische verwendet werden können. Die Verletzungen bzw. die Mortalität betrifft also mechanische Schäden, während allfällige Effekte von Barotrauma, die insbesondere im Fall von tiefenadaptierten Fischen auch im Adultstadium eine nicht unwesentliche Rolle spielen können, weitgehend unberücksichtigt bleiben [3]. Diesbezüglich besteht bei den heimischen Arten noch Forschungsbedarf.

In Hinblick auf die Bedeutung der ermittelten Verluste für konkrete Fischpopulationen muss eine Vielzahl weiterer Parameter berücksichtigt werden. Vor allem sind dies der Anteil der Individuen mit Wanderungen über (ggf. mehrere) Kraftwerke, der Anteil dieser Passagen, die tatsächlich durch Turbinen (und nicht über Wehre, Fischaufstiegsanlagen oder Bypässe) führen, sowie die Zahl derartiger Turbinenpassagen über den gesamten Lebenszyklus. Solche Rahmenbedingungen sind bei den heimischen potamodromen Fischarten wesentlich schwieriger quantifizierbar als bei diadromen Arten. Diese für die Einordnung von Auswirkungen auf Populationen zentralen Aspekte werden im Rahmen weiterer Arbeitspakete des Projekts „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich“ untersucht [9], [10].

Dank

Das Projekt „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich - Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den Fischschutz und Fischabstieg“ wurde über die Förderschiene Collective Research der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) finanziert (Projektnummer 857801). Fördernehmer war Österreichs Energie und eine Co-Finanzierung erfolgte durch beteiligte Energieversorgungsunternehmen. Zur Durchführung des Projektes wurden das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz sowie die Firmen ezb-TB Zauner und EcoScience beauftragt. Weitere Subunternehmer waren Normandeau

Clemens Ratschan, Cory Hoffman, Maximilian Zauner, Gerald Zauner, Andreas Zitek and Josef Schneider

In situ survey of damage to fish during the passage of large Kaplan turbines

Injury and survival to the fish species chub (*Squalius cephalus*), nase (*Chondrostoma nasus*) and grayling (*Thymallus thymallus*) during passage through Kaplan turbines was estimated using HI-Z Tag techniques at two medium-sized run-of-river hydropower plants. Survival rates (48 h) of juvenile fish were between 87 % and 94 % and for adult fish were between 75 % and 90 %. In addition, the number of individuals injured or affected by loss of equilibrium was species-specific. The lower mortality at the Mur power plant compared to the Drau power plant can plausibly be explained by a lower number of turbine blades (four instead of five), a lower hydraulic head and a slightly slower turbine runner speed.

Associates sowie der Tierarzt Dr. Oliver Hochwartner. An alle beteiligten Institutionen und deren zahlreiche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die namentlich hier nicht erwähnt werden können, sei hiermit ein herzliches Dankeschön ausgesprochen.

Autoren

Mag. Clemens Ratschan

DI Maximilian Zauner

DI Dr. Gerald Zauner

ezb-TB Zauner GmbH

Marktstrasse 35

4090 Engelhartzell, Österreich

ratschan@ezb-fluss.at

zauner@ezb-fluss.at

m.zauner@ezb-fluss.at

Cory Hoffman, B. Sc.

Normandeau Associates, Inc.

1854 Lancaster Pike

Peach Bottom, PA 17563, USA

choffman@normandeau.com

DI Dr. Andreas Zitek, M. Sc.

EcoScience

Alois-Czedik-Gasse 3/4

1140 Wien, Österreich

andreas.zitek@ecoscience.at

Assoc. Prof. DI Dr. Josef Schneider

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Graz

Stremayrgasse 10

8010 Graz, Österreich

schneider@tugraz.at

Literatur

- [1] Pracheil, B. M.; DeRolph, C.; Schramm, M.; Bevelhimer, M. S.: A fish-eye view of riverine hydropower systems: the current understanding of the biological response to turbine passage. In: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 26 (2016), S. 153-167.
- [2] von Raben, K.: Zur Frage der Beschädigung von Fischen durch Turbinen. In: *Die Wasserwirtschaft* 4 (1957), S. 97-100.
- [3] Pflugrath, B. D.; Saylor, R. K.; Engbrecht, K. et al.: Biological Response Models. Predicting Injury and Mortality of Fish During Downstream Passage through Hydropower Facilities. PNNL Report (2020), Nr. 30 893.
- [4] Radinger, J.; Treek, R. v.; Wolter, Ch.: Evident but context-dependent mortality of fish passing hydroelectric turbines. In: *Conservation Biology* (2022), S. 1-12.
- [5] Müller, M.; Knott, J.; Pander, J.; Geist, J.: Experimental comparison of fish mortality and injuries at innovative and conventional small hydropower plants. In: *J Appl Ecol.* 59 (2022), S. 2 360-2 372.
- [6] Heisey, P. G.; Mathur, D.; Rineer, T.: A reliable tag-recapture technique for estimating turbine passage survival: application to young-of-the-year American shad (*Alosa sapidissima*). In: *Can. Jour. Fish. Aquat. Sci.* 49 (1992), S. 1 826-1 834.
- [7] Heisey, P. G.; Mathur, D.; Phipps, J. L. et al.: Passage survival of European and American eels at Francis and propeller turbines. In: *Journal of Fish Biology* 95 (2019), S. 1 172-1 183.
- [8] Cada, G. F.; Coutant, C. C.; Whitney, R. R.: Development of biological criteria for the design of advanced hydropower turbines. U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, Idaho Falls, Report DOE/ID-10578, 1997.
- [9] Ratschan, C.; Zauner, M.; Zauner, G. et al.: Wanderungen potamodromer Cypriniden in einer Kraftwerkskette. In: *WasserWirtschaft* 115 (2025), Heft 9, S. 12-17.
- [10] Zitek A.; Ratschan, C.: Fischschädigung durch Turbinen: Modellierung auf Populationsniveau. In: *WasserWirtschaft* 115 (2025), Heft 9, S. 38-43.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2552-8>

Fischschädigung durch Turbinen: Modellierung auf Populationsniveau

Mithilfe einer altersklassenbasierten Populationsmodellierung wurden jährliche bzw. längerfristige Auswirkungen turbinenbedingter Schädigungen (Barotrauma, Blade-Strike) für Populationen typischer europäische Flussfischarten (Äsche, Aitel, Barbe, Flussbarsch und Nase) untersucht, um Effekte unterschiedlicher Schutz- und Ausgleichsmaßnahmen zu evaluieren. Mechanische Barrieren konnten mortalitätsbedingte Populationsrückgänge nicht vollständig kompensieren, was nur durch Anhebung der Überlebensfähigkeit von Eiern, Larven und Juvenilen gelang.

Andreas Zitek und Clemens Ratschan

1 Einleitung

Flussabwärts wandernde Fische können an Wasserkraftwerken unterschiedlichen Verletzungsquellen ausgesetzt sein, welche zu einer erhöhten Mortalität beitragen können. Pflugrath und Saylor et al. [1] beschreiben vor allem den direkten Kontakt mit Turbinenschaukeln (Blade-Strike), Scherkräfte und Druckunterschiede als wesentliche schädigende Faktoren für Fische im Zuge einer Turbinenpassage an einem Laufwasserkraftwerk. Unterschiedliche Turbinentypen können je nach Bauweise zu unterschiedlich hohen Schädigungsgraden führen [2]. Weitere mortalitätsrelevante Faktoren im Zuge der flussabgerichteten Passage von Turbinen an Wasserkraftwerken sind die Prädation im Unterwasser, zeitverzögert auftretende Schädigungen und summative Effekte durch multiple Passagen von Turbinen.

Die Auswirkungen turbinenbedingter Mortalität sind auf der Ebene von Populationen für potamodrome Arten im Gegensatz zu z. B. Lachsen weitgehend unbekannt.

Im gegenständlichen Projekt wurden vor allem die Schädigungen durch den direkten Kontakt mit den Turbinenschaukeln (Blade-Strike) an adulten und subadulten Individuen sowie die Schädigungen durch Druckänderungen (Barotrauma) an Larven und Jungfischen bis 0+ betrachtet. Zu berücksichtigen war dabei, dass Fische im Zuge einer Turbinenpassage an unterschiedlichen Positionen in die Turbine gelangen können, und daher auch der Weg durch die Turbine und die daraus resultie-

rende Schädigung unterschiedlich sein können. Zusätzlich wurden daher auch Daten über die beim Turbinendurchgang von den Fischen erfahrenen hydraulischen Belastungen systematisch mit Sensoren erfasst oder mittels CFD-Modellen berechnet und in die Modelle miteinbezogen [3].

Das letztliche Ziel des Projektes war es, die Auswirkung potenzieller Schädigungen von unterschiedlichen Altersstadien typischer europäische Flussfischarten (Äsche, Aitel, Barbe, Flussbarsch und Nase) im Zuge ihrer flussabwärts gerichteten Wanderung über Wasserkraftanlagen hinweg an einem mittelgroßen Fließgewässer wie der Unteren Mur und der Drau auf Populationsniveau zu bewerten sowie die Wirksamkeit technischer Fischschutzmaßnahmen im Vergleich mit Habitat verbessernden Maßnahmen abzuschätzen.

2 Methodik

2.1 Populationsmodell

Um das Ausmaß und die Auswirkungen turbineninduzierter Schädigungen im gegenständlichen Projekt zu ermitteln, wurden zwei Ansätze verfolgt:

- 1) die Ermittlung des jährlichen Schädigungspotenzials je Stadium nach erfolgter Turbinenpassage eines jeweils definierten Prozentsatzes der Population, ohne Berücksichtigung der natürlichen Mortalität, angelehnt an das Striker-Modell [4],
- 2) die Ermittlung des theoretischen langfristigen Effekts turbinenbedingter Mortalität auf Populationsebene über 25 Jahre. Dabei wurden die Wirkungen unterschiedlicher Maßnahmentypen berechnet (Abhaltung von Fischen ab einer bestimmten Körperbreite vor dem Turbinendurchgang, Habitatverbesserungen für unterschiedliche Stadien). Die durch Turbinenschädigungen verursachten Mortalitäten wurden dabei mit der natürlichen Mortalität multiplikativ verknüpft, und somit je Fisch pro Jahr nur jeweils eine Todesursache berücksichtigt.

Für beide Ansätze wurde ein strukturiertes Altersmodell verwendet, wobei folgende Eingangsdaten bzw. Schritte notwendig waren:

Kompakt

- Effekte von Barotrauma und Blade-Strike auf Populationsniveau werden untersucht.
- Jährliche Adultfischmortalitäten von 2,7-6,1 % (Äsche), 2,4-5,5 % (Aitel), 2,4-5,6 % (Barbe), 0,04-0,41 % (Flussbarsch) und 3,1-7,0 % (Nase) konnten ermittelt werden.
- Der Vergleich von mechanischen Barrieren und Habitatverbesserungen als Maßnahmen wird erläutert.

Tabelle 1: Berechnete Auswirkungen des jährlichen turbinenbedingten Schädigungspotenzials ohne Berücksichtigung der natürlichen Mortalität entsprechend der Passagewahrscheinlichkeiten einer Turbine von Fischen ab 1+ von minimal 17 % und maximal 39 % für Äsche, Aitel, Barbe und Nase sowie 1 % bzw. 10 % beim Flussbarsch; die betrachteten Wanderraten der Larven sind direkt in der Tabelle angeführt (Quelle: Zitek)

Fischart	Gesamtpopulation Larven bis 0+ (% Reduktion wenn 1 % (nur Flussbarsch) - 10 % - 30 % - 60 % - 90 % des jeweils betrachteten Driftstadiums wandern)	% Reduktion Gesamtpopulation ab 1+ Min-Max	% Reduktion Gesamtpopulation Adulte Min-Max	% Reduktion Biomasse ab 1+ Min-Max
Äsche	0,001-0,001-0,002-0,002	2,1-4,8	2,7-6,1	2,3-5,3
Aitel	0,5-1,6-3,3-4,9	1,1-2,6	2,4-5,5	2,2-5,1
Barbe	0,1-0,3-0,5-0,8	1,2-2,8	2,4-5,6	2,9-6,7
Flussbarsch	0,02-0,16-0,47-0,93-1,40	0,02-0,22	0,04-0,41	0,04-0,42
Nase	0,5-1,4-2,7-4,1	1,4-3,3	3,1-7,0	2,6-5,9

- Altersklassenspezifische Mortalitäten (natürliche und zusätzliche),
- Anteil der Altersklassen einer Population, der von zusätzlicher Mortalität betroffen ist,
- Life-History-Parameter wie Eizahlen pro kg oder Länge, Alter bei erster Reproduktion, maximales Alter etc.,
- Festlegung und Testen unterschiedlicher Szenarien,
- Sensitivitätsanalyse einzelner Parameter,
- Schlussfolgerung und Ableitung der entsprechenden Managementoptionen.

Für die Berechnung des jährlichen Schädigungspotenzials basierend auf einer stabilisierten Ausgangspopulation wurde Excel verwendet, für die Berechnung des Langzeiteffekts eine speziell entwickelte Software [5].

2.2 Wichtige Eingangsdaten

Wichtige Eingangsdaten für die Modellierung neben grundlegenden biologischen Parametern waren:

- 1) Wahrscheinlichkeit einer jährlichen Turbinenpassage für Altersstadien ab 1+ für Aitel, Barbe und Nase [11], Umlegung der Resultate auf die Äsche:
 - Minimal 0,17 bzw. maximal 0,39 Turbinenpassagen pro Jahr.
 - Für den Flussbarsch wurden für Individuen ab 1+ minimal 0,01 bzw. maximal 0,1 Turbinenpassagen pro Jahr festgelegt.
- 2) Anteil der abwandernden Fische der Gesamtpopulation bei Larven und Juvenilstadien von Aitel, Äsche, Barbe und Nase aufgrund Mangels an Daten in Szenarien von 10 %, 30 %, 60 % und 90 %, für den Flussbarsch zusätzlich ein 1%-Szenario.
- 3) Blade-Strike-Formel, die anhand der empirischen Daten validiert wurde, mit einem längenabhängigen Abminderungsfaktor λ nach Turnpenny et al. [4].
- 4) Für das Barotrauma wurden die anhand der Partikelsimulationen beim KW an der Drau unter Volllast [12] ermittelten Schädigungsraten verwendet, die sich anhand der Häufigkeiten der auftretenden Nadire unter 60 kPa ergaben. Für die im Rahmen des Projektes nicht untersuchte Barbe wurden bestmöglich vergleichbare Ergebnisse der entsprechenden Stadien von Rotauge und Nase verwendet.

3 Ergebnisse

Die hier gezeigten Ergebnisse beziehen sich auf eine Kraftwerkskette mit durchschnittlichen Kaplan-Turbinen an mittelgroßen Gewässern in Österreich, wie sie im Rahmen des Projekts untersucht wurden. Im Einzelfall bzw. bei der Übertragung auf andere Standorte wird es aufgrund lokaler Spezifika zu Abweichungen kommen.

3.1 Reduktion der Population bei einjähriger Betrachtung für Aitel, Äsche, Barbe, Flussbarsch und Nase

Die Berechnungen des jährlichen Schädigungspotenzials durch turbinenbedingte Effekte für Adultfische der typischen Flussfischarten Äsche, Aitel, Barbe und Nase ergab Werte zwischen 2,4 % und 7 % der Individuenzahl. Betrachtet man, wie Turnpenny et al. [4], die Altersstadien ab 1+, liegt das Schädigungspotenzial durch turbinenbedingte Mortalität zwischen 2,1-4,8 % (Äsche), 1,1-2,6 % (Aitel), 1,2-2,8 % (Barbe), 0,02-0,22 % (Flussbarsch) und 1,4-3,3 % (Nase) (**Tabelle 1**). Diese Abnahme entspricht einer jährlichen Abnahme der Biomassen von 2,2 bis 6,7 %.

3.2 Modellierung der Abnahme einer theoretischen Ausgangspopulation und Maßnahmenbewertung

Die modellierten Reduktionen von Ausgangspopulationen von Adultfischen durch turbinenbedingte Mortalität ist für die untersuchten Arten in **Tabelle 2** jeweils in Bezug zu einem Minimal- und Maximalszenario hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit von Kraftwerkspassagen dargestellt.

Detailliert Ergebnisse der Simulation sind beispielhaft für eine theoretische Nasenpopulation in Abhängigkeit der Wanderraten von L1- und 0+-Fischen sowie Adulten und der assoziierten Turbinenmortalität in **Bild 1** dargestellt. Es zeigte sich, dass vor allem der Prozentsatz der abwandernden adulten Nasen und die damit verbundene erhöhte Mortalität durch Blade Strike im Zuge der Turbinenpassage zu einer deutlichen theoretischen Abnahme der Adultfischpopulation (Individuen ab 6+) von minimal 37,5 % bis maximal 74,7 % auf rund 25 % der Ausgangspopulation im Zeitraum von 25 Jahren führte (**Tabelle 3** und **Tabelle 4**).

Tabelle 2: Langfristige theoretische Auswirkungen des turbinenbedingten Schädigungspotenzials unter Berücksichtigung der Turbinenpassagewahrscheinlichkeit pro Jahr (TP/J) für die als driftend angenommenen Larven- und Jungfischstadien bzw. Individuen ab 1+ sowie der natürlichen Mortalität über einen Zeitraum von 25 Jahren (Quelle: Zitek)

Fischart	Min-Max	Szenario	Reduktion Gesamtpopulation Adulte %
Äsche	Min	L1, 0+ 10 % TP/J, ab 1+ 17 % TP/J	-23,4
	Max	L1, 0+ 90 % TP/J, ab 1+ 39 % TP/J	-49,7
Aitel	Min	L1, L3, 0+ 10 % TP/J, ab 1+ 17 % TP/J	-31,5
	Max	L1, L3 0+ 90 % TP/J, ab 1+ 39 % TP/J	-70,9
Barbe	Min	L3, 0+ 10 % TP/J, ab 1+ 17 % TP/J	-33,2
	Max	L3, 0+ 90 % TP/J, ab 1+ 39 % TP/J	-69,0
Flussbarsch	Min	L1, L2, L3, L4, L5, 0+ 1 % TP/J, ab 1+ 1 % TP/J	-1,0
	Max	L1, L2, L3, L4, L5, 0+ 90 % TP/J, ab 1+ 10 % TP/J	-51,5
Nase	Min	L1, 0+ 10 % TP/J, ab 1+ 17 % TP/J	-37,5
	Max	L1, 0+ 90 % TP/J, ab 1+ 39 % TP/J	-74,7

Maßnahmen, die in der Lage waren, dem Populationsrückgang der Nase im minimalen und maximalen Szenario vollständig entgegenzuwirken (Tabelle 3), sind Verbesserungen der Ei-Überlebensrate, der Überlebensrate der Larven- und 0+-Stadien, einzeln und in Kombination, in einem bestimmten Ausmaß. Eine kombinierte Erhöhung der Larven-Überlebensrate um 10 % und der 0+-Überlebensrate um 9 % war beispielsweise im Minimal Szenario in der Lage, die turbinenbedingte Reduktion der Populationsgröße auszugleichen. Im Maximalszenario waren dazu je 10 % und 53 % Erhöhung notwendig.

Maßnahmen, um Fische von größer 20 mm bis 50 mm Körperbreite am Einschwimmen in die Turbine zu verhindern, waren im Gegensatz dazu nicht vollständig in der Lage, dem Populationsrückgang entgegenzuwirken, was insbesondere auf das Szenario mit den maximal angenommenen Wanderraten

zutrifft. Dabei ging die Population nach 25 Jahren, wenn Fische ab 20 mm Körperbreite am Einschwimmen in die Turbine gehindert wurden, nur auf rund 67 % der ursprünglichen Ausgangspopulation zurück (Tabelle 4).

4 Diskussion

Die Betrachtung des jährlichen Schädigungspotenzials zeigte im Minimal- bzw. Maximalszenario hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit einer jährlichen Turbinenpassage eine Reduktion der Adultfischpopulationen im einstelligen Prozentbereich. So lag die berechnete potenzielle jährliche Reduktion der Biomassen ab 1+ für die Leitfischarten Nase, Barbe und Aitel zwischen 2,2-6,7 %. Dieses Ergebnis zeigt, dass turbinenbedingte Morta-

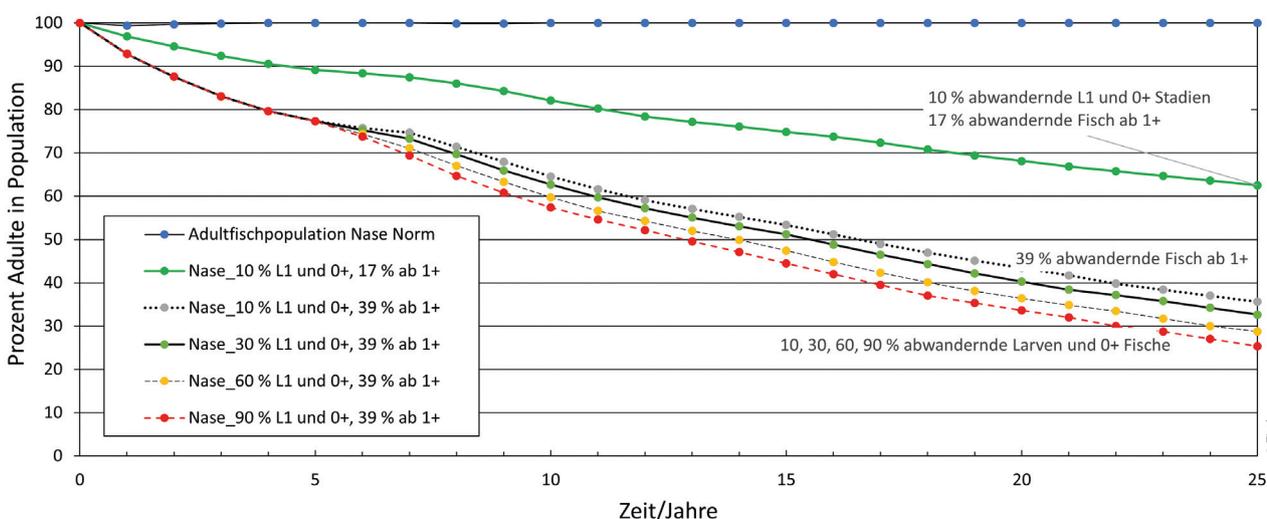


Bild 1: Abnahme einer theoretischen Adultfischpopulation der Nase (ab 6+) in Abhängigkeit der Anteile abwandernder Individuen der L1- und 0+-Stadien (in Szenarien) und ab dem 1+ Stadium in Bezug zu einer Ausgangspopulation mit 643 Adultfischen und der Turbinenmortalität (Barotrauma für L1 und 0+, Blade-Strike für Individuen von ab 1+)

Tabelle 3: Langfristige Auswirkungen zusätzlicher turbinenbedingten Mortalität im Zuge der Wanderung mit Berücksichtigung der natürlichen Mortalität bei den geringsten jährlichen Wahrscheinlichkeiten einer Turbinenpassage für alle Altersstadien (10 % L1, 10 % 0+ sowie 17 % bei Fischen ab 1+) im Modell am Beispiel der Nase mit einer stabilen Ausgangspopulation von 643 Individuen (Quelle: Zitek)

Szenario	Überlebensrate-Raten Start bzw. angepasst	N Adulte Sim	Diff. absolut	% Änderung
Verbesserte-Ei-Überlebensrate				
Ei-Überlebensrate Start	0,2735	402	-241	-37,5
Ei-Überlebensrate plus 10 %	0,3009	508	-135	-21
Ei-Überlebensrate plus 20 %	0,3282	633	-10	-1,5
Ei-Überlebensrate plus 21,02 %	0,331	643	0	0
Verbesserte-L1-Überlebensrate				
Larve L1 Überlebensrate (Gesamt bis J2) Start	0,3966 (0,003099)	402	-241	-37,5
Larve L1 Überlebensrate plus 10 % (Gesamt bis J2)	0,4364 (0,003409)	508	-135	-21
Larve L1 Überlebensrate plus 20 % (Gesamt bis J2)	0,4761 (0,003720)	633	-10	-1,6
Larve L1 Überlebensrate plus 21,02 % (Gesamt bis J2)	0,4801 (0,003751)	643	0	0
Verbesserte 0+-Überlebensrate				
0+ Überlebensrate Start	0,198	402	-241	-37,5
0+ Überlebensrate plus 10 %	0,2182	514	-129	-20
0+ Überlebensrate plus 20 %	0,2381	648	+5	+0,8 %
0+ Überlebensrate plus 19,7 %	0,2375	643	0	0
Kombination verbesserte Überlebensrate Eier, L1 Larven und 0+				
Überlebensrate plus 10 % Eier, 10 % Larven L1, 10 % 0+	0,3009 - 0,4364 - 0,2182	831	+188	+29,2 %
Überlebensrate plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 10 % 0+	0,2735 - 0,4364 - 0,2182	654	+11	+1,7 %
Überlebensrate plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 9,3 % 0+	0,2735 - 0,4364 - 0,2169	643	0	0
Fischschutz ab gewisser Körperbreite				
Fischschutz für Körperbreite >50 mm	Je Altersklassen ab 7 +	454	-189	-29,4
Fischschutz für Körperbreite >40 mm	Je Altersklassen ab 4 +	520	-123	-19,1
Fischschutz für Körperbreite >30 mm	Je Altersklassen ab 3 +	590	-53	-8,2
Fischschutz für Körperbreite >20 mm	Je Altersklassen ab 2 +	611	-32	-5,0

lität unter Umständen einen bewertungsrelevanten Einfluss hinsichtlich der Bewertung nach WRRL haben kann, da die Biomasse speziell in Stauketten mit oftmals stark limitierter Habitat Ausstattung sehr häufig ein Ausschlaggebender Aspekt des Fisch-Index Austria für Zielverfehlungen ist.

Andreas Zitek and Clemens Ratschan

Fish damages caused by turbine passage: population-level modelling

Using age-class-based population modelling, annual and long-term effects of turbine-induced damage (barotrauma, blade strike) on populations of typical European river fish species (grayling, chub, barbel, perch, and nase) were investigated to evaluate the effects of different protective and compensatory measures. The annual potential damage to adult fish populations ranged between 2.7-6.1 % (grayling), 2.4-5.5 % (chub), 2.4-5.6 % (barbel), 0.04-0.41 % (perch) and 3.1-7.0 % (nase) with a calculated annual decrease in total biomass between 0.04-6.7 %. Mechanical barriers with different bar widths were unable to fully compensate for the mortality-related population reduction, which only was possible by improving the survival of eggs, larvae, and juveniles.

Anhand der Modellierungsergebnisse kann abgeleitet werden, dass habitatverbessernde Maßnahmen bei entsprechender Qualität bzw. entsprechendem Umfang den wirksamsten Beitrag zum Erhalt einer Fischpopulation in anthropogen veränderten und energiewirtschaftlich genutzten Gewässern leisten und auch dazu geeignet sind, einer erhöhten turbinenbedingten Mortalität von Populationen entgegenzuwirken. Eine Kombination mit anderen Fischschutzmaßnahmen kann jedoch sinnvoll sein, z. B. wenn das Ausmaß möglicher langfristig wirksamer Restrukturierungen am betreffenden Standort limitiert ist. Da aber durch Rechen nie alle Fische von einer Turbinenpassage abgehalten werden können, war in den Simulationen nur durch das Abhalten von Fischen ab einer bestimmten Körperbreite auch langfristig keine vollständige Kompensation turbinenbedingter Schädigungen auf Populationsniveau möglich.

Dieses Ergebnis wird durch Modellierungen von Farò and Wolter [6] untermauert, wobei neben Qualität und Umfang von Habitatmaßnahmen auch die Vernetzung und Erreichbarkeit funktioneller Habitate relevant ist [7]. An der Donau im Stauwurzelbereich des Kraftwerks Aschach [8], [9], aber auch im Rahmen einer neueren Studie an der Isar [10] konnte gezeigt werden, dass durch Strukturierungsmaßnahmen in Stauwur-

Tabelle 4: Langfristige Auswirkungen zusätzlicher turbinenbedingten Mortalität im Zuge der Wanderung mit Berücksichtigung der natürlichen Mortalität bei den größten jährlichen Wahrscheinlichkeiten einer Turbinenpassage für alle Altersstadien (90 % L1, 90 % 0+ sowie 39 % bei Fischen ab 1+) im Modell am Beispiel der Nase mit einer stabilen Ausgangspopulation von 643 Individuen (Quelle: Zitek)

Szenario	Überlebensrate-Raten Start bzw. angepasst	N Adulte Sim	Diff. absolut	% Änderung
Verbesserte-Ei-Überlebensrate				
Ei-Überlebensrate Start	0,2735	163	-480	-74,7
Ei-Überlebensrate plus 10 %	0,3009	205	-438	-68,1
Ei-Überlebensrate plus 20 %	0,3282	256	-387	-60,2
Ei-Überlebensrate plus 71,75 %	0,4697	643	0	0
Verbesserte-L1-Überlebensrate				
Larve L1 Überlebensrate (Gesamt bis J2) Start	0,370 (0,002889)	163	-480	-74,7
Larve L1 Überlebensrate plus 10 % (Gesamt bis J2)	0,4075 (0,003184)	209	-434	-67,5
Larve L1 Überlebensrate plus 20 % (Gesamt bis J2)	0,4446 (0,003473)	257	-386	-60
Larve L1 Überlebensrate plus 71,43 % (Gesamt bis J2)	0,6351 (0,004962)	643	0	0
Verbesserte 0+-Überlebensrate				
0+ Überlebensrate Start	0,186	163	-480	-74,7
0+ Überlebensrate plus 10 %	0,2042	209	-434	-67,5
0+ Überlebensrate plus 20 %	0,2227	262	-381	-59,3
0+ Überlebensrate plus 68,2 %	0,3122	643	0	0
Kombination verbesserte Überlebensrate Eier, L1 Larven und 0+				
Überlebensrate plus 10 % Eier, 10 % Larven L1, 10 % 0+	0,3009-0,4075-0,2042	338	-305	-47,4
Überlebensrate plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 10 % 0+	0,2735-0,4075-0,2042	265	-378	-58,8
Überlebensrate plus 0 % Eier, 10 % Larven L1 und 53,54 % 0+	0,2735-0,4075-0,285	643	0	0
Fischschutz ab gewisser Körperbreite				
Fischschutz für Körperbreite >50 mm	Je Altersklassen ab 7 +	220	-423	-65,8
Fischschutz für Körperbreite >40 mm	Je Altersklassen ab 4 +	301	-342	-53,2
Fischschutz für Körperbreite >30 mm	Je Altersklassen ab 3 +	398	-245	-38,1
Fischschutz für Körperbreite >20 mm	Je Altersklassen ab 2 +	429	-214	-33,3

zeln eine markante Verbesserung der Populationen rheophiler Flussfische auftreten kann.

Je nach Standort ist in energiewirtschaftlich genutzten Fließgewässern daher abzuwägen, welche Maßnahmenkombination (Habitatverbesserungen und Fischschutz) bestmöglich dazu geeignet ist, Fischpopulationen in ihrem Bestand zu sichern und ihrer Entwicklung zu fördern.

Dank

Das Projekt „Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich - Populationsbiologische Grundlagen und Implikationen für den Fischschutz und Fischabstieg“ wurde über die Förderschiene Collective Research der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) finanziert (Projektnummer 857 801). Fördernehmer war Österreichs Energie und eine Co-Finanzierung erfolgte durch beteiligte Energieversorgungsunternehmen. An der Durchführung der Untersuchungen waren folgende Institutionen und Personen maßgeblich beteiligt: Normandeau Associates, Centre for Bio-robotics der Tallinn University of Technology, I AM HYDRO,

Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS) der Universität Stuttgart, Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen der TU Graz, Georg Fürnwegger sowie der Tierarzt Dr. Oliver Hochwartner. An alle anderen beteiligten Institutionen und deren zahlreiche Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen, die namentlich hier nicht erwähnt werden können, sei hiermit ein herzliches Dankeschön ausgesprochen.

Autoren

DI Dr. Andreas Zitek, M. Sc.
EcoScience
Alois-Czedik-Gasse ¾
1140 Wien, Österreich
andreas.zitek@ecoscience.at

Mag. Clemens Ratschan
ezb-TB Zauner GmbH
Marktstrasse 35
4090 Engelhartzell, Österreich
ratschan@ezb-fluss.at

Literatur

- [1] Pflugrath, B. D.; Saylor, R.; Engbrecht, K. M. et al.: Biological Response Models: Predicting Injury and Mortality of Fish During Downstream Passage through Hydropower Facilities. Pacific Northwest National Lab., Richland, WA, USA, 2020.
- [2] Radinger, J.; van Treeck, R.; Wolter, C.: Evident but context-dependent mortality of fish passing hydroelectric turbines. In: Conservation Biology 36 (2022), Nr. 3, S. e13 870.
- [3] Schneider, J.; Benigni, H.; Jaberg, H. et al.: Numerische Untersuchungen des Turbinendurchganges von Fischen. In: Mitteilungen der VAW der ETH Zürich (2021), Band 263, S. 477-486.
- [4] Turnpenny, A. W. H.; Clough, S.; Hanson, K. P.; Ramsay, R.; McEwan, D.: Risk assessment for fish passage through small, low-head turbines. London, 2000.
- [5] Schneider, J.; Ratschan, C.; Heisey, P. et al.: Flussabwärts gerichtete Fischwanderung an mittelgroßen Fließgewässern in Österreich. In: WasserWirtschaft 107 (2017), Heft 12, S. 39-44.
- [6] Farò, D.; Wolter, C.: Linking functional habitat and fish population dynamics modeling to improve river rehabilitation planning and assessment. In: Journal of Environmental Management (2024), Nr. 370, S. 122 331.
- [7] Farò, D.; Wolter, C.: Integrating Habitat Suitability and Larval Drift Modeling for Spawning-To-Nursery Functional Habitat Connectivity Analysis in Rivers. In: Water Resources Research 60 (2024), Nr. 9, S. e2023WR036827.
- [8] Zauner, G.; Pinka, P.; Moog, O.: Pilotstudie Oberes Donautal - Gewässerökologische Evaluierung neugeschaffener Schotterstrukturen im Stauwurzelbereich des Kraftwerks Aschach. Wien, 2001.
- [9] Zauner, G.; Jung, M.; Ratschan, C.; Mühlbauer, M.: Ökologische Sanierung von Fließstrecken und Stauhaltungen der österreichischen Donau auf dem Weg zur Zielerreichung nach Wasserrahmenrichtlinie. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 68 (2016), Heft 11, S. 503-518.
- [10] Zauner, G.; Jung, M.; Mühlbauer, M.; Hammerschmied, U.; Ratschan, C.: LIFE Flusslerlebnis Isar. Fischökologisches Monitoring. Bericht i. A. des Wasserwirtschaftsamt Landshut, 2022.
- [11] Ratschan, C.; Hoffman, C.; Zauner, M. et al.: In-situ-Erhebung der Schädigung von Fischen beim Durchgang großer Kaplan-Turbinen. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 33-37.
- [12] Zitek, A.; Gessl, W.; Mehlmauer, P. et al.: Barotrauma von Larven und Jungfischen bei der Turbinenpassage. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 28-32.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2553-7>

 Springer Professional

Turbinenpassage 

Geiger F. et al.: Zur Berechnung der Schädigungsraten von Fischen bei der Turbinenpassage. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 12/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020.

<https://sn.pub/o192lo>

Aktuelle Themen aus den Bereichen Energie, Wasser, Umwelt und Nachhaltigkeit –



Folgen Sie unserer **LinkedIn-Seite Springer Professional Energie + Nachhaltigkeit** und werden Sie Teil der Community! So bleiben Sie auf dem Laufenden und erhalten alle aktuellen Nachrichten und wichtigen Branchen-Infos unserer Online-Redaktion.

ZEITSCHRIFT FÜR
ENERGIEWIRTSCHAFT

WASSERWIRTSCHAFT

WASSER DE ABFALL

NACHHALTIGE
INDUSTRIE

Ergebnisse zur Illerstrategie 2020: Fischschäden an Einlaufrechen - Auswirkungen auf die Fischpopulation

Im Rahmen eines mehrjährigen Monitorings an fünf Laufwasserkraftwerken der Iller wurde die Wirkung von Einlaufrechen mit reduziertem Stababstand (20 mm) auf die Fischmortalität untersucht. Ziel war es, unter realen Betriebsbedingungen objektive Daten zur Anzahl, Artenzusammensetzung und potenziellen Ursachen von Fischverlusten zu gewinnen. Dabei kamen automatisierte Videosysteme sowie ergänzende hydraulische Messungen zum Einsatz. Im Zeitraum von Juli 2016 bis Januar 2019 wurden an der WKA Altusried rund 640 Stunden Videomaterial analysiert. Insgesamt wurden 660 Fische detektiert, darunter sieben autochthone Arten. Die mittlere tägliche Mortalität lag bei lediglich 0,82 Individuen. Trotz Anströmgeschwindigkeiten von bis zu 1,5 m/s - deutlich über dem empfohlenen Grenzwert von 0,5 m/s - blieb die Mortalitätsrate überraschend gering. Die Daten lassen darauf schließen, dass gesunde, lokal angepasste Fischarten den Rechenbereich aktiv meiden können. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Einlaufrechen mit 20 mm Stababstand unter den untersuchten Bedingungen keinen signifikanten Mortalitätsfaktor für geschlechtsreife Fische darstellen. Der ökologische Nutzen engerer Stababstände ist vor diesem Hintergrund kritisch zu hinterfragen. Statt rein technischer Maßnahmen erscheint die Kombination mit strukturverbessernden Maßnahmen im Gewässermanagement als ökologisch effektiver und nachhaltiger.

Dagobert Smija

1 Einleitung

An den Rechen von Laufwasserkraftwerken werden regelmäßig tote oder geschwächte Fische festgestellt. In vielen Fällen bleibt jedoch unklar, ob die beobachteten Individuen infolge hydraulischer Belastungen im unmittelbaren Rechenbereich verendet sind oder bereits vorgeschädigt beziehungsweise tot angeschwemmt wurden. Diese Unsicherheiten erschweren eine belastbare Bewertung des Kraftwerksrechens als potenziellen Mortalitätsfaktor.

Vor diesem Hintergrund werden zunehmend technische Maßnahmen zum Schutz der Fischfauna gefordert - insbesondere die Reduktion der Rechenstababstände auf bis zu 20 mm oder gar weniger. Derartige Forderungen basieren jedoch häufig auf einer unzureichenden wissenschaftlichen Evidenz. Gleichzeitig sind kleinere Stababstände mit erheblichen betrieblichen Herausforderungen verbunden, darunter eine gesteigerte Anfälligkeit für Verklausungen und Verstopfungen durch Treibgut, ein erhöhter Wartungsaufwand sowie mögliche Einschränkungen der Kraftwerksleistung.

Der tatsächliche ökologische Nutzen engerer Rechenstababstände zum Schutz von Fischpopulationen konnte bislang nicht eindeutig empirisch belegt werden. Vielmehr ist der Rückgang von Fischartenvielfalt und Bestandsgrößen auf ein komplexes Zusammenspiel zahlreicher Umweltbelastungen zurückzuführen. Neben dem Klimawandel wirken anthropogene Stressoren, wie Gewässerverschmutzung, Prädation durch invasive

Arten sowie tiefgreifende strukturelle Eingriffe - etwa durch Siedlungsbau, Flusskorrekturen, Gewässerausbau, Landwirtschaft, industrielle Nutzung u. a. die Wasserkraft oder Freizeitaktivitäten -, auf die aquatischen Ökosysteme ein.

Die in **Bild 1** dargestellten Faktoren beeinflussen die Fischfauna auf vielfältige Weise: Sie erhöhen die Mortalität, vermindern die Reproduktionsleistung, behindern die Wiederbesiedlung und stören ökologische Interaktionen. Dabei treten die meisten dieser Einflüsse nicht isoliert auf, sondern wirken in Kombination, wobei sich ihre Effekte häufig gegenseitig verstärken. Die Ausprägung dieser Einflussfaktoren variiert zudem

Kompakt

- Es wurde die Wirkung von Einlaufrechen mit reduziertem Stababstand (20 mm) auf die Fischmortalität untersucht.
- Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass gesunde, lokal angepasste Fischarten den Rechenbereich aktiv meiden können.
- Der ökologische Nutzen engerer Stababstände ist kritisch zu hinterfragen, strukturverbessernde Maßnahmen im Gewässermanagement erscheinen als ökologisch effektiver und nachhaltiger.

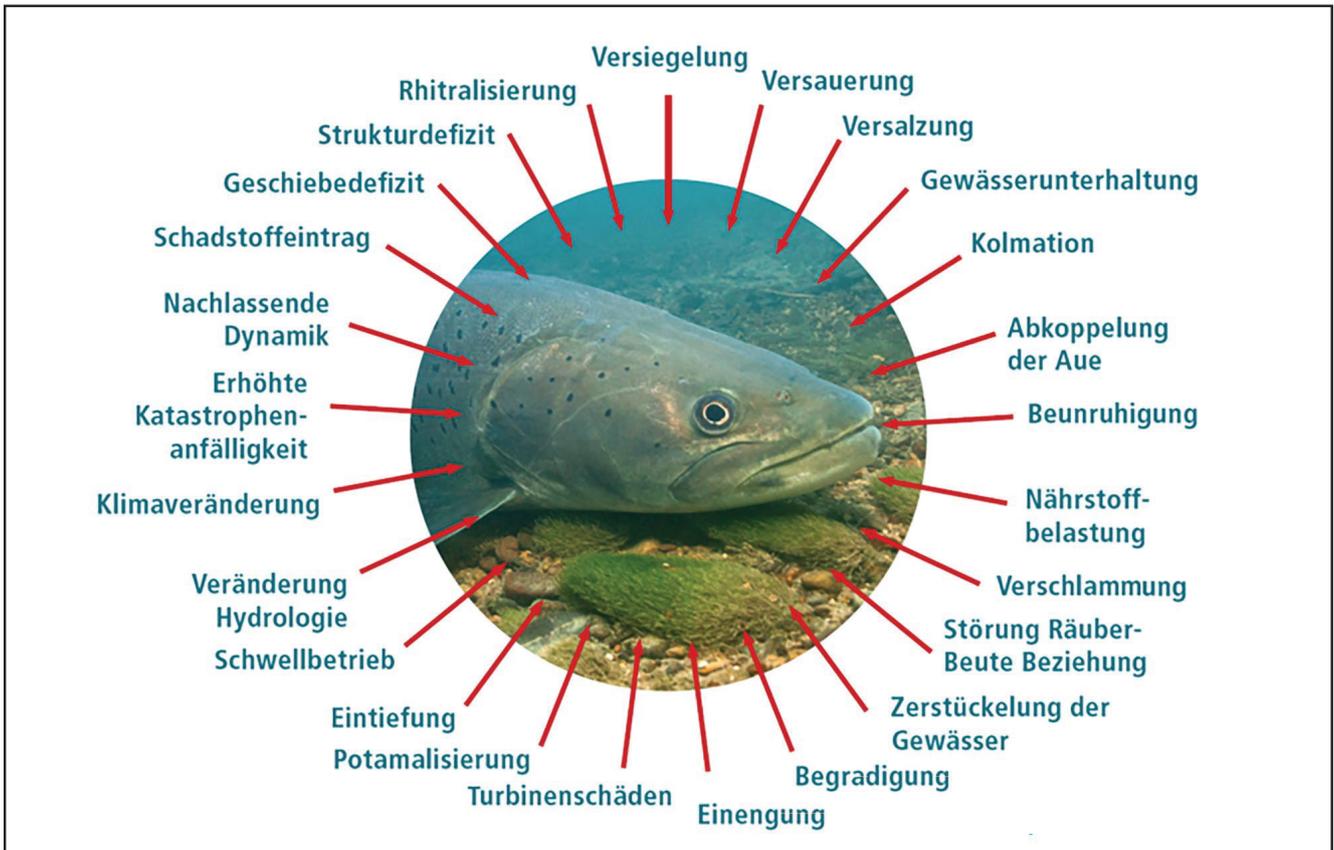


Bild 1: Einflussfaktoren auf Fischpopulation

stark zwischen unterschiedlichen Gewässern, was eine pauschale Bewertung erschwert.

Gemäß dem Prinzip des limitierenden Faktors kann bereits ein einzelner ungünstiger Einfluss entscheidend sein. In der Regel handelt es sich jedoch um komplexe Wirkungsgefüge, deren relative Bedeutung schwer quantifizierbar ist.

Ziel des vorliegenden Monitorings ist es daher, objektive und reproduzierbare Daten zur Anzahl, Artzusammensetzung und zu potenziellen Ursachen von Fischverlusten an Einlaufrechen zu erheben - mit besonderem Fokus auf potamodrome Fischarten im Donau-Einzugsgebiet. Im Mittelpunkt der Untersuchung steht die Frage, ob erhöhte Anströmgeschwindigkeiten vor dem Rechen (über dem fischereifachlich empfohlenen Grenzwert von 0,5 m/s) zu einer signifikanten Erhöhung der Mortalitätsraten führen. Der Einsatz eines automatisierten, hochauflösenden Videomonitorsystems an mehreren Laufwasserkraftwerken soll einen wissenschaftlich fundierten Beitrag zur Versachlichung der bislang häufig normativ oder emotional geführten Diskussion leisten. Die Analyse der gewonnenen Daten ermöglicht eine realitätsnahe Einschätzung der Rolle von Kraftwerksrechen im Zusammenhang mit Fischmortalität und liefert eine belastbare Grundlage für künftige Maßnahmen zur ökologischen Optimierung technischer Anlagen im Rahmen eines integrativen Gewässermanagements.

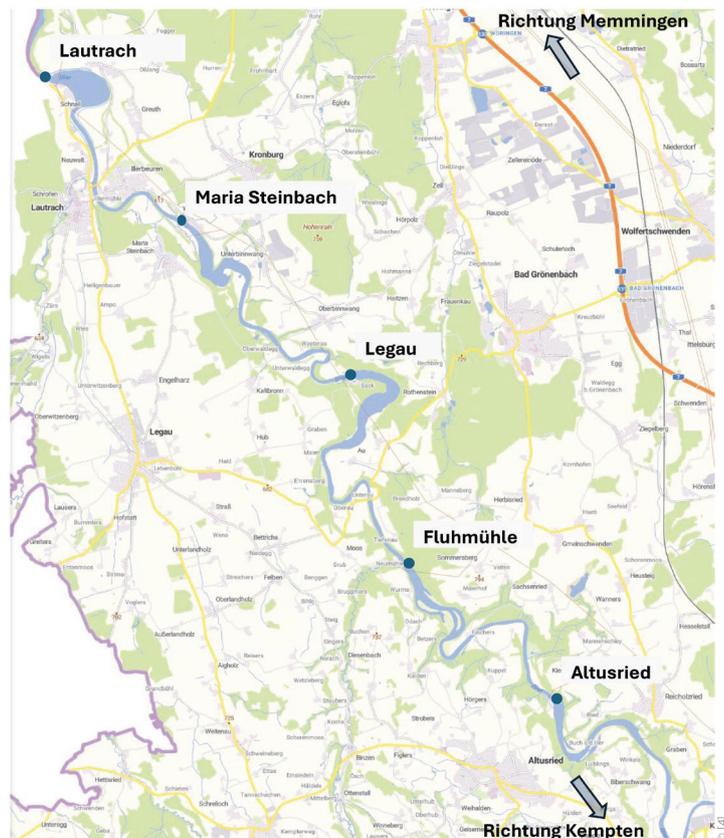


Bild 2: Überblick über das ISOBEL-Projektgebiet zwischen der Illerstufe 4 bei Altusried und der Illerstufe 8 bei Lautrach



Bild 3: Videomonitoring des Rechenguts an der WKA Altusried



Bild 4: Rechenreinigung am Kraftwerk Altusried

2 Projektgebiet, Art und Umfang des Monitorings

Im Rahmen der Illerstrategie wurden bis Ende 2017 im rund 30 km langen Untersuchungsabschnitt an der Iller (**Bild 2**) die bestehenden Einlaufrechen vor insgesamt 18 Turbinenanlagen durch sogenannte Fischbauchrechen mit einem lichten Stababstand von 20 mm ersetzt. Ziel dieser Maßnahme war der Schutz insbesondere größerer und geschlechtsreifer Fische vor einer potenziell letalen Turbinenpassage. Die in diesem Fließgewässerabschnitt vorkommenden Leit- und Zielfischarten sind den Fischregionen der Äsche und Barbe zuzuordnen.

Zur wissenschaftlichen Begleitung der Maßnahme wurden an fünf Staustufen zwischen Altusried und Lautrach sämtliche Rechenreinigungsanlagen durch die LEW Wasserkraft GmbH mit einem automatisierten, hochauflösenden Videosystem ausgestattet. Dieses System ermöglichte eine kontinuierliche visuelle Erfassung der Rechenreinigungsvorgänge - bei Tageslicht sowie nachts mittels Infrarottechnik. Auf diese Weise konnten sowohl die Quantität als auch die Artenzusammensetzung der anfallenden Fischverluste dokumentiert und systematisch ausgewertet werden.

Die Aufzeichnungen wurden gespeichert und durch Fachpersonal ausgewertet (**Bild 3**). Die wissenschaftliche Analyse erfolgte durch Tobias Epple (Universität Augsburg, Institut für Geographie) sowie Christoph Böhm (im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Universität Innsbruck).

Zur Untersuchung der Wanderbewegungen und Abwanderungspfade von Fischen im Untersuchungsabschnitt wurde ergänzend ein individuelles Markierungssystem eingesetzt: Alle Fische mit einer Körperlänge über 20 cm wurden mit einer nadelfreien Injektionsmethode an artspezifischen Körperstellen markiert. Aufgrund der Konstruktion der Zählbecken in den Fischaufstiegsanlagen war eine Rückwanderung über diese Anlagen ausgeschlossen, so dass abwanderungswillige Individuen ausschließlich über Turbinen oder die Wehrkrone bei

Abflüssen oberhalb der Ausbauwassermenge >80 m³/s den Flussabschnitt verlassen konnten.

Das Videomonitoring wurde für die WKA Altusried (**Bild 4**) im Zeitraum vom 09.07.2016 bis 08.10.2018 und für die vier übrigen Illerstaustufen (Fluhmühle, Legau, Maria Steinbach, Lautrach) vom 01.02.2018 bis 31.01.2019 durchgeführt. Die

Tabelle 1: Zwischen dem 09.07.2016 und 08.10.2018 im Rechengut der Illerstufe 4 geborgene Fische, Anteil allochthoner Arten: 35 % (Quelle: [1])

Fischart	Anzahl
Aal (Besatz)	92
Äsche	110
Bachforelle	12
Barbe	2
Brachse	2
Döbel	24
Flussbarsch	7
Hecht	7
Huchen	1
Karpfen	18
kleine Cypriniden	208
Nase	1
Regenbogenforelle (Besatz)	133
Rotauge	3
Rutte	3
Saibling (Besatz)	4
Schleie	1
Unbekannt	30
Wels	1
Zander	1
Summe	660



Bild 5: Position der Videokamera (A) und Spülrinne (B)

Kamera war direkt mit der Steuerung der Rechenreinigung gekoppelt und aktivierte sich automatisch bei Reinigungsvorgängen (**Bild 5**). Die dabei erzeugten ca. 50-sekündigen Videoausschnitte wurden gespeichert und regelmäßig hinsichtlich der Fischdetektion analysiert.

Ein hydraulisch relevanter Aspekt der Untersuchung war die Erfassung der Anströmgeschwindigkeit am Rechen. Während der fischereifachlich empfohlene Maximalwert bei 0,5 m/s liegt, wurden in der Praxis Geschwindigkeiten von bis zu 1,5 m/s gemessen - also mehr als das Dreifache des Richtwerts.

Aufgrund der spezifischen Konstruktion der Rechengutbergrung an der WKA Altusried (Transport über Spülrinne nach Korbbefüllung) eignete sich dieser Standort besonders für eine standardisierte Videoauswertung. Die nachfolgenden Auswertungen beziehen sich daher primär auf diese Anlage.

3 Ergebnisse

Während des 27-monatigen Untersuchungszeitraums an der WKA Altusried wurden insgesamt 640 Stunden Videomaterial aufgezeichnet und ausgewertet (**Tabelle 1**).

Dabei konnten 660 Individuen detektiert und 18 Fischarten identifiziert werden. Davon gelten sieben Arten als autochthon für die Illerregion (Äsche *Thymallus thymallus*, Bachforelle *Salmo trutta fario*, Barbe *Barbus barbus*, Döbel *Squalius cephalus*, Nase *Chondrostoma nasus*, Rutte *Lota lota*, Huchen *Hucho hucho*). Drei weitere Arten - Aal (*Anguilla anguilla*), Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) und Saibling (*Salvelinus fontinalis*) - stammen aus Besatzmaßnahmen und gelten als allochthon.

Die am häufigsten detektierten Arten waren Aal, Äsche und Regenbogenforelle. Kleinere Cypriniden konnten aufgrund der limitierten Bildauflösung nur in einer Sammelkategorie erfasst werden.

Die mittlere Zahl an Fischen, die im Rahmen der Rechenreinigung tot geborgen wurden, lag bei 0,82 Individuen pro Tag bzw. 23,6 Individuen pro Monat. Diese Werte sind als konservativ zu interpretieren, da das Kamerasystem keine Unterscheidung zulässt, ob die Fische bereits tot angeschwemmt wurden oder direkt am Rechen verendet sind. Somit ist anzunehmen, dass die tatsächliche Mortalitätsrate am Rechen geringer ausfällt als die dokumentierte Zahl vermuten lässt.

Nicht erfasst werden konnten kleinere Fische (<20 cm) und Fischbrut, die potenziell durch die Rechenstäbe hindurchtreten und in der Folge durch Turbinenpassage geschädigt oder getötet werden könnten. Aussagen zur Mortalität dieser Gruppen sind auf Basis des vorliegenden Monitoringsystems nicht möglich.

4 Diskussion der Ergebnisse aus dem Kameramonitoring und den hydraulischen Messungen im Bereich der Einlaufrechen mit 20 mm Rechenstababstand

Die durchgeführte videobasierte Überwachung ermöglichte eine systematische Erfassung von Fischereignissen im Bereich der Einlaufrechen an Laufwasserkraftwerken mit reduziertem Stababstand (20 mm). Dabei wurden wichtige Erkenntnisse, aber auch methodische Grenzen identifiziert:

Nicht ableitbar aus dem Kamera-Monitoring:

- Die Unterscheidung, ob Fische bereits tot angeschwemmt wurden oder erst im Bereich des Rechens verendet.
- Der Abstiegszweck oder die Abwanderungsabsicht der Fische.
- Konkrete Todesursachen (z. B. mechanische Verletzung, Erschöpfung, Turbinenschaden).
- Auswirkungen auf kleinere Fische (<20 cm), insbesondere im Hinblick auf mögliche Schädigungen bei der Turbinenpassage.

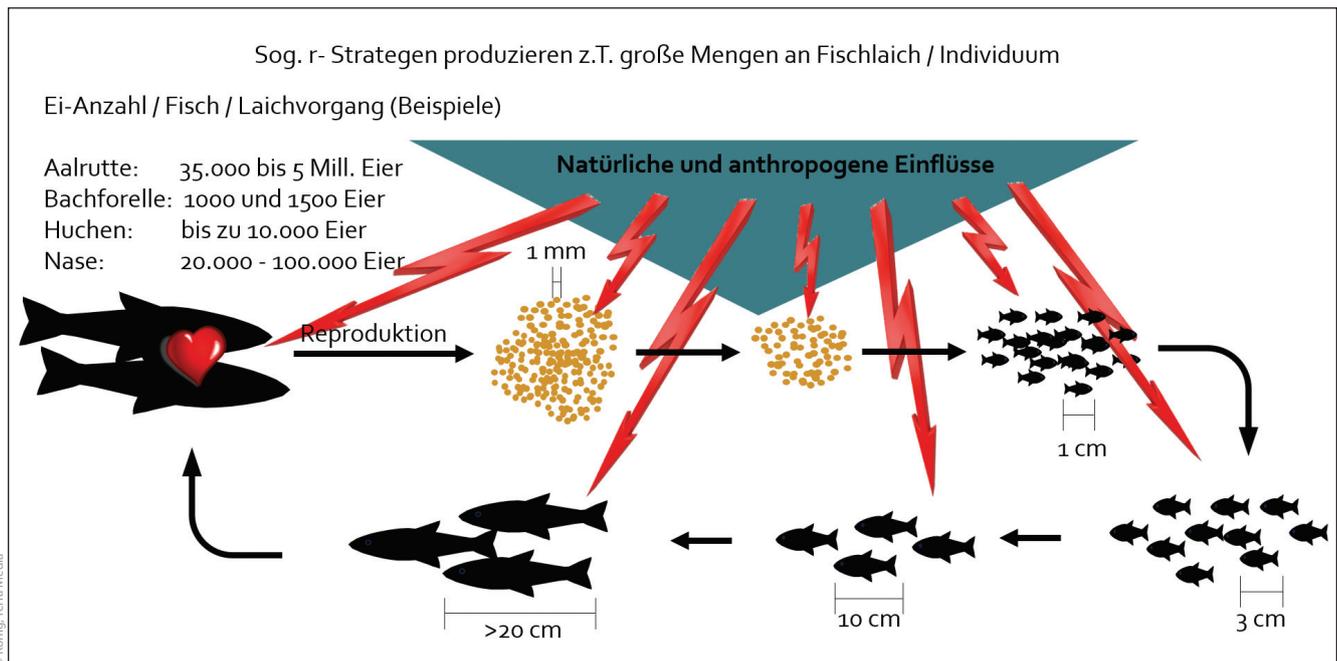


Bild 6: Grafik Fortpflanzungs-Strategien ausgewählter Fische

- Mortalität oder Schädigung von Fischbrut bzw. sehr jungen Entwicklungsstadien.
- Ableitbar aus dem Kamera-Monitoring:
- Anzahl der im Rechenbereich geborgenen Fische mit einer Körperlänge >20 cm.
 - Artenzusammensetzung der beobachteten Individuen.
 - Abschätzung des Mortalitätsausmaßes im Umfeld des Kraftwerks, ohne direkte Rückschlüsse auf Rechen- oder Turbinenwirkung.

Die gewonnenen Daten liefern somit einen wertvollen, aber selektiven Beitrag zur Bewertung der fischökologischen Auswirkungen im Kraftwerksbereich.

5 Bewertung des Mortalitätsfaktors Kraftwerksrechen und der Anströmgeschwindigkeit vor dem Einlaufrechen

Im Rahmen eines Feldversuchs wurde an mehreren Kraftwerksstandorten der LEW Wasserkraft GmbH an der Iller der Stababstand der Einlaufrechen von 50 mm auf 20 mm reduziert. Ziel war es, die Auswirkungen auf die Fischmortalität unter realen Betriebsbedingungen zu untersuchen. Die begleitenden hydraulischen Messungen ergaben maximale Anströmgeschwindigkeiten von bis zu 1,5 m/s, ein Wert, der die fischereifachlich empfohlene Maximalgrenze von 0,5 m/s deutlich überschreitet [2].

Theoretisch ist unter diesen Bedingungen, insbesondere für schwimmschwache Arten, mit einer erhöhten Gefahr des Anpressens an den Rechen und folglich einer höheren Mortalität zu rechnen. Dennoch ergab das Kameramonitoring eine auffallend geringe Mortalitätsrate, was die Annahme stützt, dass gesunde, lokal angepasste Fischarten auch unter hydraulisch anspruchsvollen Bedingungen in der Lage sind, den Ein-

laufbereich der Rechen selbstständig zu verlassen und zu meiden.

Diese Befunde werden durch regelmäßige Elektrofischungen gestützt, die stabile, reproduktionsfähige Populationen autochthoner Fischarten dokumentieren. Daraus ergibt sich die Einschätzung, dass der Einlaufrechen unter den gegebenen Rahmenbedingungen keinen relevanten Mortalitätsfaktor für die untersuchten Fischbestände darstellt.

6 Fazit und Handlungsempfehlung

Aus den Erkenntnissen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

- Die dokumentierte Anzahl an Fischen mit Rechenkontakt in Altusried war mit durchschnittlich 0,82 Individuen pro Tag bzw. 23,6 Individuen pro Monat sehr gering. Auch unter Berücksichtigung potenzieller Dunkelziffern bleibt das Mortalitätsniveau niedrig.
- Vor diesem Hintergrund erscheint die Mortalität geschlechtsreifer Fische an Einlaufrechen von Laufwasserkraftwerken als einzelner Einflussfaktor im Vergleich zu den genannten großräumigen und strukturellen Belastungen als eher nachrangig. Ihre Bedeutung für den Erhalt standorttypischer Fischpopulationen ist als gering einzustufen.
- Die registrierten Funde umfassen auch Fische, deren Todesursache nicht im Rechenbereich liegt, wie z. B. Prädation durch Vögel (Kormoran), natürliche Mortalität nach dem Laichgeschäft (insbesondere Äsche), Verletzungen durch Angler oder allgemeine natürliche Ursachen und Einflussfaktoren
- Das videobasierte Monitoring stellt ein wertvolles Instrument zur objektiven Bewertung der Fischmortalität an technischen Anlagen dar. Eine Fortführung - idealerweise unterstützt durch KI-basierte Auswertungssysteme - wird empfohlen.

Bemerkenswert ist, dass die im Rahmen des Monitorings erfassten geringen Mortalitätsraten unter hydraulischen Bedingungen auftraten, bei denen die fischereifachlich empfohlene maximale Anströmgeschwindigkeit von 0,5 m/s deutlich überschritten wurde - mit gemessenen Werten von bis zu 1,5 m/s. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu gängigen theoretischen Annahmen und deutet auf eine bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit der lokalen Fischgemeinschaft hin.

Ein zusätzlicher Aspekt dieser ökologischen Resilienz liegt in den Fortpflanzungsstrategien vieler Fischarten (**Bild 6**), bei denen eine hohe Larvensterblichkeit biologisch einkalkuliert ist. Nur ein geringer Anteil der Fischlarven erreicht das geschlechtsreife Alter, doch reicht dieser aus, um die Reproduktion und den Fortbestand der Populationen zu sichern. Die erfolgreiche Aufrechterhaltung stabiler Bestände trotz hoher natürlicher Mortalitätsraten ist Ausdruck evolutiv entwickelter Überlebensstrategien.

Vor diesem Hintergrund sollten Maßnahmen zum Fischschutz nicht primär auf technische Nachrüstungen, wie die Reduktion der Rechenstababstände, fokussiert werden. Vielmehr sind strukturverbessernde Maßnahmen im Gewässersystem ökologisch wirkungsvoller und langfristig nachhaltiger. Hierzu zählen insbesondere [5] bis [10]:

- die Schaffung funktionaler Umgehungsgewässer mit Leitfunktion,
- die Förderung geeigneter Laichhabitats im Hauptstrom,
- die Anlage von Kaltwasserrefugien,
- die Wiederherstellung standorttypischer Uferstrukturen sowie
- die stärkere Vernetzung von Fließgewässern und Auenlandschaft.

Dagobert Smija

Ecological assessment of fish mortality at intake screens with reduced bar spacing in run-of-river hydropower plants on the Iller river

As part of a multi-year monitoring program at five run-of-river hydropower plants on the Iller River, the impact of intake screens with reduced bar spacing (20 mm) on fish mortality was investigated under real operating conditions. The study aimed to obtain objective data on the number, species composition, and possible causes of fish losses using automated video systems and supplementary hydraulic measurements. Between July 2016 and January 2019, approximately 640 hours of video footage were analyzed at the Altusried site. A total of 660 fish were detected, including seven native species. The average daily mortality rate was only 0.82 individuals. Despite approach velocities of up to 1.5 m/s - well above the recommended maximum of 0.5 m/s - fish mortality remained surprisingly low. The findings suggest that healthy, locally adapted fish species are capable of actively avoiding the intake area. The results indicate that under the conditions studied, intake screens with a 20 mm bar spacing do not constitute a significant mortality factor for mature fish. Therefore, the ecological benefit of narrower bar spacing should be critically evaluated. Rather than relying solely on technical retrofitting, combining such measures with habitat-improving strategies appears to be more ecologically effective and sustainable in the long term.

Solche Maßnahmen tragen nicht nur zur Verbesserung der Lebensraumqualität bei, sondern stärken auch die Klimaresilienz des Ökosystems. Damit leisten sie einen entscheidenden Beitrag zur langfristigen Erhaltung artenreicher und widerstandsfähiger Fischpopulationen unter den Bedingungen des fortschreitenden Klimawandels.

Autor

Dr. Dagobert Smija

Beauftragter für Gewässerfragen des Fischereiverbandes Schwaben e. V.
Am Hahnreibach 7
Augsburg 86153
dagobert.smija@t-online.de

Literatur

- [1] Böhm, C.: Untersuchungen zu Fischfunden am Kraftwerksrechen der Illerstufe 4 bei Altusried. Bachelorarbeit am Institut für Zoologie der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 2020.
- [2] Riedelbauch, S.: Bericht Untersuchung der Anströmung am Kraftwerk „Legau“, Simulation und Messung der Geschwindigkeit am Rechen-eintritt, Geschwindigkeitsmessung am 20 mm Rechen-eintritt. Stuttgart, 2017.
- [3] Hanfland, S.: Die Regenbogenforelle in Bayern - Pro und Contra Besatz in freien Gewässern. In: WasserWirtschaft 110 (2020), Heft 2-3, S. 12.
- [4] Epple, T.; Wetzel, K. F.; Böhm, C.: Auswertungen von Videoaufnahmen der Rechenreinigungsvorgänge an den Kraftwerken Illerstufe 4 bis Illerstufe 8 der LEW Wasserkraft GmbH zur Identifikation geborgener Fische. Augsburg, Innsbruck, 2021.
- [5] Epple, T.; Wetzel, K. F.; Friedmann, A. (2018). Einbau und Pflege von Kies-laichplätzen in naturnah gebauten Fischaufstiegsanlagen. In: WasserWirtschaft 108 (2018), Heft 9, S. 63-68.
- [6] Epple, T.; Friedmann, A.; Wetzel, K. F. (2019). Illerstrategie 2020 und EU-Projekt ISOBEL schließen Lücken zwischen Forschung und Praxis. In: WasserWirtschaft 109 (2019), Heft 2-3, S. 68-74.
- [7] Epple, T.; Born, O.; Friedmann, A. (2019). Schritte zum guten ökologischen Potenzial - Fischaufstiegsanlagen und Ersatzlebensräume an den Illerstaustufen der LEW Wasserkraft GmbH. In: WasserWirtschaft 109 (2019), Heft 10, S. 12-16.
- [8] Epple, T.; Friedmann, A.; Wetzel, K. F. (2020). Der Lebenszyklus der Nase (*Chondrostoma nasus*) vor und nach dem Bau von Kraftwerksanlagen in der mittleren Iller. In: Deutscher Angelfischer-Verband e. V. (Hrsg.): Die Nase (*Chondrostoma nasus*) - Fisch des Jahres 2020. 2020, S. 50-55.
- [9] Epple, T.: Eine ganzheitliche Betrachtung von Maßnahmen zur Förderung potamodromer Fischarten in subalpinen Flüssen am Beispiel der mittleren Iller. Dissertation, Universität Augsburg, 2021.
- [10] Epple, T.; Born, O.; Wetzel, K.-F.; Friedmann, A.: Ein Konzept zur Förderung potamodromer Fischarten in staugeprägten Flüssen des Donau-einzugsgebiets am Beispiel der mittleren Iller. In: Hydrologie & Wasserbewirtschaftung 65 (2021), Heft 44, S. 156-179.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2550-x>

 Springer Professional

Einlaufrechen



Rosenfellner, V.; Adam, B.: Verhalten von Fischen am Einlaufrechen des Pumpspeicherkraftwerks Geesthacht. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 12/2016. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016
<https://sn.pub/9h3brx>

Bewertung der Wirksamkeit von habitatverbessernden Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen im Inn

Am Inn werden großflächige Gewässerrenaturierungen durchgeführt, in deren Rahmen verschiedene Habitate, wie kiesgeprägte Laichplätze, Jungfischhabitate und deren Vernetzung durch unterschiedlich gestaltete Fischaufstiegsanlagen wiederhergestellt und unterhalten werden. Die umfassende wissenschaftliche Evaluierung dieser Maßnahmen erfolgt in einem mehrstufigen Ansatz. Dafür werden verschiedene Methoden eingesetzt, u. a. ein Monitoring von Renaturierungsmaßnahmen sowie die Implementierung einer modernen und langfristig angelegten PIT-Telemetrie-Infrastruktur. Zudem findet ein intensiver Austausch mit Interessengruppen statt, der zu einer besseren Koordination und erfolgreicherer Umsetzung der Maßnahmen beiträgt.

Christoffer Nagel, Joachim Pander und Jürgen Geist

1 Hintergrund

Mit einem mittleren Abfluss (MQ) von 737 m³/s am Pegel Passau-Ingling ist der Inn der wasserreichste Fluss Bayerns. Als Alpenfluss mit zahlreichen Nebengewässern spielt er eine zentrale Rolle für die ökologische Vielfalt der Region, insbesondere für kaltstenothe und streng geschützte Fischarten wie Äsche und Huchen. Diese Artenvielfalt macht den Inn zu einem bedeutenden Hotspot der Biodiversität in Süddeutschland. Allerdings wurde der Inn in den letzten Jahrhunderten stark durch den Menschen verändert, was sich in seiner Morphologie widerspiegelt, die durch begradigte Ufer und eine longitudinale Fragmentierung durch diverse Staustufen gekennzeichnet ist.

Die Verbund Innkraftwerke GmbH (Verbund) betreibt derzeit 13 Wasserkraftwerke am bayerischen Inn. Im Rahmen einer Vereinbarung mit dem Freistaat Bayern hat sich Verbund verpflichtet, neben der notwendigen Wiederherstellung der fischökologischen Durchgängigkeit auch umfangreiche habitatverbessernde Maßnahmen am Inn umzusetzen [1]. Dadurch soll ein wesentlicher Beitrag zum Erhalt und der Verbesserung der Fischpopulation am Inn geleistet werden. Das seit 2011 auf den Weg gebrachte Maßnahmenpaket beinhaltet neben der durch die Wasserrahmenrichtlinie geforderten Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit an allen Staustufen auch die Verbesserung der Verfügbarkeit wichtiger Schlüsselhabitate, deren Habitatqualität sowie deren Vernetzung (**Bild 1**). Dies betrifft einerseits die Wiederherstellung der longitudinalen Konnektivität durch Fischaufstiegsanlagen (FAA) in unterschiedlichen Bauweisen (**Bild 1b**) sowie deren Ausgestaltung in verschiedenster Dimensionierung hinsichtlich ihrer Länge, Abflussmenge und Möglichkeiten zur dynamischen Steuerung des Abflusses. Darüber hinaus wird die Verbesserung der lateralen Konnektivität durch intensive Renaturierungsmaßnahmen der Uferzonen in Kombination mit der Anbindung und Restaurierung von Altwässern (**Bild 1c**) und bedeutenden Nebengewässern gefördert.

Ein zentraler Aspekt der umgesetzten Renaturierungsmaßnahmen ist auch die Neuanlage und der Unterhalt kiesgeprägter Schlüsselhabitate im Hauptfluss und seinen Nebengewässern (**Bild 1a**). Die Funktionalität dieser Habitate ist insbesondere für die Reproduktion der typischen kieslaichenden Zielarten am Inn, wie Äsche, Huchen, Nase und Barbe, von essenzieller Bedeutung. Ein weiterer Bestandteil der Vereinbarung zwischen Verbund und dem Freistaat Bayern ist die wissenschaftliche Evaluierung der umgesetzten Maßnahmen. Der Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der Technischen Universität München (TUM) ist dafür seit 2013 wissenschaftlicher Partner von Verbund und untersucht in einem mehrstufigen Ansatz und mit einer großen Bandbreite an eingesetzten Methoden die zum Fischpopulationsschutz umgesetzten Maßnahmen.

2 Der mehrstufige Forschungsansatz am Inn

2.1 Evaluierung der Habitatqualität

In einem ersten Forschungsprojekt („Bewertung von habitatverbessernden Maßnahmen zum Schutz von Fischpopulationen“) wurden die abiotischen und biotischen Wirkpotenziale der umgesetzten Maßnahmen anhand von Zielarten sowie deren unterschiedlichen Lebensstadien bewertet. Dafür wurden zunächst verschiedene Labor- und Freilandstudien durchgeführt, um bestehende Wissenslücken in der Ökologie der Zielarten zu schließen. Im Rahmen dieser Untersuchungen konnten, insbesondere für die Nase, wichtige neue und unmittelbar praxisrelevante Erkenntnisse zur Bedeutung der Substratqualität für den Schlupf- und Entwicklungserfolg der Larven gewonnen werden [2]. Zudem wurde gezeigt, dass sich die Qualität von Nasenlaichplätzen mit gezielten Renaturierungsmaßnahmen einfach und effektiv verbessern lässt [3].

In einem nächsten Schritt wurde ein umfassendes System- und Prozessverständnis des Inns und seiner Teilhabitate (z. B.



Bild 1: Renaturierte Fischlebensräume am Inn: a) Kiesgeprägte Laichplätze im Unterwasser der Staustufe Wasserburg, b) die naturnahe und dynamisch dotierbare FAA Ering-Frauenstein, c) das Altwasser Nasenloch im Oberwasser der Staustufe Neuötting

Hauptstrom, Altarme, Nebengewässer) aufgebaut. In diesem Zusammenhang wurde auch eine Evaluierung verschiedener Methoden zur Erhebung des Fischbestands durchgeführt, bei der sich gezeigt hat, dass die Elektrofischung von standardisierten Untersuchungsstrecken den Fischbestand am repräsentativsten charakterisiert [4]. Zudem wurden renaturierte Uferzonen in den Zubringern [5] und dem Hauptstrom [6] untersucht. Dabei wurde ersichtlich, dass diese Renaturierungsmaßnahmen wichtige Habitate für die Jungstadien von Zielarten, wie Nase, Barbe und Äsche, bereitstellen können, aber auch dass die Habitatqualität der Uferzonen deutlich von den natürlich hohen Abflussschwankungen des Inns saisonal geprägt wird [6].

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Projektphase lag auf der Bewertung der Lebensraumfunktion der am Inn mehrfach umgesetzten naturnahen FAA [7], [8], [9]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigten, dass diese Systeme bei entsprechender Ausgestaltung Habitate für den ganzen Lebenszyklus bedrohter Fischarten, wie Äsche, Nase und Mühlkoppe, bereitstellen können und dass diese Arten dort auch erfolgreich ablaichen können [7], [8]. Dies ist insbesondere immer dann der Fall, wenn beispielsweise schnell fließende, kiesgeprägte Abschnitte und strömungsberuhigte, besonnte und flache Bereiche in enger Wechselfolge angelegt werden. Durch die Integration von strömungsberuhigten Auentümpeln in naturnahe FAA werden zudem auch für geschützte Stillwasserarten wie den Bitterling Lebensräume geschaffen [8]. Damit können naturnahe FAA in von Wasserkraft geprägten Fließgewässern neben ihrer zentralen Funktion als Wanderkorridor auch einen wichtigen Beitrag

zur Habitatdiversität und somit zur Förderung der aquatischen Biodiversität leisten. Dies konnte neben der Bedeutung für Fische auch für die Organismengruppe der Makroinvertebraten bestätigt werden [9]. Um die Lebensraumfunktion naturnah gestalteter FAA zu erhalten, sind in vom Menschen stark veränderten Gewässersystemen, wie dem Inn, jedoch regelmäßige Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen, wie die Aufbereitung von Kieslaichplätzen oder die Entlandung von Stillwasserzonen, erforderlich. Idealerweise wird dies, wie am Inn, in einem adaptiven Management vollzogen, bei dem die neuesten Erkenntnisse aus den wissenschaftlichen Untersuchungen im Sinne einer effektiven Zielerreichung unmittelbar mit einfließen.

Da neben der Habitatqualität vor allem auch die Vernetzung der verschiedenen Habitattypen zur Bewertung der Gesamtfunktionalität wichtig ist, werden in einem zweiten Ansatz (Kapitel 2.2) die räumlich-zeitlichen Fischwanderungen und die saisonale Habitatnutzung charakterisiert. Dies wird dazu beitragen, die Lebensraumansprüche der Zielarten im System Inn während verschiedener Lebensphasen und in Abhängigkeit sich verändernder Umweltbedingungen besser zu verstehen. Mit der Kombination beider Projektteile lassen sich evidenzbasierte Strategien ableiten, um die Populationen von Zielarten und wichtige ökologische Prozesse gezielt fördern zu können.

2.2 Evaluierung der räumlich-zeitlichen Vernetzung

Aufgrund der beschriebenen Erkenntnisse aber auch der Einschränkungen des Habitat-Projektes wird seit 2022 in einem weiteren Forschungsprojekt („Untersuchung des Wanderverhaltens von Fischen mittels PIT-Tag-Technologie“) die räumlich-zeitliche Habitatnutzung der Innfische untersucht. Dafür werden bis zu 100 000 Fische mit PIT-Tags (Passive Integrated Transponder) ausgestattet und ihre individuellen Bewegungsmuster mithilfe einer systemisch angelegten Antenneninfrastruktur, die für das Projekt installiert wurde, nachverfolgt. Die Antenneninfrastruktur umfasst aktuell 40 Detektionsstandorte in FAA, Altwässern und bedeutenden Nebengewässern entlang eines über 150 km langen Flusskorridors. Im Rahmen der Projektlaufzeit (bisher 30 Monate) wurden bereits 22 000 Fische aus 14 Arten mit PIT-Tags markiert und mehr als 2,4 Mio. Detektionen aufgezeichnet.

Neben der Identifikationsnummer des PIT-Tags werden für jeden markierten Fisch auch Gewicht und Länge erfasst, um bei einem Wiederfang der Fische Aussagen zu ihrem individuellen

Kompakt

- Am Inn finden großräumige Renaturierungsmaßnahmen statt, deren Erfolg in einem mehrstufigen und langfristigen Ansatz wissenschaftlich evaluiert wird.
- Durch die umfassenden Renaturierungen wird ein wertvoller und messbarer Beitrag zum Schutz der Fischpopulationen am Inn geleistet, was sich durch zahlreiche Studien belegen lässt.
- Die Umsetzung und Effektivität der Maßnahmen werden durch die intensive Einbindung verschiedener Interessengruppen unterstützt und im Rahmen eines adaptiven Managements realisiert.

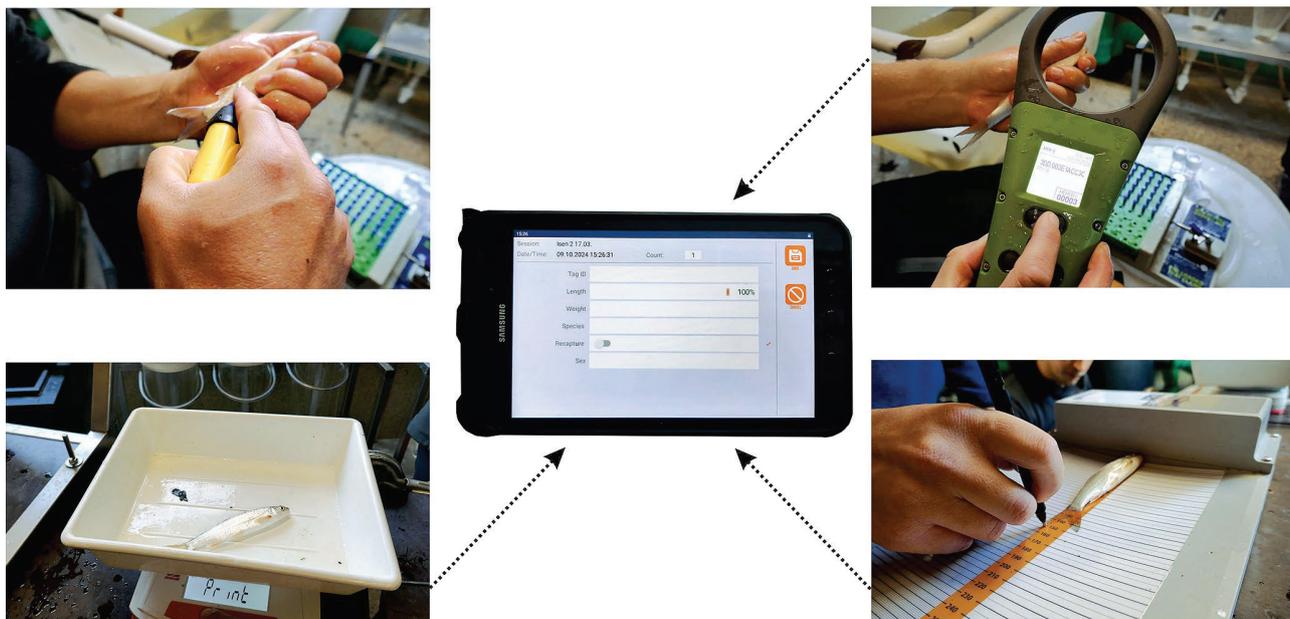


Bild 2: Schematische Darstellung der PIT-Markierung und der biometrischen Datenaufnahme im Rahmen der Markierung: links oben: Implantierung des Transponders mit vorgeladener Einmalkanüle, rechts oben: Auslesen der PIT-ID, rechts unten: Elektronische Längenmessung, links unten: Elektronische Erfassung des Fischgewichts, Mitte: Digitale Datenübertragung mittels Bluetooth

Wachstum und damit auch zur Produktivität des Inns treffen zu können. Die gewählte Methodik zur Markierung der Fische ist dabei besonders fischschonend. Bei der Markierung der Fische erfolgt eine digitale Messung von Gewicht und Länge der Fische sowie eine automatische und unmittelbare Übertragung dieser Daten in eine Datenbank (**Bild 2**). Dadurch werden eine sehr kurze Behandlungsdauer und eine möglichst geringe Belastung der Fische während der Markierung sichergestellt, was im Einklang mit dem 3-R-Prinzip (Replacement, Reduction, Refinement) steht, das dem Tierversuch zugrunde liegt.

Zu einer kontinuierlichen Datenspeicherung sind die Detektionsstandorte über SIM-Karten mit einer Cloud verbunden. Über diese können sowohl in Echtzeit Detektionsdaten als auch die Diagnostik der Antennenstandorte abgerufen werden, was einen effizienten Ressourceneinsatz hinsichtlich Datenmanagement und Instandhaltung der Infrastruktur erlaubt. Im Rahmen dieser Projektphase werden auch methodische Aspekte, z. B. zur Verträglichkeit der Markierungstechnik auf die Zielarten untersucht [10]

und populationsrelevante Studien, z. B. zum Wachstum von Zielarten wie der Äsche [11], durchgeführt. Beide Aspekte bilden eine zentrale methodische Grundlage für zukünftige populationsdynamische Analysen. In enger Abstimmung mit den Fischereiberechtigten und Fachbehörden werden im Rahmen dieses Projekts auch Besatzmaßnahmen für Arten, wie Regenbogenforelle, Bachforelle, Huchen, Äsche und Nase, evaluiert.

2.3 Einbindung von Interessensgruppen

An diesem Projekt sind neben Verbund und dem Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TUM verschiedene Interessensgruppen aus dem privaten Sektor (insbesondere Fischereivereine), Behörden und Nichtregierungsorganisationen beteiligt [12]. Im Laufe des Projekts nahm die Zahl interessierter und integrierter Interessensgruppen deutlich zu. Die Kommunikation mit allen Akteuren wurde durch die Einrichtung einer projektbegleitenden Arbeitsgruppe mit regelmäßigen jährlichen Tagungen sichergestellt, bei denen aktuelle wissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Projekt diskutiert, Prioritäten identifiziert und künftige Forschungsschwerpunkte gemeinsam besprochen werden. Zudem werden wissenschaftliche Erkenntnisse in Managementleitfäden und Betriebsvorschriften übersetzt [12].

3 Fazit

Die Renaturierungsmaßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen am Inn und ihre wissenschaftliche Evaluierung zeichnen sich durch einen umfassenden, langfristigen und systemischen Ansatz aus, dessen Erfolg sich durch zahlreiche Beispiele belegen lässt. Die aktuell über das PIT-Monitoring aufgebaute Datengrundlage erlaubt zukünftig auch vertiefte populationsdynamische Analysen. Grundlage hierfür sind das autökologische Verständnis der

Christoffer Nagel, Joachim Pander and Jürgen Geist

Evaluation of stream restoration efforts to sustain fish populations in the River Inn

Extensive restoration measures are being carried out along the River Inn in Bavaria, aiming to restore and maintain a variety of crucial fish habitats, including substrate spawning grounds, habitats for larval and juvenile fish, and the connectivity of habitats through fishways of various designs. The comprehensive scientific evaluation of these measures follows a multi-level approach which includes multiple methods such as monitoring of habitat restoration measures and implementing a large-scale and long-term PIT-telemetry infrastructure. The intensive stakeholder engagement crucially contributes to an improved coordination and more effective implementation of restoration actions.

Zielarten sowie das umfangreiche Prozess- und Systemverständnis des Inns und seiner renaturierten Habitate, das in der ersten Projektphase aufgebaut wurde. Das integrative Projektdesign mit einer intensiven Einbindung verschiedenster Interessengruppen führt zudem zu einer erhöhten Akzeptanz der Maßnahmen und zu einer erfolgreichen Umsetzung der Erkenntnisse.

Autoren

Dr. rer. nat. Christoffer Nagel

Dr. rer. nat. Joachim Pander

Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Geist

Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie

Technische Universität München

Mühlenweg 22

85354 Freising

christoffer.nagel@tum.de

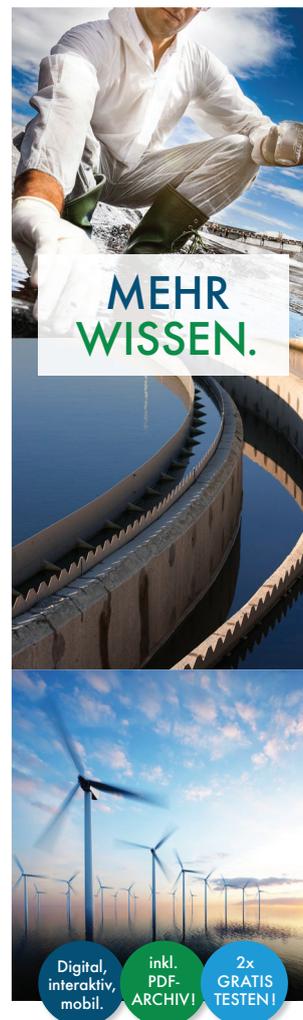
joachim.pander@tum.de

geist@tum.de

Literatur

- [1] Loy, G.; Reckendorfer, W.: Maßnahmen zum Schutz von Fischpopulationen, ein ganzheitlicher Ansatz bei großen Wasserkraftanlagen am Inn. In: *WasserWirtschaft* 115 (2025), Heft 1, S. 31-35.
- [2] Nagel, C.; Pander, J.; Mueller, M.; Geist, J.: Substrate composition determines emergence success and development of European nase larvae (*Chondrostoma nasus* L.). In: *Ecology of Freshwater Fish* 29 (2020), No. 1, S. 121-131.
- [3] Nagel, C.; Mueller, M.; Pander, J.; Geist, J.: Making up the bed: Gravel cleaning as a contribution to nase (*Chondrostoma nasus* L.) spawning and recruitment success. In: *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 30 (2020), No. 12, S. 2 269-2 283.
- [4] Mueller, M.; Pander, J.; Knott, J.; Geist, J.: Comparison of nine different methods to assess fish communities in lentic flood-plain habitats. In: *Journal of Fish Biology* 91 (2017), No. 1, S. 144-174.
- [5] Pander, J.; Mueller, M.; Knott, J.; Egg, L.; Geist, J.: Is it worth the money? The functionality of engineered shallow stream banks as habitat for juvenile fishes in heavily modified water bodies. In: *River research and applications* 33 (2017), No. 1, S. 63-72.
- [6] Pander, J.; Nagel, C.; Ingermann, H.; Geist, J.: Water level induced changes of habitat quality determine fish community composition in restored and modified riverbanks of a large alpine [4] river. In: *International Review of Hydrobiology* 107 (2022), No. 1-2, S. 46-59.
- [7] Nagel, C.; Mueller, M.; Pander, J. et al.: Going with the flow: Spatio-temporal drift patterns of larval fish in a large alpine river. In: *Freshwater Biology* 66 (2021), No. 9, S. 1 765-1 781.
- [8] Pander, J.; Nagel, C.; Geist, J.: Integration of constructed floodplain ponds into nature-like fish passes supports fish diversity in a heavily modified water body. In: *Water* 13 (2021), No. 8, S. 1 018.
- [9] Nagel, C.; Mizerakis, V.; Pander, J.; Geist, J.: The overlooked contribution of a fish bypass channel to the density and diversity of macroinvertebrate drift in a heavily modified river system. In: *River Research and Applications* 38 (2022), No. 10, S. 1 696-1 707.
- [10] Nagel, C.; Droll, J.; Kroemer, K.; Pander, J.; Geist, J.: Testing the effects of passive integrated transponder (PIT) tags on survival, growth, and tag retention of common nase (*Chondrostoma nasus* L.) and European barbel (*Barbus barbus* L.). In: *Animal Biotelemetry* 11 (2023), No. 1, S. 33.
- [11] Droll, J.; Nagel, C.; Pander, J.; Ebert, S.; Geist, J.: Growth modeling of the European grayling (*Thymallus thymallus* L.) in a large alpine river based on age-at-length, mark-recapture, and length-frequency data. In: *Journal of Fish Biology* (2025).
- [12] Nagel, C.; Pander, J.; Droll, J. et al.: Fish and chips: Conservation of freshwater fish populations through an integrative multi-stakeholder approach. In: *Journal of Applied Ecology* (2025).

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2556-4>



Mehr erfahren durch aktuelle Berichterstattung branchenübergreifend zu den Themen **Wasser, Abfall, Energie, Umwelt und Recht**. Informieren Sie sich zehn Mal im Jahr mit den aktuellen Ausgaben zum Vorteilspreis. Exklusiv für alle Abonnenten kostenlos das digitale und interaktive E-Magazin und das PDF-Archiv mit allen Fachbeiträgen seit 1999.



www.wasserundabfall.de

Fisch-Populationsmodelle zur Abschätzung der Wirkung von Renaturierungsmaßnahmen am Unteren Inn

Diese Studie kombiniert funktionale Habitatdynamik mit Larvendrift- und Populationsdynamikmodellen, um Renaturierungsmaßnahmen an einem Abschnitt des unteren Inn in Bayern zu bewerten. Das verbesserte Angebot an Laich- und Aufwuchshabitaten für kieslaichende Arten führt zu einem prognostizierten Anstieg der Rekrutierung je Art um durchschnittlich 14,9 Individuen/ha (7,3 Döbel/ha bis 27,3 Äschen/ha). Allerdings bleibt die Habitatverfügbarkeit limitiert, und aufgrund fehlender funktionaler Konnektivität sind nur 33 % aller vorhandenen Aufwuchshabitate nutzbar.

David Farò und Christian Wolter

1 Einleitung

Fließgewässer unterliegen zahlreichen Nutzungen, die mit erheblichen hydromorphologischen Veränderungen einhergehen, wie Wasserkraft, Wasserstraße und Schifffahrt, aber auch technischer Hochwasserschutz und Landnutzung [1]. Die Kanalisierung und Fragmentierung vieler Flüsse führte zur Homogenisierung von Abflussverhältnissen und Habitatbedingungen mit erheblichen Folgen für die Fischpopulationen [2]. Heute sind vielerorts typische Flussfischarten und Wanderfische so defizitär, dass die Umweltziele der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) nicht erreicht werden und positive Bestandstrends vieler Arten zum Stillstand kamen bzw. sich umkehrten.

Wiederherstellung der Längsdurchgängigkeit von Flüssen und Revitalisierung hydromorphologischer Prozesse und Habitatstrukturen sind zwei Gruppen von Maßnahmen zur ökologischen Verbesserung der Fließgewässer, die speziell auf flusstypische Arten abzielen. Typische Flussfischarten bevorzugen strömende Lebensräume und laichen in Anpassung an diese auf kiesigen Grobsubstraten. Im Verlauf ihrer Ontogenese sind sie auf unterschiedliche Lebensräume angewiesen. Dazu zählen neben den Kiesbänken zum Laichen flache Uferbereiche für das Aufwachsen der Larven und Juvenilen und mit zunehmendem Alter schnellere und tiefere Bereiche [3]. Da diese Teillebens-

räume unterschiedliche hydraulische Bedingungen aufweisen, müssen Fische ontogenetische Habitatwechsel vollziehen. Letzteres ist für frühe Lebensstadien besonders wichtig, da diese aufgrund ihrer geringen Größe nur zu einer begrenzten Schwimmleistung fähig sind. Auf Kieslaichplätzen emergierende Larven werden zwangsläufig verdriftet [4] und müssen stromabwärts in geeignete Aufwuchshabitate gelangen [5]. Dabei wird die Verteilung der Larven stark von der Hydromorphologie des Flusses beeinflusst [6].

Dieses Zusammenspiel von Laich- und Brutaufwuchshabitaten bleibt bei Fließgewässerrevitalisierungen häufig unberücksichtigt. Oft werden im Zuge von Maßnahmen nur bestimmte Teillebensräume aufgewertet und beispielsweise Laichsubstrate angeboten, die dann nicht den gewünschten Erfolg zeigen. Um speziell dieses Verhältnis von Laich- zur Brutaufwuchsfläche zu untersuchen, haben Farò et al. [7] ein generisches, aber dennoch räumlich explizites Populationsmodell für die kieslaichende Barbe (*Barbus barbus*) aufgesetzt. Dabei zeigte es sich, dass die jeweils einseitige Erhöhung des Anteils der Laich- oder Brutaufwuchsfläche zu keiner Steigerung des zu erwartenden Bestands adulter Barben führte. Erst die simultane Erhöhung der Anteile beider Teillebensräume führte zu Bestandssteigerungen, dessen nachhaltige Steigerung durch das Modell bei jeweils 15 % Flächenanteil prognostiziert wurde [7].

Zur Bewertung von Revitalisierungsmaßnahmen werden häufig Habitat-Eignungsmodelle eingesetzt. Diese Modelle verknüpfen die physikalischen und hydraulischen Eigenschaften des Gewässers mit den ökologischen Ansprüchen bestimmter Arten und Lebensstadien durch statistische Modelle und ermöglichen so die Abschätzung von deren räumlicher Verteilung. Habitat-Modelle berücksichtigen jedoch nicht die funktionale Konnektivität zwischen Habitaten und integrieren deshalb auch keine mechanistischen Beziehungen zwischen Habitatverfügbarkeit und -vernetzung sowie daraus resultierende ökologische Folgen, wie etwa Abundanzveränderungen der Zielarten. Letzteres erfordert integrierte Ansätze, die sowohl die funktionale

Kompakt

- Renaturierungsmaßnahmen werden mit integrierter ökohydraulischer Modellierung bewertet.
- Aufgrund fehlender funktionaler Konnektivität sind nur 33 % der Aufwuchshabitate nutzbar.
- Die prognostizierte Rekrutierung von vier Fischarten steigt im Mittel um je 14,9 Individuen/ha.

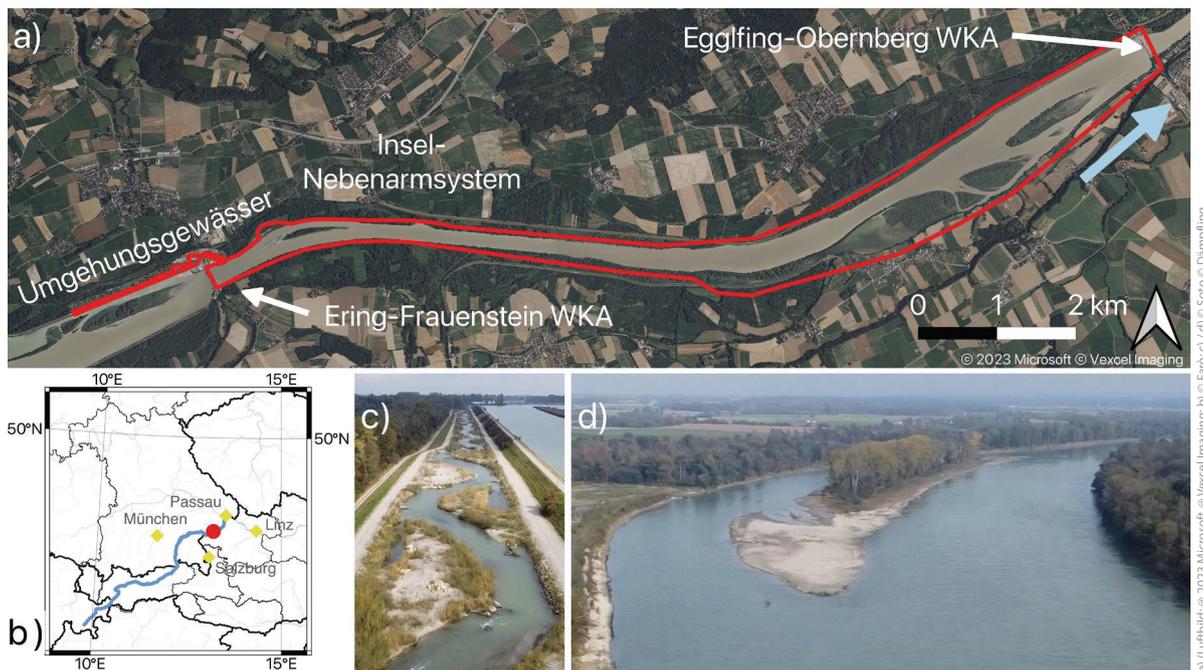


Bild 1: a)/b) Untersuchungsgebiet am Inn zwischen den WKA Ering-Frauenstein (Flusskilometer 48) und Egglfing-Obernberg (Flusskilometer 35,3), c) Umgehungsgewässer und d) Insel-Nebenarm-System

Konnektivität als auch die mechanistische und räumlich-explizite Populationsdynamik beschreiben.

Die vorliegende Arbeit integriert mikroskalige Habitatmodellierung mit einem Larvendriftmodell zur Analyse der funktionalen Konnektivität zwischen Laich- und Aufwuchshabitaten und einem räumlich expliziten Populationsdynamikmodell, um die potenzielle Rekrutierung von vier typischen Flussfischarten nach Revitalisierungsmaßnahmen im unteren Inn zu prognostizieren. Dort wurden an der Wasserkraftanlage (WKA) Ering-Frauenstein ein Umgehungsgewässer (UG) und ein Insel-Nebenarm-System (INS) geschaffen, um die Längsdurchgängigkeit und vor allem das Lebensraumangebot für Flussfische zu verbessern [8]. Ziele dieser Studie waren:

- 1) Die Bewertung der räumlich-zeitlichen Verteilung von Laich- und Larven-Aufwuchshabitaten unter typischen hydrologischen Bedingungen;
- 2) Die Quantifizierung der funktionalen Konnektivität zwischen Laich- und Larven-Aufwuchshabitaten;
- 3) Die Abschätzung der Auswirkungen der Renaturierungsmaßnahmen auf die potenzielle Rekrutierung von vier rheophilen und lithophilen Fischarten und
- 4) Die Untersuchung von Habitatengpässen bei der Populationsrekrutierung.

2 Untersuchungsgebiet und Fischarten

Das Untersuchungsgebiet (**Bild 1b**) liegt südlich von Ering im Niederbayerischen Landkreis Rottal-Inn und umfasst die Inn-Staustufe zwischen den WKA Ering-Frauenstein (Flusskilometer 48) und Egglfing-Obernberg (Flusskilometer 35,3). Die 12,7 km lange Stauhaltung (**Bild 1a**) hat eine Sommer-Wasserfläche von 430 ha. Der obere Bereich ist kanalisiert, schnell fließend mit steilen Ufern, während der untere Teil langsamer fließt und durch Inseln

und Flachwasserzonen geprägt ist. Zwischen 2017 und 2019 wurden im Rahmen des Projekts „Innkraftwerk Ering-Frauenstein - Durchgängigkeit und Lebensraum“ ein UG und ein INS errichtet [8]. Das neu geschaffene, 2,6 km lange UG ist dynamisch reguliert und bildet die Morphologie eines kleinen steilen Zuflusses des Inns nach, mit Kolk-Furt-Sequenzen, tiefen Abschnitten, angeströmten Kiesbänken und Flachwasserzonen (**Bild 1c**). Unterhalb des Kraftwerks wurden auf ca. 30 ha das INS und ein Altarm angelegt (**Bild 1d**). Die Maßnahmen dienen nicht nur zur Verbesserung der Fischwanderung, sondern in erster Linie auch der Bereitstellung wertvoller Laich- und Aufwuchshabitats, die in diesem Innsabschnitt entweder fehlten (Laichplätze) oder nur in geringen Maßen vorkamen (Aufwuchshabitats).

Die untersuchten Zielarten Äsche (*Thymallus thymallus*), Nase (*Chondrostoma nasus*), Barbe (*Barbus barbus*) und Döbel (*Squalius cephalus*) sind Strömung bevorzugende, auf Kies laichende, typische Flussfischarten. Alle vier Arten sind sowohl im deutschen (fiBS) als auch im österreichischen (FIA) fischbasierten Bewertungsverfahren gemäß WRRL Leitarten oder Begleitarten der gewässertypspezifischen Fischgemeinschaft des Inn, wo sie derzeit in sehr niedrigen Dichten vorkommen [9]. Alle vier Arten sind lithophil, d. h. Kieslaicher mit benthischen (am Boden lebenden) Larven. Diese ökologischen Ansprüche wurden bei den durchgeführten Renaturierungsmaßnahmen besonders berücksichtigt, weshalb auch erwartet wurde, dass die ausgewählten Arten profitieren. Die potenziellen Laich- und Larvenwachstumsperioden umfassen Frühling und Sommer. Die Äsche laicht am frühesten (März bis April), gefolgt von Nase (Mitte März bis Mai), Barbe und Döbel (Mitte Mai bis Mitte Juli). Die Larvenentwicklung erfolgt bei Äsche (April bis Juni) und Nase (Mitte April bis Mitte Juli) früher, während sie bei Barbe (Juni bis Juli) und Döbel (Juni bis August) länger andauert.

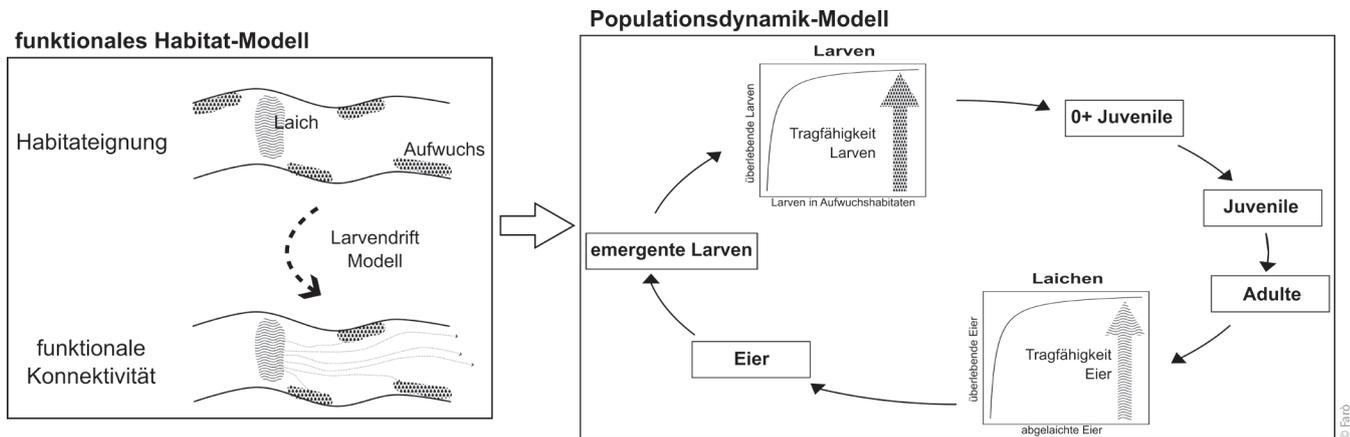


Bild 2: Integriertes ökohydraulisches Modell, bestehend aus einem funktionalen Habitatmodell und einem räumlich-expliziten Populationsdynamikmodell

3 Methoden

Der integrierte ökohydraulische Modellierungsansatz (**Bild 2**) kombiniert die Modellierung funktionaler Habitate mit einem Populationsdynamikmodell. Die räumlich-zeitliche Habitat-Dynamik wird durch mikroskalige Habitatmodellierung erfasst. Der Grad der Konnektivität zwischen Laichplätzen und Aufwuchshabitaten wird mittels eines Larvendriftmodells bestimmt. Schließlich wird der Einfluss der funktionalen Habitat-Dynamik auf die Rekrutierung mit einem räumlich expliziten Populationsdynamikmodell bewertet.

Die Habitatqualität wurde anhand von Eignungskriterien für Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit (Laich- und Aufwuchshabitate) sowie für das Substrat (nur Laichhabitate) modelliert. Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten wurden mit dem 2-D-hydraulischen Modell BASEMENT v3.2 (<https://basement.ethz.ch/>) abgeleitet. Die hydraulische Habitategnung für jedes Gitterelement wurde durch geometrische Mittelung der Eignungsindizes (SI) für Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit berechnet. SI-Werte liegen zwischen 0 (keine Eignung) und 1 (beste Eignung), wobei nur Elemente mit einem $SI \geq 0,6$ als geeignet betrachtet wurden. Für jede Fischart wurden zeitliche Mittelwerte für die geschätzten Laich- und Aufwuchsperioden berechnet. Wahrscheinliche Laich-, Larvenemergenz- und Larvenaufwuchs-Perioden im Frühjahr und Sommer wurden basierend auf Temperatur-Zeitreihen mit einem bioenergetischen Ansatz geschätzt, welcher die optimale Laichtemperatur, temperaturabhängige Eientwicklung und Larvenwachstumszeit berücksichtigt. Um Unterschiede in der Substratqualität infolge des hohen Feinsedimenttransports und unterschiedlicher geomorphologischer Dynamik in UG und Hauptkanal zu berücksichtigen, wurden die hydraulischen Laichhabitate basierend auf Felduntersuchungen der Substratqualität gewichtet. Hochwertige Substrate (100 % Gewichtung) fanden sich im oberen Bereich des UG und mittlere Substratqualitäten (50 %) im unteren, während die Kiesbänke um das INS als Laichsubstrat nur geringe Qualität (25 %) aufwiesen [10].

Die funktionale Konnektivität zwischen Laichplätzen und Aufwuchshabitaten wurde mit einem Larvendrift-Modell bewer-

tet. Dabei wurde die Drift mit einem Lagrangeschen Partikelmodell simuliert [11], das passive (Advektion durch die Strömung und turbulenzinduzierte Dispersion) und aktive Driftkomponenten berücksichtigt. Zur Beschreibung des aktiven Schwimmens von Larven wurden folgende vereinfachte Annahmen getroffen:

- i) Kein aktives Schwimmen bei Fließgeschwindigkeiten von mehr als 10 cm/s;
- ii) Cyprinidenlarven (Nase, Barbe, Döbel) driften nahe der Wasseroberfläche, Äschenlarven näher an der Gewässer-sohle.

Die funktionale Konnektivität zwischen Laich- und Aufwuchshabitaten wurde dann basierend auf 5 000 simulierten Drift-Trajektorien für jede Art und jede Larvenquelle (UG oder INS) geschätzt.

Um Rekrutierungseffekte zu analysieren, wurde ein räumlich explizites, altersstrukturiertes Populationsdynamikmodell angewandt, das fünf Hauptlebensstadien abbildet: Ei, Larven (nach der Emergenz), Juvenile im ersten Jahr (0+), Juvenile ($\geq 1+$) und Erwachsene. Die Dichte in jedem Stadium hängt von der Dichte des vorherigen Stadiums ab, und die Überlebensrate wird durch einen habitatabhängigen oder -unabhängigen Rekrutierungsprozess definiert. Habitatabhängige Überlebensraten wurden mittels Beverton-Holt-Funktion sowohl für das Laichen als auch für das Überleben der Larven berechnet, da diese Prozesse als die stärksten Engpässe in der Rekrutierung von Fischpopulationen gelten [3]. Die maximale Rekrutierung wird durch habitatabhängige Tragfähigkeiten definiert. Die Simulation zur Schätzung der Gleichgewichtsdichte und -biomasse läuft über 100 Jahre, wobei konstante Habitatflächen in einem geschlossenen Flusssystem angenommen wurden. Migration und Ausbreitung in benachbarte Abschnitte wurden vernachlässigt. Eine Habitatenpassanalyse wurde durchgeführt, indem Berechnungen für eine Vielzahl von Laich- und Aufwuchshabitatflächen erfolgten, deren Flächenanteile zwischen 0,01 % und 2,5 % der maximalen Stauraumfläche variierten.

Weitere Details zum Modellierungsansatz sind in Farò und Wolter [12] für die funktionale Habitatmodellierung und in Farò et al. [7], [10] für die Populationsdynamikmodellierung zu finden.

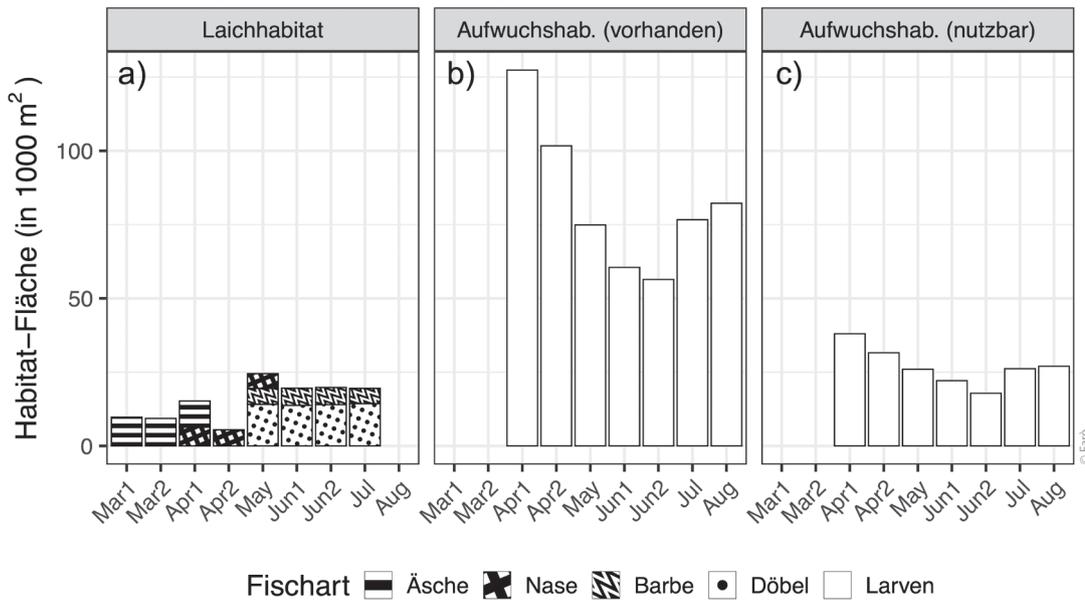


Bild 3: a) Funktionale Habitat-Dynamik der Laichhabitats, b) vorhandene Aufwuchshabitats und c) nutzbare, d. h. funktional verbundene, Aufwuchshabitats

4 Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der zeitlichen Dynamik der Verfügbarkeit geeigneter Habitats über die simulierten Zeiträume hinweg illustrieren **Bild 3a** und **Bild 3b**. Während die Verfügbarkeit von Laichhabitats für jede Art während ihrer Laichperiode relativ konstant bleibt, zeigen die Aufwuchshabitats eine größere zeitliche Variabilität, da sie stärker vom Abfluss abhängig sind. Größte Habitatflächen für den Brutaufwuchs (maximal $127,3 \cdot 10^3 \text{ m}^2$) wurden bei niedrigeren Abflüssen im April beobachtet, die sich dann bis Juni, der Periode der höchsten Abflüsse, auf $56,5 \cdot 10^3 \text{ m}^2$ verringerten. Dabei zeigen sich deutliche Unterschiede in der Habitatverfügbarkeit für die verschiedenen Arten, bedingt durch unterschiedliche Laich- und Aufwuchsperioden sowie artspezifische Eignungskriterien. Die größten Unterschiede traten bei den Laichflächen auf, wobei Döbel ($14\,037 \text{ m}^2$) und Äsche ($9\,313 \text{ m}^2$) die höchsten Durchschnittswerte aufwei-

sen, während für Nase ($5\,618 \text{ m}^2$) und Barbe ($5\,552 \text{ m}^2$) die kleinsten Flächen zur Verfügung stehen. Im Vergleich dazu sind die artspezifischen Unterschiede der Verfügbarkeit von Aufwuchshabitatsflächen geringer ($22\,045\text{--}24\,738 \text{ m}^2$ für die Cyprinidenarten), mit Ausnahme der Äsche, die mit $31\,851 \text{ m}^2$ über deutlich mehr Fläche verfügt.

Bild 4 zeigt Beispieltrajektorien driftender Nasenlarven im Mai im Hauptkanal, die aus dem UG (a) oder von dem INS (b) stammen. Larven, die aus dem UG austreiben, werden sofort zur linken Uferseite des Nebenarms geleitet und verteilen sich nicht lateral über den Hauptkanal. Folglich können diese Larven nur linksufrige Aufwuchshabitats erreichen. Ähnlich ist es bei den im Bereich des INS emergierenden Larven, die zwar lateral mehr Diffusion zeigen, jedoch ebenfalls nur das linke Ufer erreichen, bevor sie auf das nächste, stromab gelegene Wasserkraftwerk treffen. Unter Berücksichtigung dieser erforderlichen funktionalen Konnektivität zwischen Laich- und Aufwuchshabitats

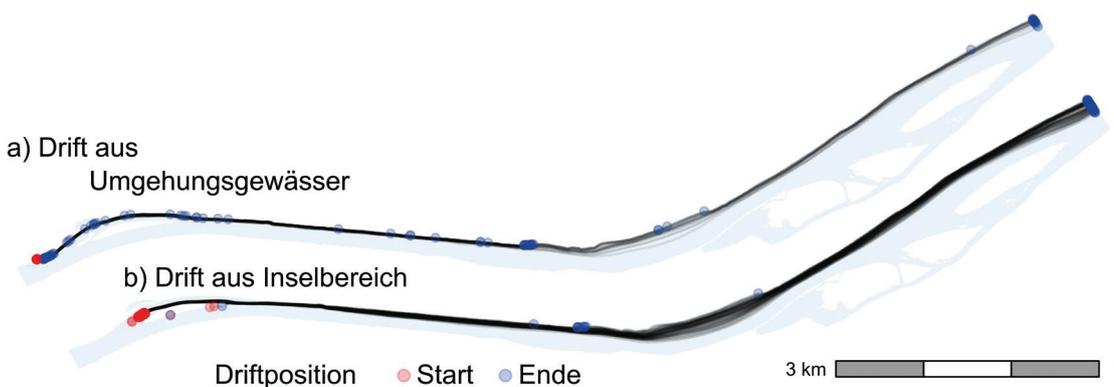


Bild 4: Drifttrajektorien (in Schwarz) für Äschenlarven im Mai, a) die aus Laichhabitats im Umgebungsgewässer bzw. b) aus Laichgebieten um die Insel emergieren

Tabelle 1: Potenzielle Rekrutierung im Gleichgewicht, ausgedrückt als Dichte adulter Fische (in Ind./ha) sowie Biomasse juveniler und adulter Fische (in kg/ha), angegeben sind Medianwerte und 80%-Konfidenzintervalle (in Klammern), die Biomassedaten des Monitorings 2018 sind Jung et al. [5] entnommen (Quelle: Farò)

Fischart	Dichte [Ind./ha]	Biomasse [kg/ha]	
		Modell	Monitoring 2018
Äsche	27,3 (1,8-67,5)	14,5 (0,5-48,9)	0,75
Nase	10,1 (0-44,0)	17,6 (0-110,1)	2,1
Barbe	14,7 (3,1-38,7)	10,1 (2,2-26,6)	0,45
Döbel	7,3 (1,8-19,6)	2,9 (0,8-7,7)	3,75
Durchschnitt	14,9	11,3	-

reduziert sich die Menge der funktional verbundenen Aufwuchshabitate auf durchschnittlich 33,0 % der insgesamt verfügbaren Habitate, da nur das UG, das INS, der Nebenarm und die linke Uferseite von den Laichgebieten aus erreicht werden (Bild 3c).

Aufgrund der nutzbaren Habitate wurden im zeitlichen Gleichgewichtszustand im Mittel über alle vier Arten durchschnittliche Dichten adulter Individuen von 14,9 Ind./ha sowie durchschnittliche Biomassen juveniler und adulter Individuen von 11,3 kg/ha prognostiziert (Tabelle 1). Dabei traten deutliche artspezifische Dichteunterschiede zwischen 7,3 Ind./ha beim Döbel und 27,3 Ind./ha bei der Äsche auf.

Die Ergebnisse zeigen artspezifische Unterschiede in den Entwicklungsempfängen aufgrund ungünstiger Habitatverhältnisse

und -verfügbarkeiten (Bild 5). Eine Überschreitung von 1,5 % Flächenanteil der Aufwuchshabitate, was etwa der maximalen Gesamtverfügbarkeit von Habitaten im Flussabschnitt entspricht, führte bei Äsche, Nase und Barbe zu keiner weiteren Zunahme der Populationsgröße. Bei diesen Arten sind Populationszuwächse nur bei gleichzeitiger Erhöhung der Laich- und Aufwuchshabitate zu erwarten. Im Gegensatz dazu würde beim Döbel die alleinige Zunahme der Aufwuchshabitate zu einer höheren Populationsstärke führen.

5 Diskussion

Diese Studie kombinierte eine räumlich explizite Habitat-Eignungsmodellierung, um die räumlich-zeitliche Dynamik der Verfügbarkeit von Laich- und Aufwuchshabitaten zu beschreiben, mit einem Larvendriftmodell, das Larvendrifttrajektorien simuliert. Der Ansatz diente dazu, die funktionale Konnektivität zwischen Laich- und Aufwuchshabitaten zu analysieren und den Anteil der nutzbaren (funktional verbundenen) Aufwuchshabitate zu ermitteln. Das numerische Driftmodell integriert sowohl passive als auch aktive Larvendriftkomponenten [5] und bietet damit eine realistischere Beschreibung der Larvenverteilung in Abhängigkeit von den hydromorphologischen Eigenschaften des Flussabschnitts. Unsere Simulationen zeigten, dass die funktionale Konnektivität vor allem durch die fehlende laterale Verteilung im Hauptstrom eingeschränkt war. Diese Ergebnisse bestätigen frühere Studien, die den Einfluss der morphologischen Komplexität auf die Larvendrift belegten [6] und verdeutlichen die immense Bedeutung der funktionalen Habitat-konnektivität. Zwar fanden sich im gesamten analysierten Inn-Abschnitt geeignete Aufwuchshabitate, jedoch wurden nur bestimmte Bereiche von den driftenden Larven aus den Hauptlaichgebieten - dem UG und der restaurierten Insel - erreicht. Die Nichtberücksichtigung der funktionalen Konnektivität hätte zu einer starken Überschätzung der nutzbaren Habitate geführt, da nur ein Drittel der insgesamt verfügbaren Habitate funktional verbunden und somit nutzbar war.

Ungeachtet dessen belegt diese Studie auch, dass die Revitalisierungsmaßnahmen in mehreren Aspekten erfolgreich waren. Durch die Schaffung von Laichhabitaten und die Verbesserung der Aufwuchsfächen wurden wichtige ontogenetische Habitate

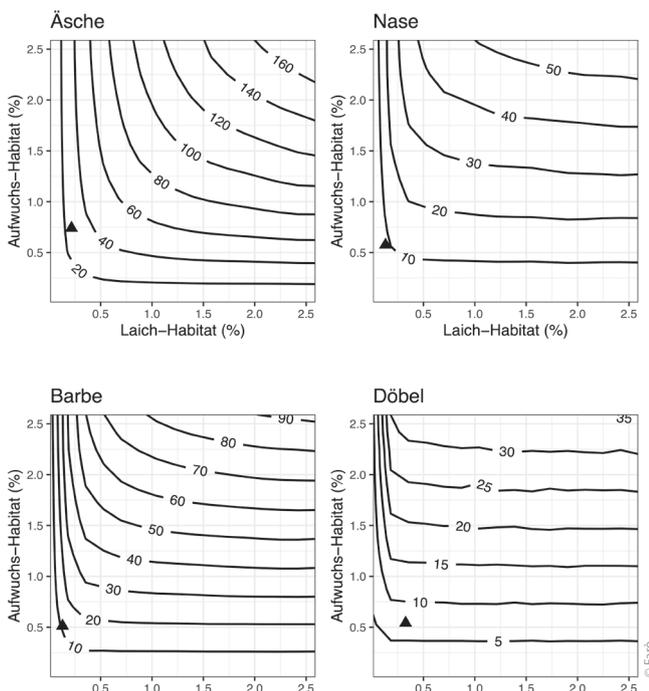


Bild 5: Habitat-Engpass-Analyse: Vergleich der Dichten von Äsche, Nase, Barbe und Döbel (Median-Werte) im Gleichgewicht (Modelllauf über 100 Jahre) in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit nutzbarer Laich- und Aufwuchshabitate, das schwarze Dreieck zeigt deren aktuelle Verfügbarkeit

geschaffen, die die Rekrutierung typischer Flussfischarten im Staubereich unterstützen. Vor Maßnahmeumsetzung fehlten im Untersuchungsgebiet geeignete Laichhabitate. Die seinerzeit festgestellten unausgeglichen altersstrukturierten Populationen mit nur wenigen Jungfischen deuteten darauf hin, dass die Reproduktion auf Laichhabitate in den Inn-Nebenflüssen beschränkt war [9]. Eine erfolgreiche Rekrutierung im Staubereich wird die Populationsstruktur verbessern und höhere Abundanzen und Biomassen im Vergleich zu den Bedingungen vor der Renaturierung fördern. Artenzusammensetzung bzw. Artenzusammensetzung und Biomasse sind Bewertungskriterien der deutschen bzw. österreichischen Fließgewässerbewertungen, weshalb Verbesserungen des fischökologischen Zustands zu erwarten sind.

Der in der Studie verwendete integrierte Modellierungsansatz kann die Planung und Bewertung von Flussrenaturierungen unterstützen. Die funktionale Habitatmodellierung hilft, Verbesserungen der Habitatverfügbarkeit nach Renaturierungsmaßnahmen zu quantifizieren. In der Planungsphase kann sie genutzt werden, um verschiedene Szenarien zu vergleichen und deren Einfluss auf Habitatverfügbarkeit und deren funktionale Konnektivität zu untersuchen [12]. Dadurch kann die Nutzbarkeit neuer und bestehender Habitate verbessert werden. Durch die Integration mit einem Populationsdynamikmodell lassen sich die ökologischen Auswirkungen von Maßnahmen auf den Rekrutierungserfolg bewerten [10]. Die Durchführung einer Habitatengpassanalyse bereits in der Planungsphase hilft, die besten artenspezifischen Maßnahmen zur Verbesserung des Populationsstatus zu identifizieren. Zum Beispiel zeigt die Habitatengpassanalyse, dass die begrenzte Verfügbarkeit nutzbarer Aufwuchsgebiete ein bedeutender Flaschenhals ist. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass nicht nur die Menge, sondern auch das Verhältnis der Habitate zueinander zu berücksichtigen ist.

Zukünftige Entwicklungen des Modellierungsansatzes könnten um Auswirkungen von Migration und Ausbreitung von Individuen auf größerer räumlicher Skala, Metapopulationsinteraktionen sowie barriereinduzierten Effekten auf diese Prozesse erweitert werden. Anstatt konstante Habitatbedingungen anzunehmen, könnten zukünftige Studien auch die Auswirkungen kurzfristiger, z. B. durch Sunk- und Schwallbetrieb, und mittel- bis langfristiger Abflussvariationen, z. B. durch Überschwemmungen, Dürren oder Klimawandel, untersuchen. Schließlich könnte das Modell zu einem integrierten Populationsmodell erweitert werden, um Unsicherheiten zu verringern

David Farò and Christian Wolter

Fish population models to assess the impact of restoration measures on the lower Inn River

This study combines functional habitat dynamics with larval drift and population dynamics models to evaluate restoration measures in a section of the lower Inn River (Bavaria, Germany). The improved availability of spawning and nursery habitats for gravel-spawning species leads to a predicted increase in recruitment per species by an average of 14.9 individuals/ha (7.3 chub/ha to 27.3 grayling/ha). However, habitat availability remains limited and only 33 % of all existing nursery habitats are usable due to a lack of functional connectivity.

und die Modellparameter mittels Fischmonitoringdaten zu kalibrieren, was die Beschreibung der lokalen ökologischen Bedingungen verbessern würde.

Hinweis

Das Forschungsprojekt wurde von Verbund Innkraftwerke GmbH finanziert.

Autoren

Dr. David Farò

Dr. Christian Wolter

Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei

Müggelseedamm 310

12587 Berlin

david.faro@icloud.com

christian.wolter@igb-berlin.de

Literatur

- [1] Grizzetti, B.; Pistocchi, A.; Liqueste, C. et al.: Human pressures and ecological status of European rivers. In: *Scientific Reports* 7.1 (2017), S. 1-11 (doi.org/10.1038/s41598-017-00324-3).
- [2] Su, G.; Logez, M.; Xu, J.; Tao, S.; Villéger, S.; Brosse, S.: Human impacts on global freshwater fish biodiversity. In: *Science* 371 (2021), No. 6 531, S. 835-838 (doi.org/10.1126/science.abd3369).
- [3] Schiemer, F.; Keckeis, H.; Kamler, E.: The early life history stages of riverine fish: Ecophysiological and environmental bottlenecks. In: *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* 133 (2002), No. 3, S. 439-449 (doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00246-5).
- [4] Wolter, C.; Sukhodolov, A.: Random displacement versus habitat choice of fish larvae in rivers. In: *River Research and Applications* 24 (2008), No. 5, S. 661-672 (doi.org/10.1002/RRA.1146).
- [5] Lechner, A.; Keckeis, H.; Humphries, P.: Patterns and processes in the drift of early developmental stages of fish in rivers: a review. In: *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 26 (2016), No. 3, S. 471-489 (doi.org/10.1007/S11160-016-9437-Y).
- [6] Sukhodolov, A.; Bertoldi, W.; Wolter, C.; Surian, N.; Tubino, M.: Implications of channel processes for juvenile fish habitats in Alpine rivers. In: *Aquatic Sciences* 71 (2009), No. 3, S. 338-349 (doi.org/10.1007/s00027-009-9199-x).
- [7] Farò, D.; Zolezzi, G.; Wolter, C.: How much habitat does a river need? A spatially-explicit population dynamics model to assess ratios of ontogenetical habitat needs. In: *Journal of Environmental Management* 286 (2021), S. 112-100 (doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112100).
- [8] Zauner, G.; Lauber, W.; Jung, M. et al.: Wie erreicht man das gute ökologische Potenzial? Fallbeispiel Innstauraum Eggfling-Obernberg. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 72 (2020), Heft 5-6, S. 223-235 (doi.org/10.1007/s00506-020-00672-x).
- [9] Jung, M.; Ratschan, C.; Schöfbenker, M.: Erhebung der Fischzönose im Innstauraum KW Eggfling - Obernberg. *Fischökologische Situation vor Maßnahmenumsetzung*. Techn. Bericht, 2019.
- [10] Farò, D.; Wolter, C.: Linking functional habitat and fish population dynamics modelling to improve river rehabilitation planning and assessment. In: *Journal of Environmental Management* 370 (2024), S. 122-331 (doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122331).
- [11] McDonald, R. R.; Nelson, J. M.: A Lagrangian particle-tracking approach to modelling larval drift in rivers. In: *Journal of Ecohydraulics* 6 (2020), No. 1, S. 17-35 (doi.org/10.1080/24705357.2019.1709102).
- [12] Farò, D.; Wolter, C.: Integrating habitat suitability and larval drift modelling for spawning-to-nursery functional habitat connectivity analysis in rivers. In: *Water Resources Research* 60 (2024), No. 9 (doi.org/10.1029/2023WR036827).

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2555-5>

Wanderwege und Abstieg - Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus dem Workshop 2025 aus Sicht eines Wasserkraftbetreibers

Im Rahmen der Veranstaltung „Ökologie und Wasserkraft“ 2025 der Wasserkraftbetreiber im Donaeinzugsgebiet wurden die Grenzen des technisch Machbaren, aber auch die offenen Fragen zum technischen Fischschutz und Fischabstieg an der Anlage selbst diskutiert. Bei den gewählten Ansätzen zum Erhalt gefährdeter Fischpopulationen, dem Populationsansatz, war wesentlich, sich dem Themenkomplex in einer naturwissenschaftlichen Weise zu nähern. Dies sowohl in den naturbelassenen Bereichen als auch in den menschlich beeinflussten Lebensräumen wie Staustufenketten und begradigten Flussabschnitten. Im Mittelpunkt stehen dabei neben der Analyse der Populationsgröße, Reproduktionsrate, genetischer Vielfalt und dem Migrationsverhalten auch die potenzielle Schädigungsrate an der Anlage und die Möglichkeiten, diese zu kompensieren. Mithilfe wissenschaftlicher Methoden lassen sich dann wirksame Schutzmaßnahmen gezielt planen. Klar ist, dass es weiter offene Fragen zum Wanderverhalten und zum Verhalten potamodromer Arten an der Anlage selbst, aber auch bei der Wahl des Abstieges und der Schädigung beim Turbinendurchgang gibt. Es wurden Thesen der Wasserkraftbetreiber formuliert und im Vortrag vorgestellt, aber klar auch die offensichtlichen, weiteren offenen Fragen angesprochen. Eine Einordnung im Hinblick auf den gewählten Weg anhand der Erfahrungen bei der Umsetzung, aber auch im Hinblick auf die Beiträge im Workshop soll nachfolgend erfolgen. Die im Beitrag vorgestellten Ansätze beziehen sich alle auf erheblich veränderte oder künstliche Wasserkörper (heavily modified water bodies, HMWB).

Georg Loy

1 Hintergrund

Im Rahmen der Veranstaltungsreihen des Forum Fischschutzes [1], in der Kommentierung des VGBE-Synthesepapieres [2], [3] und der Veranstaltungsreihe „Ökologie und Wasserkraft“ der Wasserkraftbetreiber im Donaeinzugsgebiet [4] wurden die Grenzen des technisch Machbaren aber auch offene Forschungs-

fragen zum Fischschutz und Fischabstieg formuliert. Bei den nun mit Forschungsprojekten gewählten Ansätzen zum Erhalt gefährdeter Fischpopulationen im Populationsansatz war wesentlich, mit naturwissenschaftlichen Methoden die offenen Fragen anzugehen. Ziel ist es, stabile, überlebensfähige Populationen langfristig sowohl in den naturbelassenen Bereichen als auch in den menschlich beeinflussten Lebensräumen, wie Staustufenketten und begradigten Flussabschnitten, zu erhalten. Im Mittelpunkt stehen dabei neben der Analyse der Populationsgröße auch die Reproduktionsrate, die genetische Vielfalt und das Migrationsverhalten. Mithilfe wissenschaftlicher Methoden, wie Populationsmodellen und dem Monitoring von Individuen, lassen sich dann wirksame Schutzmaßnahmen gezielt planen [12]. Mit einem Ökosystemansatz - verknüpft z. T. mit populationsbiologischer Detailtiefe von Leitarten - in komplexen Systemen wie Flüssen sollen langfristig systemische Zusammenhänge erfasst werden.

Klar ist, dass es offene Fragen zum Wanderverhalten und zum Verhalten potamodromer Arten an der Anlage selbst aber auch bei der Wahl des Abstieges und die Schädigung beim Turbinendurchgang gibt. Die offenen Fragen wurden formuliert und

Kompakt

- Alle möglichen Wege an einer Anlage werden zur abwärtsgerichteten Migration von potamodromen Fischarten genutzt.
- Fischaufstiegsanlagen werden auch zum Fischabstieg genutzt und sollten daher als Fischwanderhilfen benannt werden.
- Schädigungen an der Anlage selbst können durch populationsunterstützende Maßnahmen für potamodrome Arten ausgeglichen werden.



Bild 1: Umgebungsgewässer Braunau/Simbach mit Gewässerstrukturen, Sediment- und Totholzstrukturen

laufende, aber auch zukünftige Forschungsprojekte wurden in dem Workshop 2025 durch die Vortragenden vorgestellt. Auch wurden Thesen der Wasserkraftbetreiber formuliert und im Vortrag erläutert.

Eine Einordnung im Hinblick auf den gewählten Weg sowohl anhand der Erfahrungen bei der Umsetzung als auch im Hinblick auf die Beiträge im Workshop soll nachfolgend erfolgen. Wesentlich ist jedoch, dass es ein klares Bekenntnis der Wasserkraftbetreiber zur Herstellung zur Durchgängigkeit und auch zu populationsunterstützenden Maßnahmen, die auf Populationsniveau positiv wirken, gibt. Von Bedeutung ist hierbei auch die Einordnung der potenziellen Schädigungsrate beim Anlagen-durchgang, die Wirkung von Restaurierungen und einem adaptiven Management der Umgebungsgewässer und von Laichplätzen (Sedimentmanagement), um im Sinne der WRRL die beste Umweltoption im Raum zu ergreifen, um den Zielzustand zu erreichen und die Arten langfristig zu erhalten.

2 Kernaussagen und Thesen der Wasserkraftbetreiber

Zur Zielerreichung WRRL sollten die Maßnahmen ergriffen werden, die auf Populationsniveau und/oder im Trittsteinkonzept dem Erhalt von Fischpopulationen dienen [12]. Die Durchgängigkeit bei potamodromen Arten hat eine andere Bedeutung als für diadrome Arten, so dass z. B. Umgebungsgewässer mit Habitatfunktionen eine größere Bedeutung im Raum haben

können als die reine Durchgängigkeit. In einem systemischen, flussgebietsspezifischen Ansatz sollten folgende Habitatfunktionen im betrachteten Flussabschnitt vorhanden und erreichbar sein und sowohl die laterale (Auen, Seitengewässer) als auch die longitudinale Durchgängigkeit betrachtet werden:

- Flusstypische Fließgewässercharakteristik (Fluss, Seiten- und Umgebungsgewässer) mit Sedimentfunktion (Laichplätze und Juvenilhabitat).
- Still- und Flachwasserbereiche, Totholzfunktion und somit wesentliche Juvenilhabitate.
- Angebundene Neben- und/oder Auengewässer mit Kraut- und Schilffluren sowie wärmere Zonen.

Es ist ein Ansatz und Versuch, erreichbare Habitate für den gesamten Lebenszyklus vom Laichplatz, über Jungfischhabitate bis zum Lebensraum der adulten Phase (**Bild 1** und **Bild 2**) in der notwendigen Quantität und Qualität anzubieten. Diese genannten Aspekte können für den Erhalt von Fischpopulationen wichtigere sein als adressierte Themen der verschiedenen Leitfäden zur Durchgängigkeit und bekannten technischen Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg mit weiterhin nicht vollständig nachgewiesener positiver Wirkung bei großen (aber auch kleinen) Wasserkraftanlagen. In bisher mit Feinrechen ausgestatteten Flussgebieten sind keine Arbeiten oder Publikationen bekannt, die einen Nachweis der positiven Wirkung auf Populationsniveau bestätigen.

Es ist und war folglich wesentlich, akzeptierte Grundlagen zu schaffen bezüglich Wanderwege und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen für potamodrome Fischarten, da es keinen Stand



© Verbund, Weidl

Bild 2: Umgebungsgewässer Braunau/Simbach mit starken Fließgewässereigenschaften mit Totholzstruktur und Jungfischhabitaten mit Fließgewässereigenschaften

der Technik oder gar anerkannte Regeln der Technik (a. R. d. T.) für die Herstellung der Wanderwege und dem Verhalten zum Fischabstieg gibt, die eine positive Wirkung auf Populationen im Flussgebiet erwarten lassen. Daher kann nur Grundlagenforschung dies leisten.

Die zentrale Ausgangsthesen der Wasserkraftbetreiber sind daher:

- Gibt es aus Sicht des Populationsschutzes und -erhalts für potamodrome Arten überhaupt Handlungsbedarf hinsichtlich ergänzender Fischabstiegseinrichtungen?
- Bestehende Wanderkorridore, wie Wehre, Fischaufstiegsanlagen (FAA), Umgebungsgewässer oder Schleusen, können einen wirksamen Wanderkorridor nach unten darstellen und müssen betrachtet werden.
- Große Kaplan-Turbinen mit langsamer Umdrehungsgeschwindigkeit und alternative Turbinentechnik können ebenfalls einen wirksamen Wanderkorridor nach unten darstellen.

Wanderungen potamodromer Arten erfolgen, um Laich-, Nahrungs-, Refugial- und Überwinterungshabitate aufzusuchen. Dies bietet die Möglichkeit, mittels ökologischer Maßnahmen einen hohen Schutz der Fischpopulation zu gewährleisten. Die Maßnahmen zielen dabei darauf ab, die Wahrscheinlichkeit eines Kontaktes mit Turbinen zu reduzieren. Dies wird dadurch erreicht, dass man alle für die Absolvierung des Lebenszyklus notwendigen Habitate innerhalb eines Stauraums oder über kürzere Wanderdistanzen zur Verfügung stellt. Des Weiteren ist oft nicht sichergestellt, dass nach oberstrom die Schlüsselhabitate im betrachteten Zeitraum verfügbar und erreichbar sind.

Nach derzeitigem Wissen sind für potamodrome Arten an großen und mittleren Anlagen ergänzende technische und betriebliche Maßnahmen zum Fischabstieg am Bauwerk aus Sicht der Wasserkraftbetreiber nicht notwendig mit folgenden Thesen:

- Biologie der Arten (spezifische Größe der Mehrzahl der wandernden Fische, hohe Fortpflanzungsraten (R-Strategen)): die Wanderdistanzen einer Mehrzahl der Individuen geht nicht über mehrere Staustufen.
- Die Schädigungsraten von großen und mittelgroßen (Kaplan-) Turbinen sind einordenbar und können im ersten Ansatz als fischschonend bezeichnet werden.
- Habitatverbessernde Maßnahmen haben wesentlich größeren Einfluss auf die Populationen und ggf. das Wanderverhalten als technische Fischabstiegsmaßnahmen an der Anlage und sollten daher priorisiert werden.
- Potenzielle Schädigungsraten an der Anlage können unbedeutend für den Populationserhalt sein, wenn andere Wanderkorridore genützt werden, sich Wanderdistanzen durch Habitatnutzung reduzieren lassen und eine Kompensation der potenziellen anlagenspezifischen Schädigung möglich ist.

Aus Sicht der Wasserkraftbetreiber sollten ökologische Maßnahmen, die den Populationserhalt dienen, technischen Maßnahmen an Wasserkraftanlagen an großen Gewässern selbst gleichgestellt werden. Diese dienen den Erhalt der Arten sowie dem Naturraum und können die anlagenbedingten Schädigungen kompensieren.

3 Wanderwege, Fischabstieg und Nutzung

Bei Wasserkraftanlagen an großen Gewässern ist es schwierig, z. B. einzelne Monitoringergebnisse im Hinblick auf vorhandene Populationen, Wanderverhalten und Populationsgröße im Raum einzuordnen. Nur langfristige, systematischen Untersuchungen lassen Schlüsse zu und die Methodevaluierung ist ein wesentlicher Baustein der Auseinandersetzung mit den Themenkomplexen. Es ist beispielsweise im Zusammenschluss des bayerischen Umweltministeriums, lokalen Behörden und Universitäten sowie den Wasserkraftbetreibern am oberbayerischen Inn gelungen, Abstand von einzelnen Monitoring-Auflagen zu nehmen und stattdessen in langfristige Grundlagenforschung zu Fragen der Wirksamkeit von Habitatmaßnahmen, dem Wanderverhalten und Populationsbetrachtungen zu investieren.

3.1 Technische Herausforderungen an Wasserkraftanlagen an großen Gewässern

Bei Wasserkraftanlagen an großen Gewässern mit Wehren ist die Dominanz der Strömungssituation ober- und unterstrom bis zur Ausbauwassermenge der Wasserkraftanlage in der Regel über Mittelwasserabfluss (MQ) offensichtlich. Die Themen einer gerichteten Lockströmung oder Dotation, sei es ober- oder unterstrom, ist physikalisch nur im unmittelbaren Nahbereich in der Modellierung oder vor Ort erkennbar und eine Leitwirkung schwer einordenbar. In der Regel sind die Zuströmgeschwindigkeiten der Turbine auf 1 m/s mit den zugehörigen Rechenstabweiten bei der Ausbauwassermenge dimensioniert.

Im Unterwasser prägen große Turbulenzballen das Bild, das eine gerichtete Strömung erst zum Teil weit unterhalb erkennen lässt. Ein systematisches Messen ist daher schwierig und v. a. im Hinblick auf die Größe (Fluss und Anlagen) und insbesondere das Verhalten der Fische eine Herausforderung.

So fallen Hamenuntersuchungen mit wenigen Ausnahmen aus, da diese Flüsse auch große Mengen an Treibzeug sowie Sedimenten mit sich führen und auch die Turbulenzballen das Arbeiten im Nahbereich gefährlich gestalten. So bedient man sich der Telemetrie oder der passiven Markierung von Fischen, um Rückschlüsse zu ziehen. Jede bisher angewendete Methode hat folglich Schwächen in der Stärke der Aussage und der Einordnung. In den Vorträgen wurden die jeweiligen Grenzen klar herausgearbeitet und folglich oft keine scharfen Aussagen getätigt, die nicht belegbar wären. Die Beiträge zur potenziellen Schädigung beim Turbinendurchgang großer Turbinen lassen erkennen, dass die rechnerischen Schädigungsraten (Modelle) bestätigt werden und anlagenspezifisch ein Wanderweg durch die Turbine in der Einordnung aller Wanderwege und der vorhandenen Populationen mit der Kompensation der potenziellen Schädigungsraten durch Habitatmaßnahmen ein Weg sein kann, ohne die lokalen Populationen durch die anlagenbedingte Schädigung zu gefährden.

3.2 Alle Wanderwege werden genutzt

Bei der Herstellung der aufwärtsgerichteten Durchgängigkeit wurden oft Monitoringergebnisse präsentiert, die v. a. mit Hamen am oberen Ende das Wanderverhalten dokumentieren. Methodisch klar ist, dass die abwärtsgerichtete Wanderung oft nicht dokumentiert wurde. Wie die Ergebnisse der Telemetrieversuche, des Videomonitors, der PIT-Tag-Untersuchungen und Farbmarkierungen an Fischen zeigen, werden Fischwanderhilfen in beide Richtungen von verschiedenen Fischarten häufig genutzt. Beeindruckend ist, dass diese weit abgerückt von der Wasserkraftanlage und zum Teil auch bei sehr kleinen Einstiegen und Wassermengen im Verhältnis zum Abfluss im Fluss gefunden und wiederholt genutzt werden. Eine Einordnung wie Umgehungsgewässer z. B. als Laichgewässer aufgesucht und dann nach ober- und unterstrom verlassen werden, werden die noch folgenden, langjährigen Untersuchungen weiter aufzeigen. Es gibt somit Indizien, dass Fischwanderhilfen häufig auch zum Fischabstieg aber auch als Schlüsselhabitate von ober- und unterstromigen Populationen im jahreszeitlichen Wechsel genutzt werden. Es wurden markierte Fische mehrfach in der Reusenanlage gefangen oder an den Messstellen dokumentiert, so dass der Fischabstieg auch über Wehr oder Wasserkraftanlage stattgefunden haben muss. Klar ist auch, dass einzelne Individuen nach ober- und unterstrom über mehrere Staustufen schwimmen. Der Nachweis, dass Fische durch Wasserkraftanlagen oder Wehr ohne Schaden überwunden haben, ist klar, wobei methodisch manchmal nicht unterschieden werden konnte, ob der Weg über Wehr oder die Wasserkraftanlage erfolgte. Die Einordnung der artspezifischen Mortalität an der Wasserkraftanlage selbst, wie in den anderen Beiträgen des Workshops vorgetragen [4], ist in zukünftige gesamtheitliche Populationsbetrachtungen einzubeziehen und alle genutzten Wanderwege sind zu betrachten, um die anlagenspezifische Mortalität im Gesamtsystem einzuordnen.

3.3 Habitatmaßnahmen und Umgehungsgewässer als wesentliche Bausteine im Gesamtkonzept zum Erhalt von Populationen

Umgehungsgewässer mit Habitatfunktion werden von verschiedenen Arten unterschiedlich im jahreszeitlichen Wechsel genutzt für Laichaktivitäten, als klassischer Wanderkorridor in beide Richtungen, als Juvenil- und Nahrungshabitat [12].

Im langjährigen Planungsprozess zur Durchgängigkeit der Fließgewässer an Inn und Donau wurde von den beauftragten Fachplanern (Holzner et al. [5], [6]; Mühlbauer et al. [7]; Zauner et al. [8], [9], Nagel et al. [10], Farò et al. [11] und Petz-Glechner (unveröffentlicht)) als auch den Behördenvertretern der Vorteil von Umgehungsgewässern mit Fließgewässereigenschaften und zusätzlichen Lebensraumfunktionen für den Inn erkannt (**Bild 3**).

4 Übertragbarkeit und Forschungsbedarf

4.1 Zielrichtung

Aus den Themen der bisher stattfindenden Arbeitsgruppen zu Fischschutz, Fischwanderung und Fischabstieg und in der Einordnung im systemischen Ansatz mit einzugsgebietsbezogenen Konzepten mit Habitatmaßnahmen im prozessorientierten Ansatz wurden Forschungsthemen identifiziert, die Aufschluss v. a. zu den wenig erforschten potamodromen Fischarten liefern sollten. Diese Abgrenzung erfolgt, um zielgerichtet wirksame Maßnahmenkonzepte zur Reproduktion, zu den Lebensraumsprüchen, aber auch dem Wanderverhalten stromauf und stromab entwickeln zu können. In den betrachteten Flussabschnitten, die alle als HWMB eingestuft sind, wurden gezielt Maßnahmen entwickelt, fischökologisch bewertet und ein adaptives Management (Naturraum und Umgehungsgewässer) vorgeschlagen, um wie z. B. beim Sedimentmanagement den Laichplatz mit entsprechender Qualität und Quantität regelmäßig herzustellen, da sich die notwendigen Prozesse im stark Feinsediment-dominierenden Fluss nicht langfristig natürlich erhalten lassen.

4.2 Übertragbarkeit auf andere Anlagen

Die Nachweise sind erbracht, dass ökologische Maßnahmen positiv auf Fischpopulationen wirken, dass die Schädigungsraten beim Turbinendurchgang lokal eingeordnet werden können und dass alle/mehrere Wanderwege genutzt werden. Daraus lässt sich schließen, dass die abwärtsgerichtete Wanderung in einer Gesamtbetrachtung im Hinblick auf die Population unbedeutend sein kann, wenn die potenziellen Schädigungsraten kompensiert werden können.

Zusätzliche technische Maßnahmen zum Fischschutz und Fischabstieg an der Anlage sind aus Sicht der Wasserkraftbetreiber nicht erforderlich, wenn die Populationen durch wirksame Maßnahmen zum Erhalt der Populationen im Raum hergestellt und unterhalten werden können. Diese Einschätzung wurde von Teilen der Workshop-Teilnehmer nicht geteilt.

Wie im Workshop in den Vorträgen präsentiert [4], lassen sich die Thesen wie folgt aus Sicht der Wasserkraftbetreiber einordnen:

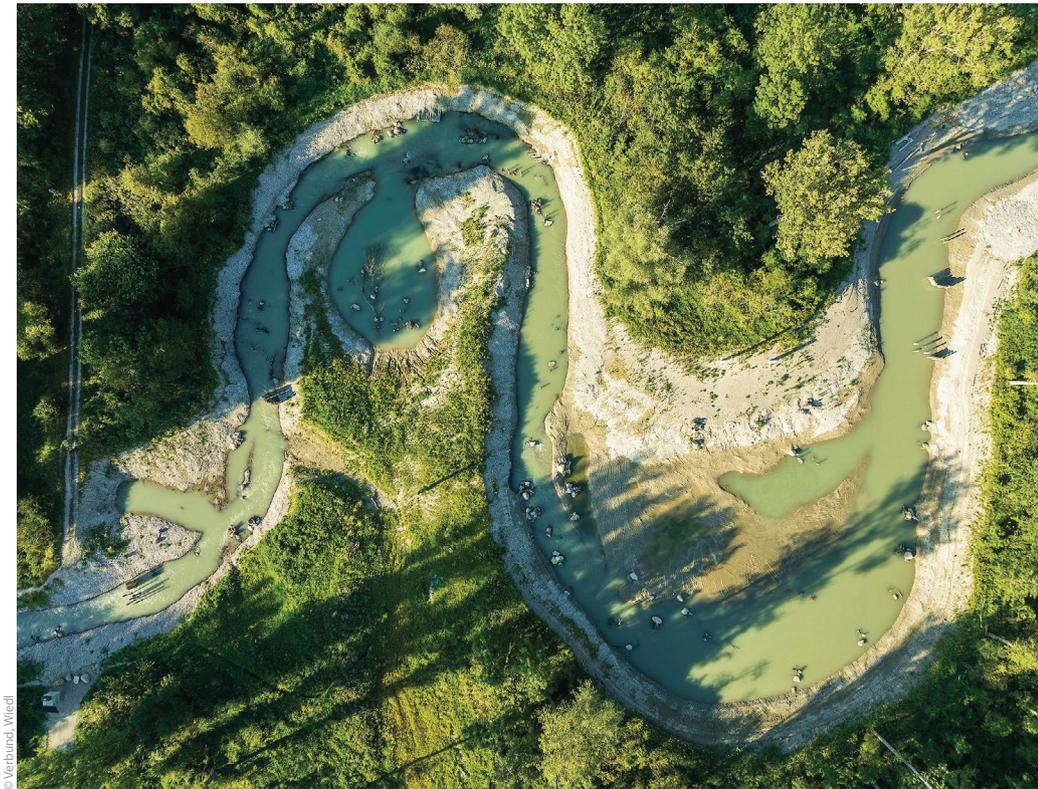


Bild 3: Umgehungsgewässer Braunau/Simbach mit vielfältigem Habitatportfolio, Stillgewässern und Auendynamik

- Es zeigen sich Richtungen und Tendenzen für eine generelle Übertragbarkeit für vergleichbare Anlagen und Flusssysteme.
- Der Abstieg durch die Turbine kann unter dem Aspekt der Mortalität/Population standortspezifisch eingeordnet werden, so dass der Abstieg durch die Turbine einen Wanderkorridor darstellen kann.
- Es gibt keine wirksamen technischen Lösungen zum Fischabstieg an Wasserkraftanlagen an großen Gewässern. Ein zusätzlicher technischer Fischabstieg an der Anlage ist für große Kaplan-Turbinen an großen Gewässern mit potamodromen Fischen dann nicht erforderlich, wenn wirksame Maßnahmen ergriffen werden, die auf Populationsniveau wirken und andere Korridore ohne Kontakt mit der Turbine von einem Teil der Population genutzt werden. Eine Zusammenführung der einzelnen Beiträge zu einem Gesamtkonzept hat noch nicht stattgefunden, so dass diese Einordnung in der zukünftigen Forschung erfolgen sollte. Eventuelle Restmortalitäten sollten im Raum kompensiert werden können.

4.3 Weiterer Forschungsbedarf

Aus Sicht der Wasserkraftbetreiber und auch in den Workshop-Arbeitsgruppen herausgearbeitet gibt es noch weiteren Forschungsbedarf. Bei Workshopeteilnehmern herrschte analog zu Abschlussdokumentation des Forums Fischschutz [1] Einigkeit, dass es zwar noch keinen Stand der Technik oder gar a. R. d. T. zum Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen an großen Gewässern gibt, aber Leit- und Scheuchsysteme sowie fischfreundliche Turbinentechnik bei Bedarf (hohe örtliche, tur-

binenbedingte Mortalität) weiter erforscht werden sollte. Hierzu finden Forschungsanstrengungen im In- und Ausland statt. Zu diesen Forschungen und damit bedingten Auflagen und Nachbesserungserfordernissen gibt es beim Forum Fischschutz klare Empfehlungen an die Behörden [1].

Im Folgenden werden identifizierte Forschungsfragen im Hinblick auf Fischschutz und Fischabstieg aus Sicht der Wasserkraftbetreiber formuliert:

- Welche Abstiegswege werden artspezifisch genutzt?
- Ist eine Unterscheidung und Einordnung zwischen beckenartigen und naturnahen FAA hinsichtlich Auf- und Abstieg mit ihrer Wirkung auf das Wanderverhalten und Populationen notwendig?
- Der Einfluss der Auffindbarkeit (Ober- und Unterwasser) bei verschiedenen Anlagen zum Auf- und Abstieg an der FAA ist gezielt auf die Populationen im Raum einzuordnen. Wie kann dies systematisch an umgesetzten Anlagen eingeordnet werden?
- Welches Habitatportfolio ist in jedem Staugebiet notwendig, um ggf. die Wanderdistanzen zu reduzieren, wie wirksam ist das Sedimentmanagement und wie beeinflusst damit die Habitatqualität die Wanderdistanz?

Im Folgenden werden die ergänzenden Forschungsfragen aufgeführt, die im Workshop formuliert wurden:

- Wie ist die Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen und der Methodik für verschiedene Gewässersysteme einzuordnen?
- Wer wird bei höheren Abflüssen verdriftet und wer wandert aktiv ab? Gibt es eine Wanderverhalten zur Kompensation der Larvendrift?

- Wie ist die Bedeutung von Wehrabfluss und Art der Wasserabgabe (Überfall, Schützunterströmung etc.) für den Abstieg einzuordnen? Hierzu sind weitere Telemetriestudien notwendig.
- Ein Vergleich der Abwanderungsmotivation zwischen HMWB und naturnahen Gewässern wäre anzustreben.

5 Fazit

Im Spannungsfeld zwischen regenerativer Energieversorgung einerseits und nachhaltigem Gewässerschutz andererseits bemühen sich die Wasserkraftbetreiber ganzheitliche, flussgebietsbezogene Konzepte auch für die abwärts gerichtete Durchgängigkeit umzusetzen. Da es keinen Stand der Technik oder gar a. R. d. T. zum Fischabstieg an der Anlage selbst gibt, ist eine Einordnung wichtig, welche vorhandenen Wanderwege genutzt werden, welche anlagenspezifischen Restmortalitäten kompensiert werden müssen und inwieweit Gewässerstrukturmaßnahmen und Ersatzhabitate v. a. auch in Umgebungsgewässern möglicherweise das Wanderverhalten ohne Kontakt mit der Turbine beeinflussen können. Es geht vor allem darum, mit welchen Methoden und Schlüsselhabitaten Populationen im Raum erhalten und gefördert werden, um die Bewirtschaftungsziele zu erreichen und Arten langfristig zu erhalten. Umgebungsgewässer mit Habitatfunktionen werden auch zum Fischabstieg genutzt oder reduzieren den möglichen Kontakt mit einer Turbine auch indirekt, da ein Teil der Population in Umgebungsgewässern laicht, Jungfischhabitate vorhanden sind und sich größere Wanderdistanzen für diesen Anteil von Fischen offensichtlich reduzieren. Unverkennbar ist, dass ggf. auch

Georg Loy

Downstream Migration and Descent - Interpretation of the Research Works, Workshop 2025 from the Perspective of a Hydropower Operator

In respect to protect and foster fish populations in the Danube catchment a workshop "ecology and hydropower" was held in 2025. One aspect was downstream migration and the impact of this migration on fish population. So far no technical solutions for large hydropower plant do exist to guarantee a balance between CO₂ free energy production and possible effects on fish populations. Since there is no state of the art for fish descent at the facility itself, it is important to classify which existing migration routes are being used, which facility-specific residual mortalities need to be compensated, and to what extent river restoration improve the local status of fish populations. All possible downstream passage facilities are used by the fish and especially fish bypass systems which are designed for the upstream migration are used for downstream migration. If these facilities include spawning areas and juvenile habitats these which may play a key role for the local habitat status and reduce the possible contact with a turbines. To pursue the common goal, to reach the good environmental potential (EU water framework directive), different approaches and concepts are followed. To offer river specific solutions to reach the good ecological potential a "best environmental option" should be implemented and chosen according to our experiences. Almost all discussed projects are in heavily modified water bodies (HMWB).

artspezifisch ein unterschiedliches Verhalten an der Anlage selbst, beim Fischabstieg und bei der Nutzung der Umgebungsgewässer vorhanden ist, das weiterer Forschung bedarf.

Die Ableitung von Maßnahmen zum Fischabstieg und von Schutzziele sollte unter Berücksichtigung der Machbarkeit aber auch der Wirksamkeit für die Populationen formuliert werden.

Autor

Dipl.-Ing. Georg Loy
Verbund Innkraftwerke GmbH
Werkstrasse 1
84513 Töging am Inn
georg.loy@verbund.com

Literatur

- [1] Ecologic Institute (Hrsg.): Forum „Fischschutz und Fischabstieg“ - Synthesepapier. 2014 (https://forum-fischschutz.de/sites/default/files//Synthesepapier_5.Workshop.pdf, Abruf 01.07.2025).
- [2] VGBE (Hrsg.): Synthesepapier zum Forum Fischschutz 2017. (www.vgbe.energy/?r3d=synthesepapier-zum-forum-fischschutz-und-fischabstieg; Abruf 01.07.2025).
- [3] Reckendorfer, W.; Loy, G.; Ulrich, J. et al.: Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation - die Sicht der Betreiber großer Wasserkraftanlagen. In: WasserWirtschaft 107 (2017), Heft 2-3.
- [4] LEW Wasserkraft GmbH (Hrsg.): Ökologie und Wasserkraft an großen Gewässern im Donau-Einzugsgebiet (www.oekologie-wasserkraft.de, Abruf 01.07.2025).
- [5] Holzner, M.; Loy, G.; Schober, H. M.; Schindlmayr, R.; Stein, C.: Vorgehensweise zur Entwicklung von populationsunterstützenden Maßnahmen für die Fischarten am Inn in Oberbayern. In: WasserWirtschaft 104 (2014), Heft 7/8, S. 18-25.
- [6] Loy G.; Holzner, M.; Schober, H. M.; Schindlmayr, R.; Stein, C.: Maßnahmen zur Förderung von Populationen bedrohter Fischarten am Inn (Oberbayern) im Rahmen des Gewässerunterhaltes. In: WasserWirtschaft 104 (2014), Heft 7/8, S. 26-33.
- [7] Mühlbauer, M.; Lauber, W.; Derntl, F. et al.: Dynamische Dotation und Sedimentmanagement zur Gewährleistung funktioneller Fließgewässerhabitate in Fischwanderhilfen. In: Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft (2022), Heft 10.
- [8] Zauner G.; Jung M.; Ratschan C.; Mühlbauer M.: Ökologische Sanierung von Fließstrecken und Stauhaltungen der österreichischen Donau - auf dem Weg zur Zielerreichung nach Wasserrahmenrichtlinie. In: Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft (2016)
- [9] Zauner, G.; Lauber, W.; Jung, M. et al.: Wie erreicht man das „gute ökologische Potential“? Fallbeispiel Innstauraum Eggfling-Oberberg. In: Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft (2020).
- [10] Nagel, C.; Pander, R.; Geist, J.: Bewertung der Wirksamkeit von habitatverbessernden Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen im Inn. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 50-53.
- [11] Farò, D.; Wolter, C.: Fisch-Populationsmodelle zur Abschätzung der Wirkung von Renaturierungsmaßnahmen am Unteren Inn. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 54-59.
- [12] Loy, G.: Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation - Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus dem Workshop 2025 aus Sicht eines Wasserkraftbetreibers. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 70-75.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2560-8>

Direkte Effekte großer Wasserkraftanlagen auf potamodrome Fischpopulationen - ein Überblick über aktuelle Untersuchungsergebnisse und erfolgsversprechende Minderungsmaßnahmen

Wenn Fische die Turbinen von Wasserkraftanlagen passieren, kann nicht ausgeschlossen werden, dass es zu Verletzungen und Todesfällen kommt. Bezogen auf die Populationen liegen die Mortalitätsraten an größeren Kaplannturbinen für die meisten Arten und Stadien jedoch im niedrigen einstelligen Prozentbereich. Messbare Auswirkungen auf potamodrome Fischpopulationen sind daher wahrscheinlich eher die Ausnahme und wurden bisher auch nicht dokumentiert. Habitatmaßnahmen sind eine vielversprechende Möglichkeit, um den Kontakt mit Turbinen zu reduzieren und die verbleibende Mortalität zu auszugleichen.

Walter Reckendorfer und Franziska Fechner

1 Einleitung

Fische können an Kraftwerken bei der Abwärtswanderung geschädigt und getötet werden, sei es beim Turbinendurchgang (z. B. [1], [2]), beim Wehrüberfall [3], bei der Rechenpassage ([4], [5]) oder bei der Passage durch Fischabstiegseinrichtungen [6]. Auf Grund der potenziell hohen Schädigungen in Turbinen konzentrierte sich die Forschung in den letzten Jahren verstärkt auf die Mortalitätsfaktoren bei der Turbinenpassage. Dabei hat sich gezeigt, dass der direkte Kontakt mit Turbinenschaufeln (Blade-Strike) sowie Druckunterschiede (Barotrauma) die wesentlichen Mortalitätsursachen sind, während Scherkräfte und Turbulenzen zwar Schädigungen verursachen können, aber selten tödlich für die Fische sind. Die meisten Erkenntnisse wurden dabei an Lachs und Aal gewonnen, während nur wenige Untersuchungen an potamodromen Arten durchgeführt wurden [7]. Auch ist die Auswirkung der turbinenbedingten Mortalität von Individuen auf potamodrome Populationen weitgehend unbekannt. Ein Review zu diesem Thema [8] fand keine einzige Studie, die einen Einfluss auf Populationen nachgewiesen hätte [9].

2 Auswirkung auf Individuen

2.1 Blade-strike

Eine einfache Möglichkeit, die Schädigungsraten bei einer Turbinenpassage abzuschätzen, bieten empirische Modelle [7] und Blade-strike-Modelle [8]. Empirische Modelle prognostizieren die Überlebensrate anhand von Variablen, von denen angenommen

wird, dass sie einen Einfluss auf die Überlebensrate haben, wie z. B. die Fischgröße oder Turbinenparameter. Blade-strike-Modelle berechnen die Wahrscheinlichkeit der Kollision eines Fisches mit einer Turbinenschaufel. Über eine empirisch ermittelte Mutilation-Rate kann dann auf die Mortalitätsrate rückgeschlossen werden. Beide Modelle zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit in situ ermittelten Überlebensraten und liefern plausible Ergebnisse. Generell zeigen größere Turbinen höhere Überlebensraten (**Bild 1**), da die Chance getroffen zu werden stark von Verhältnis Fischgröße zu Turbinengröße (**Bild 2**) und der Umdrehungsgeschwindigkeit abhängt, die bei größeren Turbinen meist geringer ist.

2.2 Barotrauma

Studien haben gezeigt, dass die Schädigung durch Barotrauma durch das Verhältnis zwischen dem Druck in der Akklimatisierungstiefe (PA) und dem niedrigsten Druck während der Turbi-

Kompakt

- Mortalitäten an großen Wasserkraftanlagen liegen beim größten Teil der absteigenden Fischarten und Stadien im einstelligen Prozentbereich.
- Im Vergleich zu anderen Mortalitätsursachen sind diese Mortalitätsraten eher gering und haben in der Regel keinen messbaren Einfluss auf Fischpopulationen.
- Ökologische Maßnahmen können die Schädigungsraten nochmals deutlich reduzieren und verbleibende negative Einflüsse kompensieren.

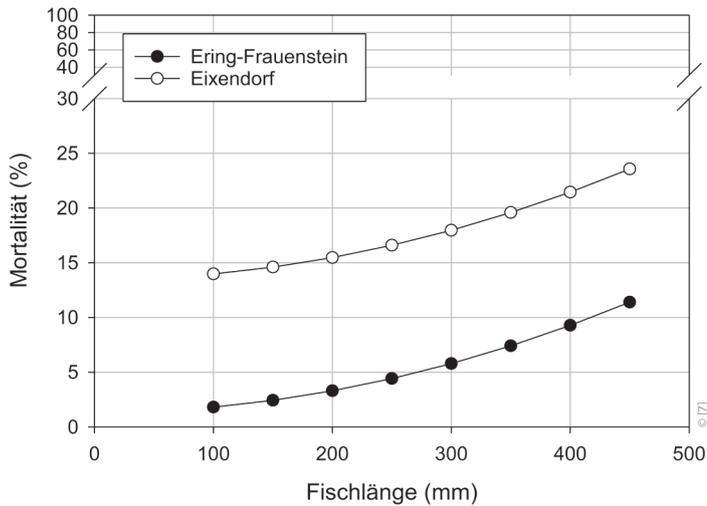


Bild 1: Mortalitätsraten (1 Stunde) in zwei unterschiedlich großen Turbinen berechnet mit empirischen Modellen

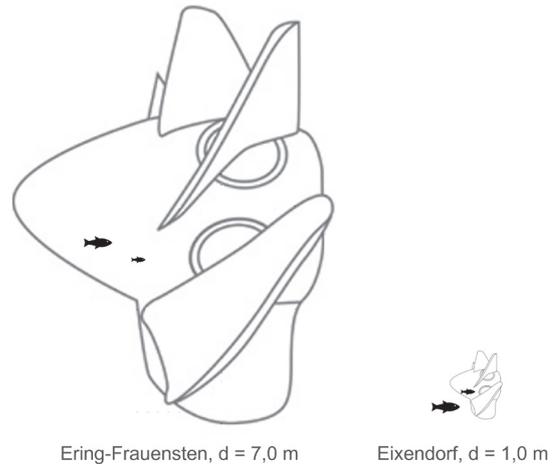


Bild 2: Verhältnis der Turbinengröße zu Fischgrößen, dargestellt sind maßstabsgetreu ein 20 und 50 cm langer Fisch

nenpassage (PE, Nadir) bestimmt wird. Hohe Drücke spielen als Schädigungsmechanismus in der Regel keine Rolle. Verschiedene Fischarten und Entwicklungsstadien reagieren dabei sehr unterschiedlich hinsichtlich Druckänderungen (**Bild 3**).

Bild 4 zeigt die niedrigsten Drücke, welche an großen und mittelgroßen Kaplan-Turbinen gemessen wurden. Bereiche mit niedrigem Druck, die für Fische letal sein können, sind örtlich

eng begrenzt. Bei den großen Turbinen am Columbia River (Durchmesser ca. 7 m) traten nur bei ca. 1 % der Turbinenpassagen Drücke von unter 50 kPa auf. Bei mittelgroßen Turbinen treten niedrigere Nadire auf, je nach Lastfall lagen zwischen 2 % und ca. 30 % unterhalb 50 kPa. Dabei können je nach Art und Stadium zwischen 0,1 und 10 % der abwandernden Larven und Juvenilen geschädigt werden [9].

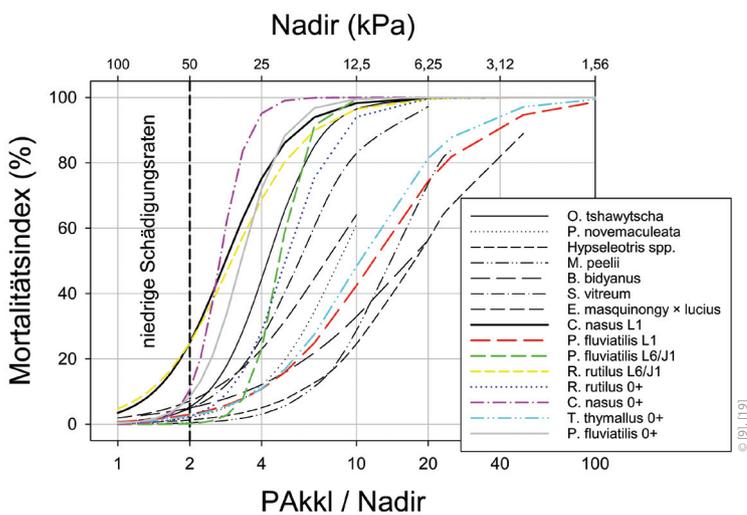


Bild 3: Überlebensraten verschiedener Fischarten und Entwicklungsstadien (oberflächenadaptiert) in Abhängigkeit vom Nadir

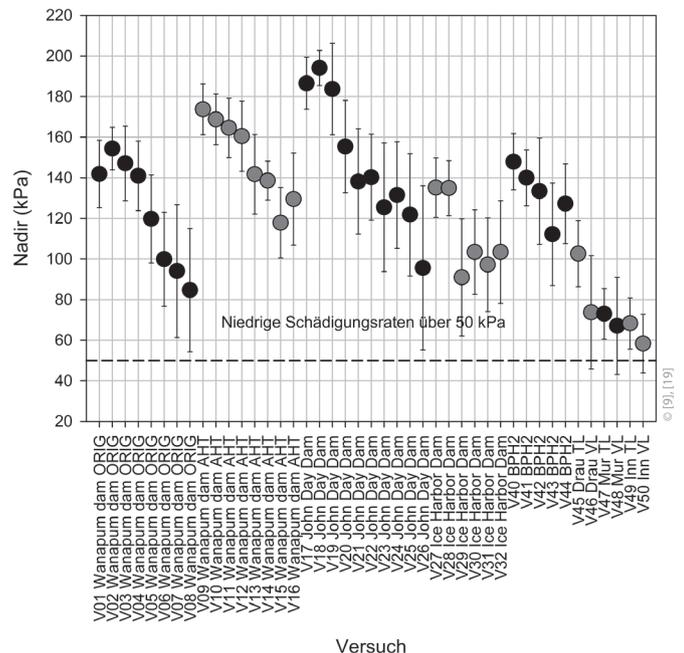


Bild 4: Nadir-Werte (MW ± SD) für verschiedene Turbinen (BPH2 - Bonneville Dam, Powerhouse 2) und Versuche (V01 bis V50); für die jeweilige Turbine sind die Versuche von niedrigem zu hohem Durchfluss geordnet



Bild 5: Mündung der Fischwanderhilfe Ottensheim-Wilhering: Flussauf der Mündung wurde das steile, mit Steinen gesicherte Ufer abgeflacht, flussab der Mündung befindet sich der bereits vorab hergestellte Nebenarm Marktau, im Hintergrund befindet sich das Kraftwerk Ottensheim-Wilhering zu sehen

3 Auswirkung auf Populationen

Bei potamodromen Fischen dürften messbare negative Auswirkungen eines Turbinenbetriebes auf einzelne Fischpopulationen die große Ausnahme sein und nicht die Regel. Die dokumentierten Mortalitätsraten liegen für die meisten Arten und Stadien im niedrigen einstelligen Bereich. Da nicht alle Individuen durch eine Turbine wandern [10], sind die Mortalitätsraten in Hinblick auf die Population nochmals deutlich niedriger. Keine Untersuchung konnte bisher einen Einfluss turbinenbedingter Schädigung oder von Wasserentnahmen auf Fischpopulationen feststellen. Algera et al. [11] untersuchten diese Frage für Wasserkraftwerke anhand eines systematischen Protokolls mittels einer Metaanalyse (264 Studien aus 87 Artikeln). Barnhouse [12] untersuchte die Frage für Wasserentnahmen (von der Wirkung her mit einem Turbinenbetrieb vergleichbar) an großen nordamerikanischen Flüssen mit teils jahrzehntelangen umfangreichen Monitoringdaten. Weder [11] noch [12] fanden Studien, die schlüssig einen Effekt auf Fischpopulationen nachwiesen. Auch wenn negative Auswirkungen von Turbinenbetrieb oder Wasserentnahmen bisher nicht schlüssig dokumentiert wurden, beweist dies nicht, dass negative Auswirkungen nicht auftreten oder nie auftreten können. Dass solche Auswirkungen - trotz mehreren Jahrzehnten Betrieb von Großkraftwerken, von denen einige langjährige, umfangreiche Überwachungsprogramme durchführen - bisher praktisch nicht dokumentiert wurden, ist jedoch ein starker Hinweis darauf, dass die Auswirkungen von Turbinen oder Wasserentnahmen im Vergleich zu anderen Stressoren, wie Überfischung, Lebensraumzerstörung, Verschmutzung und invasive Arten, gering sind. Die Auswirkungen von Wasserkraftanlagen können durch verschiedene Habitat-Maßnahmen weiter gemindert werden.



Bild 6: Unterwasserstrukturierung beim KW Ering-Frauenstein

4 Erfolgsversprechende Minderungsmaßnahmen

4.1 Umgehungsgewässer mit Habitatfunktion

Am Kraftwerk Ottensheim-Wilhering wurde im Rahmen des LIFE-Projekts „LIFE Netzwerk Donau“ eine große, naturnahe Fischwanderhilfe (FWH) in Form eines Umgehungsgewässers mit intergrierten, renaturierten Zubringern gebaut (**Bild 5**). Wir verwenden hier bewusst den Begriff Fischwanderhilfe und nicht den in Leitfäden verwendeten Begriff Fischaufstiegsanlage, da die Anlage von Fischen nachweislich auch für den Abstieg genutzt wird. Untersuchungen mittels PIT-Tags (Passive Integrated Transponders) zeigten, dass Fische sowohl aus dem Oberwasser als auch aus dem Unterwasser in die FAA einwandern. Etwa 60 % der im Oberwasser markierten adulten Nasen wanderten von oben in die FAA ein. Von den im Unterwasser markierten adulten Nasen wanderten etwa 70 % in die FWH. Der Großteil der Fische wanderte im Frühjahr in die FWH ein und im Herbst wieder zurück in die Donau, was zeigt, dass die FWH zum Laichen, aber auch im Sommer und Herbst als Nahrungshabitat genutzt wurde [13], [14].

4.2 Strukturierungen in der Stauwurzel

Im Unterwasser des Innkraftwerks Ering-Frauenstein wurde ein 1,5 km langes Insel-Nebenarm-System auf einer vormals terrestrischen Fläche von insgesamt 30 ha neu errichtet (**Bild 6**). Durch Anlage eines breiten Einströmbereichs sowie eines flach ausgebildeten Inselkopfes entstanden großflächig angeströmte Kiesstrukturen. Zusätzlich wurde ein Stillgewässer mit einer Wasserfläche von rund 1,7 ha errichtet, welches am unteren Ende an den Nebenarm angebunden ist. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen in Kombination mit einer naturnahen FWH wurden mit einem Populationsmodell evaluiert [15], [16]. Das Modell sagt eine deutliche Zunahme der Biomassen adulter Äschen, Nasen und Barben voraus. Die Gesamtbiomasse der drei Arten kann laut Modell von jetzt etwa 3 kg/ha auf 42 kg/ha ansteigen.



Bild 7: Flusslandschaft „Neue Traisen“: Trockenstandorte mit Orchideen und einzelnen Bäumen begleiten den Verlauf ebenso wie Sumpf- und Röhrichzonen

4.3 Anbindung und Aufwertung von Zubringern

Im Rahmen des LIFE-Projektes „LIFE Traisen“ wurde eine der bisher größten Renaturierungsmaßnahmen an einem Zubringer durchgeführt. Anstelle einer technischen Lösung, bei der mehrere Rampen fischdurchgängig gestaltet werden müssten, entschied sich Verbund für die Schaffung eines neuen Fluss-Auen-Systems mit abgesenkter Staustufe und frei fließendem Gewässer (**Bild 7**). Wie Untersuchungen zeigen [17], suchen eine Reihe rheophiler Donaufische, wie etwa Barben, Nasen und Rußnasen, jedes Frühjahr geeignete Habitate oberhalb der renaturierten Traisen wieder zum Laichen auf. Der ökologische Zustand der Fischfauna der Traisen hat sich von „schlecht“ auf „gut“ bis „sehr gut“ verbessert [18]. Keiner der Fische, die jetzt wieder in der Traisen laichen oder schlüpfen, kommt mit einer Turbine in Berührung. Die erhöhte Produktion zeigt bereits erste positive Auswirkungen in der Donau selbst.

Autoren

Dr. Walter Reckendorfer
Verbund Hydro Power GmbH
Europaplatz 2
1150 Wien, Österreich
walter.reckendorfer@verbund.com

Franziska Fechner, M. Sc.
Uniper Kraftwerke GmbH
Luitpoldstraße 27
84034 Landshut
franziska.fechner@uniper.energy

Literatur

- [1] Ratschan, C.; Hoffman, C.; Zauner, M. et al.: Erhebung der Schädigung von Fischen beim Durchgang von Kaplan-Turbinen mittelgroßer Kraftwerksanlagen. In: Österreichische Wasser- & Abfallwirtschaft (2025).
- [2] Ratschan, C.; Hoffman, C.; Zauner, M. et al.: In-situ-Erhebung der Schädigung von Fischen beim Durchgang großer Kaplan-Turbinen. In: Wasserwirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 33-37.
- [3] Pflugrath, B. D.; Boys, C. A.; Cathers, B.; Deng, Z. D.: Over or under? Autonomous sensor fish reveals why overshot weirs may be safer than undershot weirs for fish passage. In: Ecol. Eng. 132 (2019), S. 41-48.

- [4] Moser, M. L.; Jackson, A. D.; Lucas, M. C.; Mueller, R. P.: Behavior and potential threats to survival of migrating lamprey ammocoetes and macrophthamia. In: Reviews in Fish Biology and Fisheries 25 (2015), No. 1, S. 103-116.
- [5] Calles, O.; Olsson, I. C.; Comoglio, C. et al.: Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escape to the sea. In: Freshwater Biology 55 (2010), No. 10, S. 2 167-2 180.
- [6] Ferguson, J. W.; Sandford, B. P.; Reagan, R. E. et al.: Bypass system modification at Bonneville Dam on the Columbia River improved the survival of juvenile salmon. In: T. Am. Fish. Soc. 136 (2007), S. 1 487-1 510.
- [7] Reckendorfer, W.; Schneider, J.: Empirische Modelle zur Vorhersage der Überlebensraten von Fischen in Kaplan-Turbinen. In: Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft (2025).
- [8] Van Raben, K.: Zur Frage der Beschädigung von Fischen durch Turbinen. In: Die Wasserwirtschaft (1957), Heft 4, S. 97-100.
- [9] Zitek, A.; Gessl, W.; Mehlmaier, P. et al.: Barotrauma von Larven und Jungfischen bei der Turbinenpassage. In: Wasserwirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 28-32.
- [10] Ratschan, C.; Zauner, M.; Zauner, G. et al.: Wanderungen potamodromer Cypriniden in einer Kraftwerkskette. In: Wasserwirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 12-17.
- [11] Algera, D. A.; Rytwinski, T.; Taylor, J. J. et al.: What are the relative risks of mortality and injury for fish during downstream passage at hydroelectric dams in temperate regions? In: A systematic review. Environmental Evidence 9 (2020), No. 1, S. 3.
- [12] Barnthouse, L. W.: Impacts of entrainment and impingement on fish populations: a review of the scientific evidence. In: Environmental science & policy 31 (2013), S. 149-156.
- [13] Reckendorfer, W.; Schabuss, M.; Petz-Glechner, R.: Downstream movement through fishways-new insights based on PIT technology. In: Wasserwirtschaft 113 (2023), Heft 2-3, S. 31-34.
- [14] Schabuss, M.; Zornig, H.; Petz-Glechner, R.; Reckendorfer, W.: Near-natural Fish Bypasses in the Danube: Improving Downstream Migration, Connecting Tributaries, and Creating Habitats for Potamodromous Fish. In: Authorea (2025) (doi.org/10.22541/au.173833926.62698941/v1).
- [15] Farò, D.; Wolter, C.: Linking functional habitat and fish population dynamics modeling to improve river rehabilitation planning and assessment. In: Journal of Environmental Management 370 (2024), S. 122 331.
- [16] Farò, D.; Wolter, C.: Integrating habitat suitability and larval drift modeling for spawning-to-nursery functional habitat connectivity analysis in rivers. In: Water Resources Research 60 (2024), No. 9, e2023WR036827.
- [17] Pelz, D.; Friedrich, T.; Zeiringer, B.; Hein, T.; Unfer, G.: Reproductive ecology of three rheophilic fish species in the Austrian Danube River system: Insights into the spawning of Chondrostoma nasus, Barbus barbus, and Vimba vimba, and the larval development of C. nasus in the River Traisen. In: Limnologica (2025), S. 126 250.
- [18] Reckendorfer, W.; Häckl, C.; Schütz, C.; Schabuss, M.: Naturbasierte Lösungen und Wasserkraft: Herausforderungen und Beispiele. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft (2023), Nr. 10, S. 672.
- [19] Reckendorfer, W.: Druckverhältnisse in großen Kaplan-Turbinen und deren Auswirkungen auf die Überlebensraten von Fischen. In: Wasserwirtschaft 110 (2020), Heft 2-3, S. 86-90.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2558-2>

Walter Reckendorfer and Franziska Fechner

The direct effects of large hydropower plants on potamodromous fish: an overview of current research results and promising mitigation measures.

Injuries and deaths cannot be ruled out when fish pass through the turbines of hydropower plants. However, in terms of population, mortality rates at larger Kaplan turbines are in the low single-digit percentage range for most species and life stages. Therefore, measurable effects on potamodromous fish populations are probably the exception and have not yet been documented. Habitat measures are a promising way of reducing contact with turbines and offsetting the remaining mortality.

Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation - Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus dem Workshop 2025 aus Sicht eines Wasserkraftbetreibers

Im Rahmen der Veranstaltung „Ökologie und Wasserkraft“ 2025 der Wasserkraftbetreiber im Donaeinzugsgebiet wurde ein anderer Konzeptansatz als mögliche Maßnahme zum Schutz der Fischpopulation an Wasserkraftanlagen selbst vorgestellt, da es Grenzen des technisch Machbaren, aber auch offene Fragen zum technischen Fischschutz und Fischabstieg an der Anlage selbst gibt. Die Wasserkraftbetreiber setzen sich für einen Populationsansatz ein, um dem Erhalt und dem Management von gefährdeten Fischpopulationen im Raum gerecht zu werden. Hierzu ist es notwendig, mit naturwissenschaftlichen Methoden die Wissenslücken zu den potamodromen Arten des Donaeinzugsgebietes zu schließen. Populationsgrößen sollen abgeschätzt, die Reproduktionsraten eingeordnet, genetische Vielfalt und das Migrationsverhalten betrachtet und Mithilfe wissenschaftlicher Methoden, wie Populationsmodellen und dem Monitoring von Individuen, wirksame Schutzmaßnahmen gezielt ergriffen werden, die im Populationsansatz positiv wirken. Die offenen Fragen zu den Schlüsselhabitaten, zum Wanderverhalten, welche Wanderwege genützt und inwieweit die potenzielle Schädigung beim Turbinendurchgang bei Wasserkraftanlagen eine Bedeutung auf einzelne Populationen haben und ob diese im Raum kompensiert werden können, war Teil der Forschungsansätze. Es wurden Thesen der Wasserkraftbetreiber formuliert und im Vortrag vorgestellt, aber klar auch die weiteren offenen Fragen, die auch in den Vorträgen formuliert wurden, angesprochen. Die im Beitrag vorgestellten Ansätze beziehen sich alle auf erheblich veränderte oder künstliche Wasserkörper (heavily modified water bodies, HMWB).

Georg Loy

1 Hintergrund

Im Rahmen der Veranstaltungsreihen des Forum Fischschutzes [1] und „Ökologie und Wasserkraft“ der Wasserkraftbetreiber im Donaeinzugsgebiet [2] wurden ein anderer systemischer Konzeptansatz als mögliche Maßnahme zum Schutz der Fischpopulation an Wasserkraftanlagen an großen Gewässern vorgestellt, da es Grenzen des technisch Machbaren aber auch offene Fragen zum technischen Fischschutz und Fischabstieg an der Anlage selbst gibt. Die Wasserkraftbetreiber setzen sich für einen Populationsansatz [3], [4] ein, um dem Erhalt und dem Management von gefährdeten Fischpopulationen im Raum mit deren Habitatsprüchen gerecht zu werden. Um diesen naturwissenschaftlichen Ansatz gehen zu können, war es notwendig, Wissenslücken zu den potamodromen Arten des Donaeinzugsgebietes zu schließen und für den anthropogen stark überformten Raum des Flussgebietes auch langfristig spezifische Lösungen anbieten zu können. Im Mittelpunkt stand daher die Umsetzung einer

Vielzahl von Maßnahmen [5], [6], [7], um eine wissenschaftliche Bewertung im Raum durchführen zu können. Wichtig in diesem Zusammenhang war es, die Grundlagen für eine wissenschaftliche Einordnung zu liefern, Populationsgrößen abschätzen zu können, die Reproduktionsraten, die genetische Vielfalt und das Migrationsverhalten einzuordnen und mit Hilfe wissenschaftlicher Methoden, wie Populationsmodellen oder dem Monitoring von Individuen, gezielt wirksame Schutzmaßnahmen zu ergreifen, die im Populationsansatz positiv wirken. Die offenen Fragen zu den Anforderungen an die Habitate (Qualität und Quantität) und zum Wanderverhalten, welche Wanderwege genützt und inwieweit die potenzielle Schädigung beim Turbinendurchgang bei Wasserkraftanlagen eine Bedeutung auf einzelne Populationen haben und ob diese im Raum kompensiert werden können, war Teil der Forschungsansätze. Die Frage war und ist, welche Bedeutung haben vorhandene oder neuen Schlüsselhabitats, sei es im Fluss oder in Umgebungsgewässern, und wie können diese in einem Populationsansatz eingeordnet werden.



Bild 1: Umgebungsgewässer Braunau/Simbach mit Gewässerstrukturen, Sediment- und Totholzstrukturen sowie Jungfischhabitaten mit Fließgewässereigenschaften

Die Umsetzung der Strukturverbesserungen am Inn beispielsweise erfolgte ab 2011 mit der Herstellung der Durchgängigkeit mit möglichst naturnahen Umgebungsgewässern. Von den Staufstufen am Inn (17) sind 15 Fischaufstiegsanlagen (FAA) umgesetzt oder in der Ausführung und nur noch zwei in der Genehmigungsplanung und kurz vor Einreichung. Mit dem Forschungsansatz seit 2015 wurden offenen Fragen formuliert und laufend bei weiter identifizierten Themen im Raum ergänzt und präzisiert. Ein weiteres Forschungsprojekt mit PIT-Tag-Markierungen wurde auch im Workshop vorgestellt und läuft weitere 10 Jahre.

Kompakt

- Mit Habitatmaßnahmen im Hauptfluss, Umgehungs- und Nebengewässern lassen sich gezielt potamodrome Fischarten im Trittsteinkonzept erhalten und fördern.
- Alle Wanderwege werden genützt, so dass Fischaufstiegsanlagen und Umgebungsgewässer zur Reduzierung der anlagenbedingten Mortalität beitragen.
- Habitatmaßnahmen dienen der Zielerreichung WRRL und können vermutlich die anlagenbedingten Mortalitäten bei potamodromen Fischarten im systemischen Populationsansatz kompensieren.

Im Workshop 2025 wurden die Ergebnisse der Forschung und Forschungsansätze durch die Vortragenden vorgestellt, ergänzt durch Populationsmodelle und Betrachtungen zur Bewertung der Anlagenmortalität. Es wurden Thesen der Wasserkraftbetreiber formuliert und im Vortrag vorgestellt, wobei auch die weiteren offenen Fragen klar angesprochen wurden. Eine Einordnung der Forschungsergebnisse am Inn in Verbindung mit den Beiträgen im Workshop soll nachfolgend erfolgen.

Wesentlich ist jedoch, dass es ein klares Bekenntnis der Wasserkraftbetreiber zur Herstellung der Durchgängigkeit und auch zu populationsunterstützenden Maßnahmen, die auf Populationsniveau positiv wirken, gibt. Von Bedeutung ist hierbei auch die Einordnung der potenziellen Schädigungsrate beim Anlagendurchgang, die Wirkung von Restaurierungen und einem adaptiven Management der Umgebungsgewässer und von Laichplätzen (Sedimentmanagement), um im Sinne der WRRL die beste Umweltoption im Raum zu ergreifen, um den Zielzustand zu erreichen und die Arten langfristig zu erhalten.

2 Kernaussagen und Thesen der Wasserkraftbetreiber

Zur Zielerreichung der WRRL sollten die Maßnahmen ergriffen werden, die auf Populationsniveau und/oder im Trittsteinkonzept dem Erhalt von Fischpopulationen dienen. Die Durchgän-

gigkeit bei potamodromen Arten hat eine andere Bedeutung als für diadrome Arten, so dass z. B. Umgebungsgewässer mit Habitatfunktionen eine größere Bedeutung im Raum haben können als die reine technische Durchgängigkeit. In einem systemischen, flussgebietsspezifischen Ansatz sollten folgende Habitatfunktionen (**Bild 1**) im betrachteten Flussabschnitt vorhanden und erreichbar sein und sowohl die laterale (Auen, Seitengewässer) als auch longitudinale Durchgängigkeit betrachtet werden:

- flusstypische Fließgewässercharakteristik im Fluss, Seiten- und Umgebungsgewässer mit Sedimentfunktion (Laichplätze und Juvenilhabitate).
- Still- und Flachwasserbereiche, Totholzfunktion und somit wesentliche Juvenilhabitate.
- angebundene Neben- und/oder Auengewässer mit Kraut- und Schilffluren sowie wärmere Zonen.

Es ist ein Ansatz und Versuch, erreichbare Habitate für den gesamten Lebenszyklus vom Laichplatz, Jungfischhabitat bis zur adulten Phase, in der notwendigen Quantität und Qualität im Raum anzubieten [12].

Es ist und war folglich wesentlich, akzeptierte Grundlagen für Populationsbetrachtungen zu schaffen um Restrukturierungsmaßnahmen an Großen Gewässern, an angeschlossenen Seitengewässern, Umgebungsgewässern aber auch Maßnahmen in den neuen oder vorhandenen Auengewässern beurteilen zu können, die eine positive Wirkung auf Populationen im Flussgebiet erwarten lassen. Dies kann klar nur Grundlagenforschung leisten, um diese Wissenslücken zu schließen.

Die zentrale Ausgangsthesen der Wasserkraftbetreiber sind daher:

- Es ist zu untersuchen, ob es aus Sicht des Populationsschutzes und -erhalts für potamodrome Arten überhaupt Handlungsbedarf hinsichtlich ergänzender technischer Fischschutz- und -abstiegseinrichtungen gibt.
- Die abwärts gerichtete Durchgängigkeit und mögliche Schädigungsraten haben für die Populationen diadromer und potamodromer Arten an einem Standort eine unterschiedliche Bedeutung.
- Habitatverbessernde Maßnahmen haben einen wesentlich größeren Einfluss auf die Populationen und ggf. das Wanderverhalten als technische Maßnahmen an der Anlage. Technische Maßnahmen an der Anlage haben nur eine geringe Wirkung auf Populationen und dem WRRL-Ziel eines guten ökologischen Potenzials im anthropogen überformten Raum.
- Potenzielle Schädigungsraten an der Anlage können unbedeutend für den Populationserhalt sein, wenn andere Wanderkorridore genutzt werden, sich Wanderdistanzen durch Habitatnutzung reduzieren lassen und Habitatmaßnahmen ergriffen werden, um Populationen direkt zu erhalten.
- Wirksame ökologische Maßnahmen zum Aufbau und Erhalt von Fischpopulationen sind als gleichwertig zu technischen Fischschutzmaßnahmen zu betrachten. Maßnahmen, die auf Populationsniveau im Trittsteinkonzept tatsächlich wirken, sollen prioritär umgesetzt werden und können potenzielle Schädigungen an der Anlage kompensieren.

Wanderungen potamodromer Arten erfolgen, um Laich-, Nahrungs-, Refugial- und Überwinterungshabitate aufzusu-

chen. Dies bietet die Möglichkeit, mittels ökologischer Maßnahmen einen hohen Schutz der Fischpopulation zu gewährleisten. Dies wird dadurch erreicht, dass man alle für die Absolvierung des Lebenszyklus notwendigen Habitate innerhalb eines Stauraums oder über kürzere Wanderdistanzen zur Verfügung stellt.

Nach derzeitigem Wissen sind für potamodrome Arten an großen und mittleren Anlagen ergänzende technische und betriebliche Maßnahmen zum Erhalt von Fischpopulationen am Bauwerk nicht notwendig mit folgenden Thesen:

- Biologie der Arten (spezifische Größe der Mehrzahl der wandernden Fische, hohe Fortpflanzungsraten (R-Strategen)): die Wanderdistanzen einer Mehrzahl der Individuen geht nicht über mehrere Staustufen.
- Die Schädigungsraten großer (Kaplan-) Turbinen sind einordenbar und können im ersten Ansatz als fischverträglich bezeichnet werden. Alternative Wanderkorridore werden genutzt, so dass sich der Kontakt mit Turbinen reduziert.

3 Bewertung von habitatverbessernden Maßnahmen

3.1 Einordnung

Bei Wasserkraftanlagen an großen Gewässern ist es schwierig z. B. einzelne Monitoringergebnisse im Hinblick auf die vorhandenen Populationen, Wanderverhalten und Populationsgröße im Raum einzuordnen. Nur langfristige, systematische Untersuchungen lassen Schlüsse zu und die Methodevaluierung sowie Modellierung sind wesentliche Bausteine der Auseinandersetzung mit diesen Themenkomplexen. Es ist im Zusammenschluss des bayerischen Umweltministeriums, lokalen Behörden und Universitäten sowie den Wasserkraftbetreibern am oberbayerischen Inn gelungen, Abstand von einzelnen Monitoring-Auflagen zu nehmen und stattdessen in langfristige Grundlagenforschung mit Fragen der Wirksamkeit von Habitatmaßnahmen, dem Wanderverhalten und Populationsbetrachtungen zu investieren. Dies in einem großen Flussgebiet, in dem die Durchgängigkeit entlang weiter Strecken hergestellt und ein weites Maßnahmenportfolio umgesetzt wurde. Alle in den Workshop-Vorträgen [2] vorgestellten Restrukturierungen, aber auch die Umgebungsgewässer selbst haben eine positive Wirkung auf potamodrome Arten. Des Weiteren ging es auch darum, in einem Ökosystemansatz des komplexen Flusssystem die breiteren populationsbiologischen Zusammenhänge im Lebensraum Fluss mit den davon abhängigen Lebensgemeinschaften einzuordnen.

Als Fazit der umgesetzten Habitatmaßnahmen mit Umgebungsgewässern kann folgendes für potamodrome Arten sowohl im Hinblick auf Details als auch hinsichtlich der Populationsmodellierung festgehalten werden:

- Renaturierte Habitate leisten einen wertvollen Beitrag zur fischfaunistischen Gesamtbiodiversität.
- Die Reproduktion der kieslaichenden Zielarten findet im Hauptstrom, Zubringern und Umgebungsgewässern statt (wenn die Substratqualität vorhanden ist).
- Umgebungsgewässer können wichtige Lebensraumfunktionen erfüllen.

- Alle Restrukturierungsmaßnahmen brauchen regelmäßiges Management, um ihre Funktionalität zu erhalten.
- Autoökologisches Verständnis der Zielarten und umfangreiches Systemverständnis bilden die Grundlage für populationsdynamische Betrachtungen.

3.2 Restrukturierungen im Hauptstrom und in Nebengewässern

Bei der Einordnung einer positiven Wirkung ist es wesentlich, wie einzelne Arten Habitate nutzen und welche Habitate wesentlich sind, um den gesamten Lebenszyklus abdecken zu können. Im Einzelnen wurde u. a. der Lebenszyklus der Nase im Detail betrachtet, da vom Laichen über die Juvenilen bis zu den Adulten unterschiedliche Anforderungen an den Lebensraum gestellt werden und diese jahreszeitlich auch gewechselt werden. Dabei haben die Zubringer eine zentrale Bedeutung für die Innfische, da dieser stark sedimentführend und sommerkalt ist und der Inn manche Habitatansprüche folglich nicht abbilden kann. Die Mündungsbereiche spielen dabei speziell mit der Integration von Jungfischhabitaten bei Restrukturierungen eine besondere Rolle. Restaurierte Laichplätze im Hauptstrom, in Neben- und Umgebungsgewässern funktionieren als Laichhabitat für Äsche, Nase und wahrscheinlich auch für weitere Arten, wie Huchen, Barbe, Brachse etc. Dabei ist ein jährlicher Unterhalt wichtig, der örtlich sehr unterschiedlich sein kann. Dieser kann von Dotation von Kies bis zu Umlagerung reichen. Renaturierte Uferbereiche werden insbesondere von Juvenilstadien der Zielarten Äsche, Nase, Barbe angenommen. Die Habitatqualität ist durch die vorhandenen Wasserstandsschwankungen am Inn bestimmt.

3.3 Anschluss und Neubegründung von Auengewässern

Ein Schwerpunkt bei der Umsetzung von Maßnahmen am sommerkalten Inn waren entlanden, neu anlegen und auch wiederanschießen von Altwässern am Inn. Die Einordnung der Habitatnutzung der einzelnen Arten war schwierig, da mit Stichproben im Jahresverlauf nur beschränkt die Nutzung durch die Innfische erfasst werden konnten. Mit der nun vorhandenen Infrastruktur (PIT-Tag) können diese im Jahresverlauf aber auch art- und größenspezifisch in Zukunft eingeordnet werden. Auch in den Umgebungsgewässern wurden Stillgewässer angelegt und bewertet. Generell wurde klar herausgearbeitet, dass Altwässer eine Bedeutung für die fischfaunistische Gesamtbiodiversität haben, aber auch Altwässer benötigen ein regelmäßiges adaptives Management, z. B. Entlandung der Mündungen aber auch der Tiefenbereiche.

3.4 Umgebungsgewässer mit Habitatausstattung als wesentliche Bausteine im Gesamtkonzept zum Erhalt von Populationen

Wie in den Vorträgen und den zugehörigen Berichten dokumentiert [2], werden Umgebungsgewässer mit Habitatfunktion von verschiedenen Arten unterschiedlich genutzt. Beobachtet werden Laichaktivitäten, sie dienen als klassischen, Wanderkorridor aber auch als Juvenil- und Nahrungshabitat und dies im jahreszeitlichen Wechsel. An Inn und Donau wurde eine Vielzahl verschiedener Durchgängigkeitskonzepte umgesetzt, so dass eine Einord-



© Verband Wiedl

Bild 2: Umgebungsgewässer Braunau/Simbach mit vielfältigen Gewässerstrukturen mit Still- und Flachwasseraspekten sowie Auenneubegründung

nung erfolgen kann. Im langjährigen Planungsprozess zur Durchgängigkeit der Fließgewässer wurde sowohl von den beauftragten Fachplanern (Holzner et al. [1], [2]; Mühlbauer et al. [8]; Zauner et al. [9], [10]; und Petz-Glechner (unveröffentlicht)) als auch den Behördenvertretern der Vorteil von Umgebungsgewässern mit Fließgewässereigenschaften und zusätzlichen Lebensraumfunktionen für Inn und Donau erkannt.

In einem nunmehr seit Jahren laufenden Forschungsprojektes der TU München (Nagel et al. [10]) zur Bewertung der Komponenten von Ersatzlebensräumen konnten folgende Erkenntnisse herausgearbeitet werden: Es können für rheophile Fischarten funktionierende Kieslaichplätze und Laichplätze für Krautlaicher in den angebotenen Still- und Umgebungsgewässern hergestellt werden. Diese werden ergänzt durch Strömungs-, Substrat- und Totholzbereiche, dienen somit als Juvenil- und Nahrungshabitat und fördern auch Fische aus der Drift. Es entsteht ein Ersatzlebensraum für alle Größenklassen sowie ein Wander- und Besiedelungskorridor, der sich im Flussschlauch selten oder nur schwer bis gar nicht realisieren ließe (**Bild 2**).

Die Umgebungsgewässer weisen aufgrund der Randbedingungen der Geometrie, Grundstücksverfügbarkeit und Beeinflussung durch z. B. Belange Dritter unterschiedliche Größen, Dotation und Strukturvielfalt auf. Jedoch können selbst kleine Umgebungsgewässer wesentliche Lebensraumaspekte für gefährdete Fischarten aufweisen. Das Einschwimmen kann sowohl von ober- als auch von unterstrom stattfinden und ebenso das Ausschwimmen zurück in den Fluss.

Die bisher vorhandenen Daten der PIT-Tag-Markierungen an der Donau bieten einen ersten Hinweis und Einzelindividuen auch am Inn zeigen ähnliches Verhalten. An der Mur wurden hierzu Telemetrieuntersuchungen durchgeführt. Erst eine weitere jahre-

lange Auswertung kann weitere Rückschlüsse bieten und hinsichtlich Habitatmaßnahmen und Wanderdistanzen eine Einordnung erlauben. Ob sich die Thesen (Reduktion der Wanderdistanz durch Habitatmaßnahmen) bestätigen, soll die langjährige Forschung zeigen. Im Hinblick auf die Wirkung auf die lokale Population lassen sich klar positive Wirkungen herausarbeiten (u. a. Farò et al. [11] und [2]). Offensichtlich ist jedoch, dass das Laichen einzelner potamodromer, rheophiler Arten im Umgebungsgewässer aber auch von gefährdeten limnischen Arten in den angebundnen Stillgewässern mit Auen stattfindet und sich die Notwendigkeit des Aufsuchens oberstromiger Laichgebiete für diese Individuen und Arten erübrigt. Auch hier ist klar, dass einzelne Individuen mehrere Staustufen noch ober- und nach unterstrom überwinden und detektiert werden.

4 Populationsbetrachtungen und Modellierung

Ziel der beauftragten Einzelforschungsprojekte war und ist es, die methodischen und konzeptionellen Grundlagen bei der wissenschaftlich fundierten Einordnung der Populationsbetrachtungen auf Artniveau herunterbrechen zu können. Dabei ist es wesentlich, die Populationsparameter einzelner Arten langfristig zu erfassen und die Kenngrößen, wie Populationsdichte, Reproduktions- und Sterberaten (natürlich, anthropogen und Wasserkraft), Altersstruktur, Migration sowie genetische Diversität, zu erarbeiten und schließlich zu modellieren, um gezielt Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation ergreifen und bewerten zu können. Ziel ist es, die Grundlagen für ein anerkanntes Populationsmodell (Bewertungsmodell) für potamodrome Arten im Raum, mit der Einordnung des Wasserkraft-bedingten Anteiles der potenziellen Schädigung langfristig zu schaffen. Es handelt sich dabei um das konkrete WRRL-Ziel mit der Zielerreichung in HWMB mit der besten Umweltoption im Raum. Die Vorträge [2] stellen daher jeweils im Einzelnen sowohl bei der Einordnung Wasserkraft bedingter Schädigung, dem Migrationsverhalten mit genutztem Wanderkorridor an der Anlage selbst, den Habitatmaßnahmen und auch der Populationsbetrachtung an einem Umgebungsgewässer (Farò et al. [11], [2]) dar, die in der Zukunft zusammengeführt und kombiniert werden sollten. Hierzu ist weitere Forschung notwendig, um ein Gesamtbild zu erhalten.

5 Übertragbarkeit und Forschungsbedarf

5.1 Zielrichtung

Aus den Themen der bisher stattfindenden Arbeitsgruppen zu Fischschutz, Fischwanderung und Fischabstieg und in der Einordnung im systemischen Ansatz mit einzugsgebietsbezogenen Konzepten mit Habitatmaßnahmen im prozessorientierten Ansatz wurden Forschungsthemen identifiziert, die Aufschluss v. a. zu den wenig erforschten potamodromen Fischarten liefern sollten. Diese Abgrenzung erfolgt, um zielgerichtet wirksame Maßnahmenkonzepte zur Reproduktion, zu den Lebensraumansprüchen, aber auch dem Wanderverhalten stromauf und stromab entwickeln zu können. In den betrachteten Flussabschnitten, die alle als HWMB eingestuft sind, wurden gezielt Maß-

nahmen entwickelt, fischökologisch bewertet und ein adaptives Management (Naturraum und Umgebungsgewässer) vorgeschlagen, um wie z. B. beim Sedimentmanagement den Laichplatz mit entsprechender Qualität und Quantität regelmäßig herzustellen, da sich die notwendigen Prozesse im stark Feinsediment-dominierenden Fluss nicht langfristig natürlich erhalten lassen.

5.2 Übertragbarkeit auf andere Anlagen

Die Nachweise sind erbracht, dass ökologische Maßnahmen positiv auf Fischpopulationen wirken und dass die Schädigungsraten beim Turbinendurchgang lokal eingeordnet werden können. Daraus lässt sich schließen, dass die abwärtsgerichtete Wanderung in einer Gesamtbetrachtung im Hinblick auf die Population unbedeutend sein kann, wenn die potenziellen Schädigungsraten kompensiert werden können [12].

Ergänzend zu den Einordnungen zu den Wanderwegen [12] sind im Hinblick auf wirksame Maßnahmen zum Erhalt der Populationen sind aus Sicht der Wasserkraftbranche folgende Aussagen möglich:

- Es zeigen sich Richtungen und Tendenzen für eine generelle Übertragbarkeit für vergleichbare Anlagen und Flusssysteme.
- Es ist sinnvoll, Habitatmaßnahmen umzusetzen, die eine Wirkung auf Populationsniveau erwarten lassen. Eine Bewertung ist bisher nur für ein Umgebungsgewässer und den anschließenden unterstromigen Flussschlauch unter Ausschluss eines möglichen Kontaktes mit der Turbine durchgeführt worden. Indirekt kann die Hypothese, dass sich die Wanderdistanz bei einem Teil der Population reduziert, bestätigt werden, da eindeutig kein Kontakt mit der Turbine stattfindet und ein Anstieg der Biomasse im Raum zu erwarten ist.
- Die These, dass Fluss- und Auenrestrukturierung und prozessorientierte Konzepte die Wanderdistanzen insgesamt reduzieren, werden erst die Forschungsansätze und Markierungen mit Auswertung der Daten in der Zukunft zeigen.
- In einem ganzheitlichen, flussgebietsbezogenen Ansatz sollte eine Förderung des Gesamtsystems Fluss, Aue, Seiten- und Umgebungsgewässer im prozessorientierten Ansatz umgesetzt werden, um die WRRL-Zielerreichung mit den Ökosystemdienstleistungen des Flusssystem zu fördern. Es geht auch darum, aufgrund des integrativen Ansatzes den gesamten Lebensraum (aquatisch, semiaquatisch, terrestrisch sowie Auenaspekte) zu erhalten und zu fördern.

5.3 Weiterer Forschungsbedarf

Aus Sicht der Wasserkraftbetreiber und auch in den Workshop-Arbeitsgruppen herausgearbeitet gibt es noch weiteren Forschungsbedarf.

Im Folgenden werden identifizierte Forschungsfragen im Hinblick auf wirksame Maßnahmen zum Erhalt der Populationen aus Sicht der Wasserkraftbetreiber formuliert:

- Reduzieren und beeinflussen populationsfördernde Maßnahmen im Raum mit der Einordnung der Wanderdistanzen eine Reduzierung des möglichen Kontakts mit den Turbinen und damit die anlagenspezifischen Mortalitäten?
- Es gibt noch artspezifische Wissensdefizite bzgl. notwendiger Schlüsselhabitate für ein erfolgreiches Trittsteinkonzept zum lokalen Erhalt der Arten.

- Es bedarf der Erarbeitung weiterer Grundlagen für ein anerkanntes Populationsmodell für potamodrome Arten mit der Einordnung des Wasserkraft-bedingten Anteiles der potenziellen Schädigung.
- Ist eine Unterscheidung und Einordnung zwischen beckenartigen und naturnahen FAA hinsichtlich Auf- und Abstieg mit ihrer Wirkung auf das Wanderverhalten und Populationen notwendig?
- Im Folgenden werden die Forschungsfragen ergänzt, die im Workshop formuliert wurden:
- Wie ist die Übertragbarkeit von Untersuchungsergebnissen und der Methodik für verschiedene Gewässersysteme einzuordnen?
- Gibt es eine genetische Motivation zur Wanderung versus die These, dass die Schaffung kleinräumiger Schlüsselhabitate das Wanderverhalten reduziert?

6 Fazit

Im Spannungsfeld zwischen regenerativer Energieversorgung einerseits und nachhaltigem Gewässerschutz andererseits, bemühen sich die Wasserkraftbetreiber ganzheitliche, flussgebietsbezogene Konzepte umzusetzen. Gewässerstrukturmaßnahmen und Ersatzhabitate v. a. in Umgebungsgewässern können eine hohe Wirkung für die Population oder zumindest einen Ersatzlebensraum für alle Lebensraumkomponenten für gefährdete Fischarten bieten und tragen zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele bei. Schlüsselhabitate müssen verfügbar und erreichbar sein. Umgebungsgewässer, die Habitatfunktionen aufweisen, welche im Fluss nur schwer wieder herstellbar sind, können in der einzugsgebietsbezogenen Betrachtung wichtiger sein als technische Konzepte an der Anlage selbst. Der integrative, systemische Ansatz der WRRL ist mit der Priorisierung der effizientesten Maßnahme im lokalen Einzugsgebiet folglich

Georg Loy

Measures to protect fish populations - interpretation of the study results from the 2025 workshop from the perspective of a hydropower operator

In respect to protect and foster fish populations in the Danube catchment a workshop "ecology and hydropower" was held in 2025. The large hydropower operators within the Danube catchment chose a population approach to protect fish populations and verify these approaches through scientific assessments and targeted protective measures. They aimed to fill knowledge gaps on fish species and offer long-term solutions. In the population-based strategies, efforts are being made to conserve and manage endangered species in the region, necessitating in filling of knowledge gaps on local fish species and provide long-term solutions in the heavily modified river basins to meet the requirements of the water framework directive goals. Multiple measures are being implemented and are verified and supported by a scientific assessment and modelling in aiming to determine population size, reproductive rates, genetic diversity, migration behavior and hydropower impact, applying scientific methods to implement and enforce beneficial protective actions within the population approach. Almost all discussed projects are in heavily modified water bodies (HMWB).

anzustreben. Hierzu sind einzugsgebietsbezogene Strategien zu erarbeiten mit der Betrachtung der Zielarten, des lokalen Habitatstatus (Schlüsselhabitate), dem lokalen Rekrutierungsstatus, der lokalen und gebietsübergreifenden Habitatverfügbarkeit (Vernetzung, Durchgängigkeit) sowie mit der Bewertung in Populationsmodellen, um Summationseffekte der Beeinflussung auf die Fischpopulationen herausarbeiten zu können. Eine Bewertung der Schädigung und Durchgängigkeit an Anlagen auf Populationsebene ist erforderlich und möglich.

Die Ableitung von Schutzziele sollte unter Berücksichtigung der Machbarkeit aber auch der Wirksamkeit für die Populationen formuliert werden.

Autor

Dipl.-Ing. Georg Loy
Verbund Innkraftwerke GmbH
Werkstrasse 1
84513 Töging am Inn
georg.loy@verbund.com

Literatur

- [1] Ecologic Institute (Hrsg.): Forum „Fischschutz und Fischabstieg“ - Synthesepapier. 2014 (https://forum-fischschutz.de/sites/default/files//Synthesepapier_5.Workshop.pdf, Abruf 01.07.2025).
- [2] Ökologie & Wasserkraft: Ökologie und Wasserkraft an großen Gewässern im Donau-Einzugsgebiet. 2019
- [3] VGBE (Hrsg.): Synthesepapier zum Forum Fischschutz 2017. (www.vgbe.energy/?r3d=synthesepapier-zum-forum-fischschutz-und-fischabstieg; Abruf 01.07.2025).
- [4] Reckendorfer, W.; Loy, G.; Ulrich, J. et al.: Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulation - die Sicht der Betreiber großer Wasserkraftanlagen. In: WasserWirtschaft 107 (2017), Heft 2-3.
- [5] Holzner, M.; Loy, G.; Schober, H. M.; Schindlmayr, R.; Stein, C.: Vorgehensweise zur Entwicklung von populationsunterstützenden Maßnahmen für die Fischarten am Inn in Oberbayern. In: WasserWirtschaft 104 (2014), Heft 7/8, S. 18-25.
- [6] Loy G.; Holzner, M.; Schober, H. M.; Schindlmayr, R.; Stein, C.: Maßnahmen zur Förderung von Populationen bedrohter Fischarten am Inn (Oberbayern) im Rahmen des Gewässerunterhaltes. In: WasserWirtschaft 104 (2014), Heft 7/8, S. 26-33.
- [7] Mühlbauer, M.; Lauber, W.; Derntl, F. et al.: Dynamische Dotation und Sedimentmanagement zur Gewährleistung funktioneller Fließgewässerhabitate in Fischwanderhilfen. In: Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft (2022), Heft 10.
- [8] Zauner G.; Jung M.; Ratschan C.; Mühlbauer M.: Ökologische Sanierung von Fließstrecken und Stauhaltungen der österreichischen Donau - auf dem Weg zur Zielerreichung nach Wasserrahmenrichtlinie. In: Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft (2016)
- [9] Zauner, G.; Lauber, W.; Jung, M. et al.: Wie erreicht man das „gute ökologische Potential“? Fallbeispiel Innstauraum Eggfling-Oberberg. In: Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft (2020).
- [10] Nagel, C.; Pander, R.; Geist, J.: Bewertung der Wirksamkeit von habitatverbessernden Maßnahmen zum Schutz der Fischpopulationen im Inn. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 50-53.
- [11] Farò, D.; Wolter, C.: Fisch-Populationsmodelle zur Abschätzung der Wirkung von Renaturierungsmaßnahmen am Unteren Inn. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 54-59.
- [12] Loy, G.: Wanderwege und Abstieg - Interpretation der Untersuchungsergebnisse aus dem Workshop 2025 aus Sicht eines Wasserkraftbetreibers. In: WasserWirtschaft 115 (2025), Heft 9, S. 60-65.

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2561-7>

Lösungsansätze zur Reduzierung von Verockerung in Deckwerksfiltern

Verockerungsprozesse oder biogeochemische Prozesse, die zur Bildung von eisen- und manganhaltigen Ablagerungen in geotextilen Filtern in technischen Deckwerken führen können, verursachten lokale Schäden an den Deckschichten der Ästuar von Ems und Weser. Die RWTH Aachen und die FH Münster haben experimentelle und In-Situ-Untersuchungen durchgeführt, um relevante Parameter und Grenzwerte für die Verockerung zu definieren. Das neu gewonnene Prozessverständnis ist entscheidend für die Dimensionierung der Filter und deren langfristige Funktionalität.

Lukas Tophoff

In den letzten Jahrzehnten sind vereinzelt schwere Schäden an geotextilen Filtern in Deckwerken tidebeeinflusster Wasserstraßen durch eisen- und manganhaltige Verockerungsprodukte aufgetreten (**Bild 1**). Diese lagerten sich in der Filterstruktur an, was zu einer erheblichen Verringerung des Porenraums und der Durchlässigkeit führte. Die Ergebnisse der an der RWTH Aachen und der FH Münster durchgeführten Studien verdeutlichen die Notwendigkeit, physikochemische und biologische Prozesse bei der Planung geotextiler und mineralischer Filter zu berücksichtigen, um deren langfristige Funktionsfähigkeit und Langlebigkeit zu gewährleisten.

Die experimentellen Untersuchungen [1] zeigen, dass der Verockerungsprozess eine Verstopfung des Filters bewirkt, bei der Eisen- und Manganoxide an der Filterstruktur immobil anhaften und den Porenraum und damit die Durchlässigkeit verringern. Ergänzende In-situ-Untersuchungen wurden durchgeführt, um den Verockerungsprozess unter realen Bedingungen und die Milieubedingungen der Filter genauer zu analysieren [2]. Zusammenfassend handelt es sich bei der Verockerung geotextiler und

mineralischer Filter um einen biogeochemischen Prozess, der wesentlich von der Redoxkapazität (rH-Wert), der Sauerstoffverfügbarkeit sowie dem Eisen- und Manganengehalt des Grundwassers unmittelbar hinter dem Deckwerk beeinflusst wird.

Die Verockerung umfasst eine Kombination von chemischer Ausfällung von Eisen und Mangan, biologischer Ausfällung durch Mikroorganismen und mechanischer Kolmation. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung wird eine Kolmation des geotextilen Filters durch Verockerung begünstigt, da feine Bodenpartikel, die im ursprünglichen Zustand durchgängig waren, zusätzlich zu den Verockerungsprodukten die Filterstruktur kolmatieren können. Die Anhaftung von Verockerungsprodukten an mineralische Filter ist nach aktuellem Forschungsstand weniger problematisch.

Das Verständnis dieser Prozesse ist entscheidend für die Auslegung der Filter und deren langfristige Funktionssicherheit. Zur Bewertung der Verockerungsneigung und zur angepassten Dimensionierung bei Verockerungsgefährdung wurde ein praxistaugliches Ablaufdiagramm entwickelt (**Bild 1**).



Bild 1: Vorschlag für ein Verfahren zur Bewertung der Verockerungsneigung und Filterdimensionierung



Bild 2: Stark verockerter mineralischer Filter, das Deckwerk wurde zur Probenahme entfernt und war vorher nicht beschädigt

Angepasste Geotextilien zur Reduzierung der Verockerung

Die Datenanalyse hat gezeigt, dass die Lebensdauer eines geotextilen Filters durch Verockerung erheblich verkürzt werden kann [2]. Die Veränderungen der Durchlässigkeit im Falle der Verockerung geotextiler Filter verlaufen nicht linear. Zu Beginn kann eine beschleunigte Abnahme der Durchlässigkeit beobachtet werden, die sich im Laufe der Zeit asymptotisch einer minimalen Durchlässigkeit annähert. Aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sollte eine Lebensdauer von mindestens 50 Jahren angestrebt werden. Der Einsatz angepasster geotextiler Filter könnte dazu beitragen (**Bild 1**). Die bisherigen Studien zur Verockerungsneigung geotextiler Filter zeigen, dass Geotextilien mit großer charakteristischer Öffnungsweite und hoher Durchlässigkeit bei gleichzeitig geringer innerer Oberfläche einen niedrigeren Durchlässigkeitsverlust infolge Verockerung aufweisen. Die Engstellenzahl sollte unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten Regeln der Technik so gering wie möglich gehalten werden.

Geotextilhersteller könnten während des Produktionsprozesses durch die Optimierung der permanenten Avivage und der Materialeigenschaften der Polymere die Filterleistung bei Verockerungsneigung verbessern. In experimentellen Untersuchungen zeigten Geotextilien aus Materialmischungen mit hydrophilem Verhalten (z. B. PET/PP oder PES/PP) eine geringere Abnahme der Durchlässigkeit als Textilien aus reinem Polypropylen (PP). Eine Zusatzschicht auf der Oberseite des Geotextils, die die Sauerstoffverfügbarkeit im Filter reduziert, könnte die Verockerung verlangsamen oder in andere Bereiche verlagern. Allerdings wurden bislang noch keine angepassten geotextilen Filter entwickelt und unter Labor- oder Praxisbedingungen getestet, weshalb hier noch eine gewisse Unsicherheit besteht. Weitere experimentelle und In-situ-Untersuchungen werden diesbezüglich ausdrücklich empfohlen.

Kornfilter als langlebige Lösung

Die Anhaftung von Verockerungsprodukten an die Filterstruktur mineralischer Filter wird nach aktuellem Forschungsstand weniger problematisch bewertet als bei geotextilen Filtern. In mineralischen Filtern können sich die Fließwege anpassen, da es zu lokalen Umlagerungen innerhalb der Filterstruktur kommen kann. Dies macht ein permanentes Verstopfen der Filterstruktur sehr unwahrscheinlich. Mineralische Filter verfügen über eine bis zu 12-fach größere spezifische Oberfläche (m^2 Oberfläche zu m^2 Filterfläche) als geotextile Filter. Dadurch bieten sie eine weitaus größere Adsorptionsfläche, d. h. die Kontaktzone in einem mineralischen Filter ist weitaus größer, sodass mehr Verockerungsprodukte potenziell ausfallen können.

Entsprechend wurden im Rahmen der experimentellen Untersuchungen deutlich höhere Mengen an Verockerungsprodukten in mineralischen Filtern nachgewiesen als in geotextilen Filtern. Dennoch führte die Verockerung weder in den experimentellen Untersuchungen [1] noch in den Deckwerken aus den Untersuchungsgebieten [2] zu dauerhaften Einschränkungen der Filterleistung (**Bild 2**). Zudem wurden national und international bislang keine Schäden an Deckwerken infolge verockerter mineralischer Filter dokumentiert. Die Anpassungsfähigkeit der Fließwege in mineralischen Filtern stellt gegenüber geotextilen Filtern einen großen Vorteil dar. Geotextilien, die aufgrund ihrer materialtechnologischen bedingten hohen Zugfestigkeit nicht lokal aufbrechen können, bieten hier nur eingeschränkte Möglichkeiten der Anpassung von Fließwegen. Bei erhöhtem Verockerungsrisiko ist die Fähigkeit mineralischer Filter, Fließwege anzupassen, als starker Vorteil gegenüber geotextilen Filtern zu bewerten. Allerdings sind mineralische Filter im Vergleich zu geotextilen Filtern häufig mit deutlich höheren Herstellungskosten verbunden.

Dank

Die Forschungstätigkeit wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau finanziell unterstützt.

Autor

Dr.-Ing. Lukas Tophoff
FH Münster
Hüfferstraße 27
48149 Münster
lukas.tophoff@fh-muenster.de

Literatur

- [1] Tophoff, L.; Finklenburg, B.; Schriewer, E.-L.; Schüttrumpf, H.; Heimbecher, F.: Assessment of the functionality of geotextile and granular filter systems in hydraulic engineering in case of iron ochre clogging tendency. In: *Geotextiles and Geomembranes* 52 (2024), No. 4, pp. 465-478 (doi.org/10.1016/j.geotexmem.2024.01.002).
- [2] Tophoff, L.; Schüttrumpf, H.; Heimbecher, F.; Vollmer, C.; Philipp, B.; Abdullaeva, Y.: Field Investigations and Service Life Assessment of Geosynthetic Filters in Tidally Influenced Revetments in Cases of Ochre Clogging. In: *Water* 16 (2024), No. 13, P. 1 840 (doi.org/10.3390/w16131840).

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2557-3>

Wasserkraft neu denken - 11. Bayerisches WasserkraftForum setzt starkes Signal für die Energiezukunft

Am 6. Mai 2025 versammelten sich rund 100 Fachleute, Behördenvertreter, Betreiber und Kommunalverantwortliche in Töging am Inn zum 11. Bayerischen WasserkraftForum. Im Mittelpunkt stand die Rolle der Wasserkraft als tragende Säule der Energiewende - technisch leistungsfähig, ökologisch integrierbar und regional verankert. Veranstaltet wurde das Forum von der Bayerischen Gemeindezeitung (GZ) in Kooperation mit der Verbund Innkraftwerke GmbH, dem Betreiber des direkt benachbarten Wasserkraftwerks Töging.

Constanze von Hassel

Die Eröffnung durch Chefredakteurin Constanze von Hassel, Landrat Erwin Schneider, Bürgermeister Dr. Tobias Windhorst und Verbund-Geschäftsführer Dr. Karl-Heinz Gruber spannte den Bogen von der historischen Bedeutung der Wasserkraft bis zur heutigen Innovationskraft. Dass Wasserkraft weit mehr ist als CO₂-freie Stromproduktion, wurde in den Fachvorträgen deutlich: Sie bietet Versorgungssicherheit, Speicherfähigkeit, Netzstabilität und leistet Beiträge zu Hochwasserschutz, Biodiversität und regionaler Wertschöpfung.

Ministerialdirigentin Monika Rauh stellte die aktuelle Strategie des Bayerischen Wirtschaftsministeriums vor: Neben dem weiteren Ausbau der Wasserkraft - insbesondere auch der Pumpspeicherung - sollen die thermische Gewässernutzung und innovative Wärmeprojekte stärker gefördert werden. Gleichzeitig sollen neue Akzeptanzformate und digitale Werkzeuge wie der Energie-Atlas Bayern Kommunen unterstützen. Der VBEW hingegen mahnte, dass politische Bekenntnisse allein nicht ausreichen: Hauptgeschäftsführer Marian Rappl kritisierte unklare Vergütungsperspektiven und hemmende Genehmigungsverfahren. Besonders bei kleinen Anlagen fehle es an Planungssicherheit und fairer regulatorischer Behandlung.

Zahlreiche Praxisbeispiele zeigten, wie sich Wasserkraft weiterdenken lässt: LEW und Verbund berichteten über Batteriespeicherlösungen zur Flexibilitätsvermarktung und Effizienzsteigerung sowie Pumpspeicherkraftwerke. Die Stadtwerke München demonstrierten anhand der Wehranlage Großhesselohe, wie sich Denkmalschutz, Ökologie und Versorgungssicherheit im urbanen Raum mit ingenieurtechnischem Feingefühl vereinen lassen. Uniper präsentierte fischökologische Innovationen, darunter Sensorfische und Sauerstoffanreicherung in der Donau. Die Kombination von Wasserkraft und Wärmepumpen, vorgestellt von Otto Mitterfelner, wurde als wirtschaftlich wie ökologisch tragfähige Lösung für die kommunale Wärmeversorgung vorgestellt.

Ein besonderes Augenmerk galt der ökologischen Einbindung: Zahlreiche Beiträge warben für differenzierte, praxisnahe Lösungen statt pauschaler Konflikterzählungen. Naturfotograf

Andreas Hartl zeigte am Beispiel des Flusses Dorfen eindrucksvoll, wie sich Energiegewinnung und Artenvielfalt vereinbaren lassen.

Fritz Schweiger von der Vereinigung Wasserkraftwerke in Bayern e. V. brachte die Sorgen vieler Betreiber auf den Punkt. Genehmigungsverfahren dauerten teils über fünf Jahre, die Rechtslage sei unübersichtlich, Verwaltungshandeln oft geprägt von Klagerisiken statt Gestaltungswillen. Schweiger plädierte für eine kooperative Verwaltungskultur.

Mit Georg Loy und Herfried Harreiter, Verbund Innkraftwerke GmbH, verabschiedete das Forum zwei prägende Persönlichkeiten der Branche mit großer Anerkennung in den baldigen Ruhestand. Beide warben in ihren Redebeiträgen für eine konstruktive Haltung im Umgang mit Genehmigungen, Technik und Naturschutz bei gleichzeitig weniger Formalismus und mehr Mut zum Handeln.

Das 11. Bayerische WasserkraftForum machte deutlich: Die Wasserkraft ist bereit für die Zukunft - technisch, ökologisch und wirtschaftlich. Was fehlt, sind passende regulatorische Rahmenbedingungen, beschleunigte Verfahren und ein Verständnis von Naturschutz, das Innovation nicht verhindert, sondern begleitet. Ein starker Appell an Politik, Verwaltung und Gesellschaft, die Wasserkraft als das zu begreifen, was sie ist: Rückgrat einer sicheren, dezentralen und klimafreundlichen Energieversorgung.



Weitere Informationen:

<https://www.bayerisches-wasserkraftforum.de>

Autorin

Constanze von Hassel

Bayerische Gemeindezeitung

hassel.constanze@gemeindezeitung.de

DOI dieses Beitrags: <http://doi.org/10.1007/s35147-025-2559-1>

Kraftwerke Oberhasli AG | 100-jähriges Jubiläum

Die Kraftwerke Oberhasli AG ist am 20. Juni 1925 in Bern gegründet worden. Federführend im Planungsprozess war die damalige Bernische Kraftwerke AG BKW (heute BKW Energie AG). Die BKW hatte bereits 1906 eine Konzession erhalten zur Ausnutzung der Wasserkräfte im Oberhasli, sie hätte die Aufgabe gerne im Alleingang bewältigt.

Die damaligen politischen Verhältnisse ließen dies jedoch nicht zu und so trat die eigenständige Aktiengesellschaft KWO auf die Bühne. Die Idee war, weitere Partner für das Vorhaben zu gewinnen. Dies gelang jedoch erst nach einiger Zeit: 1928 kam die Stadt Basel als Aktionärin dazu, 1930 die Stadt Bern und 1938 die Stadt Zürich. Seither ist die KWO ein Partnerwerk, mit bis heute gleichbleibenden Besitzverhältnissen: Die KWO gehört zur Hälfte der BKW, die andere Hälfte teilen sich die drei Städte Basel, Bern und Zürich.

Der Ausbau des Kraftwerksystems mit den heute acht Seen und 13 Kraftwerken erfolgte in mehreren Etappen: Handeck 1 (1925-1932), Innertkirchen 1 (1940-1942), Handeck 2 (1947-1950), Oberaar/Grimsel 1 (1950-1954), Gadmer Seite (Fuhren, Hopflauenen, Innertkirchen 2 1958-1968), Handeck 3 (1972-1976), Grimsel 2 (1973-1980), Handeck 2a und Innertkirchen 1a (2012-2016), Innertkirchen 3 (2015/16), Grimsel Nollen (2017).

Das Wassereinzugsgebiet der KWO liegt im östlichen Kanton Bern, umfasst 450 km² und erstreckt sich über eine hochalpine Berglandschaft an den Pässen Grimsel und Susten. Jährlich fallen hier rund 980 Mio. Kubikmeter Wasser an, von denen die KWO etwa 700 Mio. für die Stromproduktion nutzt.

Die KWO kann derzeit nur ein Viertel dieses Wassers in ihren Speicherseen lagern; der Rest wird als Laufwasser direkt

genutzt. Jährlich erzeugt die KWO zwischen 2 200 und 2 400 GWh/a CO₂-freie Band- und Spitzenenergie.

Seit ihrer Gründung im Jahr 1925 hat die KWO ihre Kraftwerksanlagen kontinuierlich erweitert und optimiert, um das vorhandene Wasser effizient zu nutzen. Heute betreibt sie eines der komplexesten Wasserkraftsysteme der Alpen mit acht Speicherseen, 13 Kraftwerken und 28 Turbinen. Ein Vorteil des Systems: Das Wasser wird im Aaretal über drei Kraftwerksstufen (Grimsel, Handeck und Innertkirchen) mehrfach zur Stromproduktion genutzt.

Die KWO verfügt über eine installierte Turbinenleistung von rund 1 300 MW und eine Pumpenleistung von 440 MW. Ihre leistungsstärkste Anlage ist das Pumpspeicherwerk Grimsel 2 mit vier Maschinengruppen, die jeweils eine Turbine und eine Pumpe umfassen. **SH**

Carsten Schneider | Neue Verantwortung für den Klimaschutz

Carsten Schneider hat das Amt des Bundesumweltministers übernommen. Der Sozialdemokrat kann sich über einen Bedeutungszuwachs seines Hauses freuen,

weil der nationale und internationale Klimaschutz wieder ins Bundesumweltministerium eingegliedert worden ist. Die Ampel-Regierung hatte in der davor-

liegenden Legislaturperiode den Klimaschutz ins Bundeswirtschaftsministerium und Auswärtige Amt ausgelagert.

Schneider wurde 1998 als jüngster Abgeordneter in den Deutschen Bundestag gewählt. Von 2005 bis 2013 war er haushaltspolitischer Sprecher der SPD-Bundestagsfraktion, anschließend bis 2017 stellvertretender Fraktionsvorsitzender. Im Anschluss übernahm er das Amt des Ersten Parlamentarischen Geschäftsführers der SPD-Bundestagsfraktion und war ab 2021 Staatsminister beim Bundeskanzler und Beauftragter der Bundesregierung für Ostdeutschland.

Um den CO₂-Ausstoß in Deutschland zu verringern, will er u. a. die Potenziale der erneuerbaren Energien nutzen und sich für innovative Technologien einsetzen. Zentral seien auch ein ambitionierter Meeresschutz und eine Fortsetzung des Aktionsprogramms Natürlicher Klimaschutz zur Stärkung von Wäldern, Mooren und Gewässern. Gleichzeitig will Schneider Städte und Gemeinden beim Naturschutz und bei der Klimaanpassung unterstützen.



Im Schloss Bellevue erhielt Carsten Schneider (l.) im Mai seine Ernennungsurkunde

BAI

Alpiq | Peter-Wim Gerssen ist neuer CFO des Schweizer Energiekonzerns

Der Verwaltungsrat des Schweizer Alpiq-Konzerns hat Peter-Wim Gerssen als neuen Chief Financial Officer bestätigt. Gerssen wird die Nachfolge des bisherigen CFO der Alpiq-Gruppe, Luca Baroni, antreten, der das Unternehmen im Verlauf des Jahres nach über vierjähriger Tätigkeit in dieser Funktion verlässt.

Der 53-jährige Niederländer mit einem Master in Wirtschaftswissenschaften und einem Executive Master der Vrije Universiteit Amsterdam war in den letzten Jahren in verschiedenen internationalen Führungspositionen im Energiesektor tätig, u. a. in den Bereichen Fi-

nanzmanagement, Risikobewertung und Compliance. Zu seinen früheren Funktionen zählten die Positionen als CFO und zuletzt als CEO der Shell Asset Management Company (SAMCo) mit Sitz in Den Haag.

Alpiq ist ein Schweizer Unternehmen mit Hauptsitz in Lausanne, das sich europaweit in den Bereichen Energieerzeugung, Vermarktung und Energieoptimierung betätigt. Die Gruppe verfügt u. a. über einen leistungsfähigen Kraftwerkspark aus Wasserkraftwerken, thermischen Kraftwerken und erneuerbaren Energien. **BAI**



© Alpiq Holding AG

Der Niederländer Peter-Wim Gerssen ist neuer CFO des Schweizer Wasserkraftwerk-Betreibers Alpiq

Markus Krebber | Vertrag mit dem RWE-Vorstandsvorsitzenden verlängert



© Andre Laaks, RWE AG

Markus Krebber ist der alte und neue CEO der RWE AG

Der RWE-Aufsichtsrat hat den Vertrag von Dr. Markus Krebber als Vorstandsvorsitzenden des Unternehmens frühzeitig um weitere fünf Jahre bis Ende Juni 2031 verlängert. Krebber ist seit 2012 im RWE-Konzern tätig. Dem Vorstand gehört er seit 2016 an. Seit 2021 führt er das Energieunternehmen als Vorstandsvorsitzender.

Der Aufsichtsrat freut sich auf die Fortsetzung der Zusammenarbeit mit Krebber. Er habe RWE konsequent auf die zukünftige Energiewelt ausgerichtet. Mit

der breiten technologischen und regionalen Differenzierung sei der Konzern heute bestens aufgestellt, um am Wachstum aus steigender Stromnachfrage und Elektrifizierung teilzuhaben. Krebber selbst blickt ebenfalls optimistisch in die Zukunft. Er sagt, dass das Zeitalter der Elektrifizierung und künstlichen Intelligenz der RWE AG hervorragende Voraussetzungen für profitables Wachstum und eine nachhaltige Wertsteigerung biete. **BAI**

Verbund | Kraftwerke als Müllfilter der Flüsse

Wasserkraftwerke sind eine künstliche Barriere. Was für Fische mühsam ist, bedeutet für die Sauberkeit großes Glück. An den Staumauern bleibt zwangsläufig alles hängen, was auf der Donau treibt. Im Hochwasserfall sind es gewaltige Baumstämme und viel Treibholz, aber auch Zivilisationsmüll jeder Art, von der Plastikflasche bis zum Mobil-WC.

All das wird täglich von den Rechenreinigungsmaschinen und Mitarbeitern der Verbund-Donaukraftwerke geborgen und Entsorgungsbetrieben übergeben. So wird verhindert, dass Plastik durch die Kraft des Flusses fein zermahlen wird und schließlich in die Nahrungskette gelangt. 2024 wurden an den Verbund-Kraftwerken insgesamt rund 7 200 t Treibgut geborgen und entsorgt. **BAI**



© Florian Seifal

Angeschwemmtes Treibholz, Flaschen, Mobil-WCs: Manches Treibgut müssen die Mitarbeiter per Schwimmkran bergen

Andritz | Auftrag zur Sanierung des größten Wasserkraftwerks in Mosambik

Cahora Bassa ist das größte Wasserkraftwerk in Mosambik und eines der größten in Afrika. Das 1975 in Betrieb genommene 2 075-MW-Kraftwerk am Sambesi-Fluss liefert mehr als die Hälfte des Stroms in Mosambik und exportiert erhebliche Mengen in Nachbarländer. Cahora Bassa ist nicht nur eine Energieanlage, sondern auch ein Eckpfeiler der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung des Landes.

Andritz wurde jetzt mit der Sanierung dieses wichtigen Kraftwerks beauftragt. Der Auftragswert liegt im mittleren dreistelligen Mio.-Euro-Bereich. Das Sanierungsprojekt zielt darauf ab, die Effizienz, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Wartungsfreundlichkeit der Anlage zu verbessern. Die Leistung der Turbinen soll um mehr als 4 % auf 433 MW pro Einheit erhöht werden.

Andritz wird fünf neue 480-MVA-Generatoren, fünf neue Francis-Turbinenlaufräder, Steuer- und Schutzsysteme so-

wie hydromechanische Strukturen liefern. Der Auftragsumfang umfasst Konstruktion, Engineering, Fertigung und Lieferung der Ausrüstungen sowie Montage, Tests und Inbetriebnahme am Projektstandort.

Nach einer dreijährigen Vorbereitungszeit, in der die neue Ausrüstung konstruiert und gefertigt sowie die Baustelleninfrastruktur vorbereitet wird, werden die Ma-

Verhandlungen zur Unterzeichnung des Sanierungsprojekts: (l.) Tomas Matola, Vorsitzender des Verwaltungsrates der Betreibergesellschaft, (r.) Gerhard Kriegler, Managing Director, Andritz Hydro GmbH

schinensätze von Cahora Bassa nacheinander erneuert. Dabei ist der stabile und ununterbrochene Betrieb der anderen Maschinensätze sicherzustellen – laut Andritz eine große Herausforderung. **BAI**



Barbara Stammel | Neue Direktorin der ANL in Bayern

Am 1. Oktober übernimmt Barbara Stammel die Leitung der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL). Die habilitierte Landschaftsökologin wurde auf Vorschlag des

Präsidiums der Naturschutzakademie zur neuen Direktorin bestellt.

Nach dem Studium der Landespflege promovierte Dr. Barbara Stammel an der Technischen Universität München. Erste

praktische Erfahrungen sammelte sie danach als freiberufliche Landschaftsplanerin und Gebietsbetreuerin. Seit 2006 arbeitete sie, zuletzt als stellvertretende Leiterin, am Aueninstitut Neuburg-Ingolstadt, einer wissenschaftlichen Einrichtung der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt. Nach ihrer Habilitation nahm sie eine Professur an der Fachhochschule Erfurt an.

Stammels Vorgänger Dieter Pasch leitete die ANL elf Jahre lang. Als Direktor initiierte er zahlreiche Forschungs-, Bildungs- und Kommunikationsprojekte. Pasch galt als Netzwerker, der stets offen für neue Ideen gewesen ist und u. a. das Kursangebot digitalisiert hat. Seit dem 1. Juli 2025 ist der gebürtige Rheinländer nun im Ruhestand.

Die Naturschutzakademie ist mit 150 Veranstaltungen im Jahr, Forschungsprojekten und Publikationen die zentrale Bildungs- und Forschungseinrichtung für den Naturschutz in Bayern. An ihrem Angebot mit Aus- und Fortbildungskursen, Fachtagungen, Workshops und Exkursionen haben bereits über 150 000 Menschen teilgenommen. **BAI**



Barbara Stammel (m.): Die neue Direktorin der ANL gilt als kompetente Wissenschaftlerin mit internationaler Projekterfahrung

Datamatters | Smarte Bäume

Wasser ist mittlerweile vielerorts ein knappes, kostbares Gut, v. a. in heißen Sommern. Wie können Städte also ihre Bäume vor dem Austrocknen schützen, ohne viel Wasser zu verschwenden? Auf diese Frage hat das Kölner Startup dataMatters eine technische Antwort entwickelt: ein neuartiges Bewässerungssystem, das per Funk mitteilt, wann welche Bäume wieviel Wasser benötigen. So kann gezielt und effizient bewässert werden.

In den Gemeinden und Städten Dormagen, Hürth, Nordkirchen und Köln hat Datamatters dieses Konzept „urban Tree Intelligence“ gemeinsam mit lokalen Wirtschaftsförderungen oder Unternehmungen realisiert. Technische Basis bil-

det das Smart-City-Betriebssystem urbanOS.

Und so funktioniert das System: Um sich bemerkbar zu machen, werden die Bäume mit Sensoren versehen, die die Feuchtigkeit im Baumgewebe messen. Die Messwerte werden per Funk an einen urbanen Datenraum übermittelt und dort von einer künstlichen Intelligenz (KI) ausgewertet. Als Ergebnis erhalten die Stadtmitarbeiter eine Nachricht und eine optimierte Routenplanung für ihre Bewässerungsfahrzeuge.

Der Clou: Die KI wertet nicht nur die aktuellen Messwerte der Bäume aus, sondern berücksichtigt auch den Wetterbericht. Denn wenn Regen angesagt ist, müssen die Bäume zuvor nicht gegossen



Smart: Nur ausgewählte Bäume erhalten einen eigenen Sensor, dank der KI lässt sich aber auch der Wasserbedarf vergleichbarer Bäume vorhersagen

werden. Neben den Wetterparametern werden auch die Bodenfeuchte und die Bodenbeschaffenheit an die urbane Datenplattform übermittelt. **BAI**

CiK Solutions | Wasser-Überwachungslösung MX800



Hobo-MX800-Datenlogger: Wasser-Überwachung mit einer Plattform

Die neuen HOB0-MX800-Datenlogger wurden zur Überwachung der Wasserqualität entwickelt, speziell für die Anforderungen der Forschung und Wasserwirtschaft. Die modular aufgebaute Plattform erlaubt die Verwendung austauschbarer Sensoren, die Leitfähigkeit, Temperatur, Wasserstand und gelösten Sauerstoff messen können, was eine detaillierte und vielseitige Analyse ermöglicht.

Per Bluetooth werden die Daten drahtlos auf ein Smartphone oder Tablet übertragen, was die Überwachung in abgelegenen oder schwer zugänglichen Gebieten erleichtert.

Dank der Integration mehrerer Sensoren auf einer einzigen Plattform reduziert die Hobo-MX800-Serie den Bedarf an separaten Messgeräten.

BAI

Fernco | Floodbags statt Sandsäcke

Bei Hochwasser werden Städte und Häuser in der Regel mit Sandsäcken vor der Flut geschützt. Doch Sandsäcke sind schwer, sperrig und zeitaufwendig in der Handhabung. Eine Alternative dazu sind Floodbags von Fernco, bei denen das mühsame und langwierige Befüllen mit Sand entfällt.

Die leichten, flach verpackten Säcke müssen nur aus der Verpackung genommen und für mindestens 5 Minuten in Wasser getaucht werden. Dort entfalten sie ihre Schutzwirkung, indem sie dank ihrer Füllung mit einem superabsorbierenden Polymer (SAP) das Wasser in Minuten aufzunehmen.

Eine 375 g leichte Floodbag misst im trockenen Zustand gerade einmal 520 x 470 x 12 mm und kann dennoch bis zu 25 l Wasser aufsaugen. Das Ergebnis: 20 bis 25 kg schwere, straffe Floodbags, die sich schnell und flexibel zu einer Barriere gegen Wassermassen und Strömungen stapeln lassen. In ihrer Funktion sollen sie klassischen Sandsäcken in nichts nachstehen, wirbt Fernco.

Die Floodbags sollen sich nicht nur für den Schutz von Türen, Garagen und Grundstücksgrenzen bei Überflutung eignen, sondern können auch im Innenbereich genutzt werden. Der Vorteil: Die Floodbags lassen das Wasser zwar hinein, aber nicht wieder hinaus.



Floodbags statt Sandsäcke: schneller und einfacher Schutz bei Hochwasser

Laut Fernco bestehen die Schutzsäcke aus biologisch abbaubaren Materialien. Dies erleichtert die Entsorgung nach der Nutzung und soll die Umwelt schonen. Vakuumverpackt lassen sich die Bags mehrere Jahre lagern, ohne dass sie sich zersetzen. **BAI/SH**

GF | Dieses Regelventil schützt vor schädlichem Druck

Der Schweizer Anbieter von Durchflusslösungen hat sein Portfolio an Regelventilen für die Wasserversorgung erweitert: das NeoFlow-Druckhalteventil wurde entwickelt, um vorgelagerte Netzwerke vor unzureichendem oder negativem Druck zu schützen.

Zu hoher Druck kann in Wassernetzwerken große Schäden anrichten – dasselbe gilt jedoch auch für unzureichenden Druck, da Rückfluss und plötzlicher Druckabfall das Risiko einer Kontamination erhöhen und Wasserschläge verursachen können. Darüber hinaus kann durch negativen Druck ein Vakuum entstehen, das Leckagen, Schäden an Rohrverbindungen

oder sogar Implosion von Rohren verursachen kann.

Mit der Einführung des NeoFlow-Druckhalteventils bietet GF ein zusätzliches Instrument, um das Gleichgewicht in Wassernetzwerken aufrechtzuerhalten. Nach Angaben von GF kommt es durch eine axiale Durchflussgeometrie ohne Ventilschaft oder Membran aus und ist weniger anfällig für Kavitationsschäden. In Kombination mit einem Ventilkörper aus Polymer soll das NeoFlow-Druckhalteventil damit neunmal leichter und fünfmal kompakter als Alternativen aus Metall sein.

Das integrierte Pilotventil soll für eine kontinuierliche Regelung des gewählten



© GF Piping Systems Ltd

NeoFlow-Druckhalteventil: Erhältlich in Dimensionen DN50 bis DN300 und in einem Druckbereich bis 16 bar

Ausgangsdrucks sorgen und kann mit optionalem Zubehör die Überwachung und Steuerung von Parametern wie Durchfluss und Wasserqualität ermöglichen. **BAI**

Harzwasserkraftwerke | Sichere Wasserversorgung auch bei Extremwetter

Wie lässt sich die Wasserversorgung und eine optimale Steuerung von Talsperren auch bei Extremwetter sicherstellen? Dies herauszufinden, ist das Ziel des Optals-Forschungsprojektes, an dem die Harzwasserkraftwerke und weitere Partner beteiligt sind, u. a. die Leibniz Universität Hannover und das Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig.

Die Forscher wollen neue Managementstrategien und Steuerungsinstrumente für Talsperren und Wasserwerke entwickeln. Mithilfe von Echtzeitdaten sowie Kurz-, Mittel- und Langfristprognosen möchten sie die Resilienz und Nachhaltigkeit von Wasserversorgungssystemen verbessern – insbesondere unter schwierigen Bedingungen wie bei Wasserknappheit oder einer Verschlechterung der Wasserqualität.



© Harzwasserkraftwerke GmbH

Die Eckertalsperre wurde ausgewählt, da ein Fokus der Projektarbeiten auf dem Bereich der Humsinstoffe liegt, in der Eckertalsperre können diese aufgrund höherer Konzentrationen im Zufluss gut betrachtet werden

Untersucht wird dies am Beispiel des Westharzes mit den Talsperren der Harzwasserkraftwerke. Langfristig sollen die ent-

wickelten Lösungen auch auf weitere Talsperrensysteme in deutschen Mittelgebirgen übertragbar sein.

Im Projekt leiten die Harzwasserkraftwerke zwei Aufgaben:

- Optimierung des Wasserwerksverbunds: Ziel ist die Entwicklung eines Modells zur energie- und ressourceneffizienten Steuerung der Wasserwerke auf Basis von Rohwassergüteprognosen.
- Implementierung der Talsperrensteuerung: die im Projekt entwickelten Steuerungsstrategien sollen in den laufenden Betrieb integriert werden, um Trinkwassersicherheit, Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung und Energieerzeugung optimal auszubalancieren.

Das Bundesforschungsministerium (BMBF) fördert das Projekt. **BAI**

BfG | Ein virtueller Lehrpfad für den Rhein

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) will mit dem Projekt vEdutrail ein Computerprogramm entwickeln, das Menschen virtuell in die Welt der Gewässerkunde eintauchen lässt. Bis Ende 2028 will die BfG auf diese Weise einen Teil des Rheins in Hessen virtuell erlebbar machen.

In dem geplanten virtuellen Lehrpfad haben Bürgerinnen und Bürger sowie Fachleute dann die Möglichkeit, auf Basis wissenschaftlicher Messdaten und Modellsze-

narien die Folgen des Klimawandels (z. B. Extremereignisse, Niedrigwassersituationen) zu betrachten. Auch die Effekte gestaltender Maßnahmen wie Ufersicherungen können erlebbar gemacht werden.

Die BfG hofft: Gerade in Zeiten, in denen komplexe wissenschaftliche Zusammenhänge oft schwer vermittelbar sind und die Sensibilisierung für Umweltthemen immer wichtiger wird, könnte die virtuelle Realität ein hilfreiches Instru-



© tokiocoz / stock.adobe.com

Das Projekt vEdutrail entwickelt einen virtuellen Gewässerlehrpfad

ment zur Informationsvermittlung und Kommunikation wissenschaftlicher Erkenntnisse sein. **BAI**

Hamburg | Kongress Stadtgrün der Zukunft

Am 3. und 4. Juli 2025 hatte der Bund deutscher Baumschulen (BdB) e. V. zum Transformationskongress „Wurzeln & Visionen: Stadtgrün der Zukunft“ eingeladen. Der Kongress fand in einem der Leuchtturmprojekte für Stadtgrün in Deutschland statt: dem grünen Bunker St. Pauli.

Der zweitägige Kongress betonte die Bedeutung von Stadtgrün für die Klimaanpassung und zeigte Wege auf, wie Kommunen ihre Grünstrategien zukunftsfähig gestalten können. Darüber hinaus lenkte er das Augenmerk auf die zentrale Rolle von Baumschulen und ihren Produkten, insbesondere den Gehölzen, die für die Entwicklung einer klimangepassten grünen Infrastruktur für Städte unerlässlich sind.

Die grüne Infrastruktur benötigt selbst grundlegende Voraussetzungen, um ihre klimarelevanten und ökosystemaren Leistungen erfüllen zu können.

Zentrale Stichworte sind hier: Transpirationskühlung, Regenwasserrückhalt und Habitate für größere Biodiversität in Städten.

Die Fachtagung hatte sich zum Ziel gesetzt, sowohl gartenbauliche, planerische sowie auch soziokulturelle Aspekte der notwendigen urbanen Transformation zur Sprache zu bringen. Der Kongress zeigte vor diesem Hintergrund Wege auf, wie die Transformation der Kommunen zu einem klimawandelgerechten Lebensraum für Mensch und Natur gelingen kann. Internationale Best-Practices und Benchmarks der grünen Transformation wurden vorgestellt, eine Vielzahl von Referenten und Expertinnen kamen in Keynotes und Diskussionen zu Wort. Das thematische Spektrum reichte hier vom integrierten urbanen Gartenbau bis zum notwendigen Umbau der Siedlungswasserwirtschaft. **BAI**



© Markus Guhl/Bund deutscher Baumschulen (BdB) e.V.

Der grüne Bunker St. Pauli in Hamburg: Veranstaltungsort des Stadtgrün-Kongresses

Grenoble | Symposium Hydropower and Environmental Sustainability

Das Symposium HydroES 2025 wird von der „Société Hydrotechnique de France“ (SHF) organisiert und ist Teil einer ganzen Serie von Konferenzen, die in den letzten 15 Jahren stattgefunden haben. Die diesjährige Veranstaltung am 17. und 18. September 2025 wird sich mit den Themen Wasserkraft, Innovation und Resilienz beschäftigen.

Trotz des starken Wachstums von Windkraft und Solarenergie bleibt die Wasserkraft eine wichtige Quelle erneuerbarer Energien.

Zugleich muss die Wasserkraft Lösungen für verschiedene technische, ökologische und gesellschaftlichen Herausforderungen finden.

Dieses Symposium teilt sich thematisch in vier Sessions wie folgt auf:

- **Klimawandel:** Mit welchen Strategien und Maßnahmen kann die Branche mit den Folgen des Klimawandels umgehen (schmelzende Gletscher, schwankende Wassertemperaturen, Dürren, usw.);

- **Energiewende und Bewirtschaftung der Wasserressourcen:** Energieeffizienz, neue hydrometeorologische Prognoseinstrumente, Optimierung der Wasserproduktion und -ressourcen, Flexibilität und Rolle der Wasserkraft im Energiemix, Verringerung des CO₂-Fußabdrucks und Rolle der Wasserkraft bei der Energiewende, Meeresenergien, usw.;
- **Digitalisierung:** Fernsteuerung, Anlage 4.0, digitale Zwillinge, neuartige Sensoren, bestehende Kommunikationsprotokolle für die Anlagen- und Umweltüberwachung, fortschrittliche Modellierungssysteme und die Integration neuer Datenquellen, künstliche Intelligenz (IA) und Big Data;
- **Herausforderungen:** Alterung von Bauwerken und Ausrüstungen, Sedimentmanagement, Fortbestand der Fischzucht, neue rechtliche, ökologische und soziale Auflagen.

Die Veranstalter erwarten bis zu 200 Teilnehmer. **BAI**



© rudf1976 / Stock.adobe.com

Grenoble: Die umliegenden Berge mit ihren Wäldern und tosenden Bächen sind ganz nah



Weitere Informationen unter:
<https://tinyurl.com/5cyrtsrd>

Lindau | DWA-Landesverbandstagung Bayern 2025

2025 findet die traditionsreiche DWA-Landesverbandstagung am 7. und 8. Oktober in Lindau am Bodensee statt. Geplant sind Vorträge in zwei parallelen Seminarreihen zu aktuellen Themen wie Hochwasservorsorge und -schutz, Gewässerökologie, Kommunalabwasserrichtlinie, Energie und Kanalnetzbewirtschaftung.

Teilnehmer sind dazu eingeladen, bei den diesjährigen Thementischen mitzudiskutieren und sich mit den anderen Besuchern und Ausstellern aus der Wasserbranche auszutauschen.

Einige Themen der Tagung:

- Wasserbauliche Eingriffe im Spannungsfeld des Denkmalschutzes
- Archäologische Denkmalpflege und Wasserrahmenrichtlinie

- Einsatzmöglichkeiten von KI in der Wasserwirtschaft
- Landesprogramme in Hessen zur Umsetzung der WRRL: 100 wilde Bäche
- Synergien bei der Umsetzung von WRRL und Natura 2000 in Bayern
- Die Wiederherstellungsverordnung der EU: Was kommt auf die bayerischen Gewässer zu?

Ein Rahmenprogramm mit Berufswettbewerben, Abendveranstaltungen und Exkursion sowie die Fachausstellung sorgen für zusätzliche Abwechslung. **BAI**



Weitere Informationen unter:
www.dwa-bayern.de/de/landesverbandstagung.html



© David Hejnal / Stock.adobe.com

Lindau am Bodensee: ein Ort mit perfektem Ambiente für eine wasserwirtschaftliche Veranstaltung

Berlin | Infraspree-Kongress für Wasserwirtschaft 2025

Am 15. und 16. Oktober 2025 trifft sich die Wasserwirtschaftsbranche aus Berlin und Brandenburg auf dem Infraspree-Kongress im Colosseum Berlin. Hier erfahren Teilnehmer den Stand der Technik in Theorie und Praxis.

Unter dem Motto „Entdecken – Erleben – Erfahren“ bietet die Veranstaltung den Besuchern verschiedene Fachvorträge,

die von Praxisexkursionen flankiert und von einer begleitenden Fachausstellung unterstützt werden. Die Themen, die der Kongress u. a. abdeckt: Infrastruktur im Klimawandel, wasserbewusste Stadtentwicklung, urbane Wasserkreisläufe, Digitalisierung der Infrastruktur, BIM im Tiefbau oder auch Rohrleitungssanierung.

Infraspree ist eine nicht gewinnorientierte Veranstaltung, bei der die Fachkräftequalifizierung und Nachwuchsförderung im Vordergrund steht. Organisiert wird der Kongress aus der Branche für die Branche. **BAI**



Weitere Informationen zum Programm:
www.infraspree-kongress.de/kongress-2025/programm

Termine von Januar 2026 bis Januar 2027 für Ihre langfristige Planung

Zeit und Ort	Veranstalter und Thema der Veranstaltung	Information/Anmeldung
3. bis 6. Januar 2026 Radolfzell	Nabu BW: Naturschutztage am Bodensee	www.naturschutztage.de
10. bis 14. März 2026 Berlin	Bundesverband Beruflicher Naturschutz e. V. (BBN): Deutscher Naturschutztag	www.deutscher-naturschutztag.de
19. und 20. März 2026 Salzburg, Österreich	Messezentrum Salzburg GmbH: Renexpo Interhydro	www.renexpo-interhydro.eu/de/
24. und 25. März 2026 Trier	Uni Trier: Trierer Wasserwirtschaftsrechtstag 2026	https://tinyurl.com/yh9hts6p
28. und 29. April 2026 Mittweida	Hochschule Mittweida: XIV. Mittweidaer Talsperrentag 2026	www.forschung.hs-mittweida.de/veranstaltungen/
4. bis 8. Mai 2026 München	Messe München: IFAT Munich	https://ifat.de/de/
22. bis 26. Juni 2026 Lulea, Schweden	IAHR: 9. Europa Kongress. Artic Waters and Beyond. Innovating Hydro-Environment Engineering for a sustainable future	www.iahr.org/index/detail/1408
8. bis 10. Juli 2026 Zürich, Schweiz	ETH Zürich: 23. Wasserbau-Symposium	https://wbs2026.ethz.ch/
16. bis 21. August 2026 Lausanne, Schweiz	IAHR: XVI International Symposium on Ecohydraulics in Lausanne	https://ise2026.epfl.ch
6. bis 9. Januar 2027 Radolfzell	Bund BW: Naturschutztage am Bodensee	www.naturschutztage.de
12. bis 15. Januar 2027 Rotterdam, Niederlande	Ahoy Rotterdam: InfraTech Rotterdam	www.infratech.nl

Beitrag des Monats | **Enzym kann Plastik in Rekordzeit „vertilgen“**

Ein Enzym aus einem Komposthaufen auf dem Leipziger Südfriedhof könnte die weltweite Plastikflut eindämmen. Forschende der Universität Leipzig haben ein Protein so verändert, dass es Kunststoff in Rekordzeit zersetzen kann – binnen zwölf Stunden. Die Technologie steht kurz vor der Praxisreife.

↓ Lesen Sie den vollständigen Beitrag auf:
<https://sn.pub/4nejt9>



Christian Sonnendecker und sein Team entwickeln ein Enzym weiter, das PET-Kunststoff schnell abbaut

Neuerscheinung



Jourdan, L.:
 Schwammstadt-Konzept,
 ISBN: 978-3-658-48365-4,
 74,99EUR

↓ <https://sn.pub/6xl7pk>

Weitere meistgeklickte Beiträge

2. „Die Lieferkette ist das neue Einfallstor“

↓ <https://sn.pub/o6rml0>

3. Wie der Flugverkehr klimaneutral und günstiger werden könnte

↓ <https://sn.pub/yrzdex>

4. Gletscherabbruch durch Eisdruck, Geologie und Klimaeinfluss

↓ <https://sn.pub/oez8o2>

WasserWirtschaft auf LinkedIn

Jetzt geht's los: WasserWirtschaft ist nun auch auf LinkedIn vertreten. Auf der Seite *Springer Professional Energie + Nachhaltigkeit* erwarten Sie neben den Posts zu Ausgaben auch Links zu Beiträgen von unserem Online-Channel sowie andere, spannende Inhalte von unseren Marken WASSER UND ABFALL, Nachhaltige Industrie sowie Zeitschrift für Energiewirtschaft. Gleich folgen unter:

↓ <https://sn.pub/E+N-LinkedIn>

Wissensportal Springer Professional und Newsletter

Unser Wissensportal bündelt die wichtigsten Fachgebiete in Wirtschaft und Technik. Im *Channel Energie + Nachhaltigkeit* finden Sie aktuelle Informationen und weiterführende Literatur. Dort ist auch das Archiv der WasserWirtschaft hinterlegt.

↓ www.springerprofessional.de

Auf Springer Professional finden Sie auch unseren passenden *Newsletter zu den Themen Energie und Nachhaltigkeit*. Gleich hier anmelden:

↓ <https://myalert.springerprofessional.de>

Hinweis

Kostenfreies Online-Archiv und E-Magazin für Abonnenten

Kurzanleitung zur Registrierung für den Zugriff auf alle Beiträge der WasserWirtschaft in digitaler Fassung im Online-Archiv und über das E-Magazin:

1. www.springerprofessional.de/register
2. Eingabe der persönlichen Kontaktdaten
3. Passwort festlegen
4. Registrierung absenden
5. Sie erhalten eine Bestätigungsmail des Verlages. Klicken Sie auf den Link in der E-Mail, um sich für Springer Professional freizuschalten. Die Registrierung ist somit abgeschlossen.
6. Besuchen Sie zum Anzeigen der Inhalte Ihres Abonnements die folgende URL: www.springerprofessional.de/wawi. Gegebenenfalls werden Sie um die erneute Eingabe Ihrer Zugangsdaten gebeten.

Bei Problemen wenden Sie sich bitte an support@springerprofessional.de. Zum Voll-Abonnement von Springer Professional geht es unter www.springerprofessional.de/bestellung.

Hauptgruppen-Übersicht

- I. Beratende Ingenieure
- II. Verband Beratender Ingenieure
- III. Wasserbau
- IV. Rohrleitungen und Pumpen
- V. Mess- und Analysetechnik
- VI. Elektrische Ausrüstung & Leittechnik
- VII. Gewässerschutz
- VIII. Umwelttechnik
- IX. Ver- und Entsorgung
- X. Pulverbeschichtung/Korrosionsschutz

Ist Ihr Angebot vertreten?

Das WasserWirtschaft-Bezugsquellenverzeichnis bietet über 3.000 Entscheidern der Branche den direkten Zugriff auf die Lieferanten und Dienstleister der Branche und das Monat für Monat. Nutzen auch Sie die Gelegenheit, unter einem oder mehreren Stichworten auf Ihr Unternehmen und Ihr Produktangebot hinzuweisen. Sie erleichtern damit potenziellen Kunden den Zugang zu Ihrem Unternehmen.

Ihre Vorteile

- große Reichweite
- intensive Dauerwirkung
- kostengünstige Werbeform

Bestellformular für Bezugsquelleneinträge

Bitte veröffentlichen Sie folgenden Eintrag im Bezugsquellenverzeichnis von Wasserwirtschaft:

Ihr Eintrag kostet pro Millimeter und Erscheinen € 1,35 + MwSt. Die Gruppierungen sind kostenlos. Der Auftrag gilt zunächst für 1 Jahr (10 Ausgaben).

Er verlängert sich automatisch auf das folgende Jahr, sofern keine schriftliche Kündigung vorliegt. Die Abrechnung erfolgt aus buchungstechnischen Gründen jährlich im Voraus.

Für weitere Fragen stehen wir Ihnen jederzeit unter Telefon 0611/7878-196 zur Verfügung.
Irene.Pitzer@springernature.com

Unsere AGB finden Sie unter www.springerfachmedien-wiesbaden.de/meta-menue/agb

Gruppierung (kostenlos)

Hauptgruppe

Untergruppe

Eintrag Breite 85 mm

Höhe x € 1,35

Summe € pro Ausgabe

Datum

Unterschrift und Firmenstempel

I. Beratende Ingenieure

FICHTNER
WATER & TRANSPORTATION

Stuttgart, Freiburg, Leipzig,
Essen, Berlin, Hamburg,
München, Erfurt, Aachen
info@fwt.fichtner.de
www.fwt.fichtner.de

Gefao

Wiesloch, Stuttgart, Berlin
info@gefaoe.de
www.gefaoe.de

WASSER - VERKEHR - UMWELT



BERATUNG - STUDIEN - PLANUNG - BAUÜBERWACHUNG

Hydrotec
Ingenieurgesellschaft für
Wasser und Umwelt mbH

- > Hydrologie
- > Gewässerhydraulik
- > Gewässerentwicklung
- > Hochwasserschutz
- > Starkregenvorsorge
- > Abflussvorhersage
- > Softwareentwicklung

☎ 0241 / 9 46 89-0 ✉ mail@hydrotec.de 🌐 www.hydrotec.de



I. Beratende Ingenieure

ILF CONSULTING ENGINEERS
WASSERKRAFT – ALLES AUS EINER HAND
 Wasserkraft- und Pumpspeicherwerke
 Rehabilitation bestehender Anlagen
 Flussbau / Sedimentmanagement
hydropower.ilf.com

TRACTEBEL
 ENGIE
Ihr Partner für Wasser und Wasserkraft
 Tractebel Hydroprojekt GmbH | Rießnerstraße 18 | 99427 Weimar
www.hydroprojekt.de

INGENIEURTEAM GEO GMBH
 Vermessung
 Hydrographie
 Geoinformatik
Ihr Partner für Gewässervermessung
 76189 Karlsruhe • Telefon: 0721 / 79072-0
 Industriestraße 3 • info@it-geo.de www.it-geo.de

RS INGENIEURE Achern
ZINK INGENIEURE Lauf • Offenburg • Teningen
WIR GESTALTEN LEBENSRAÜME & SCHAFFEN LEBENSQUALITÄT
 Hochwasserschutz
 Stadtplanung
 Wasserversorgung
 Entwässerung
 Straßenbau
 Vermessung
 Landschaftsplanung
 Kanalsanierung
 Brückenbau
 Tragwerksplanung
www.zink-ingenieure.de
www.rs-ingenieure.de

IRP RADEMACHER + PARTNER INGENIEURBERATUNG GMBH
Wasserwirtschaft
 Ingenieurbau
 Abwassertechnik
 Wasserversorgung
 Erschließungen
 Flughafenanlagen
 Deponietechnik
 Hochwasserschutz
 Rückhaltebecken
 Staudämme
Wasserbau
 Industrieanlagen
 Statik
 Hydrologie
 Kanalisation
 Straßenbau
 Talsperren
 Wehranlagen
 Fischaufstiege
 Renaturierung
58095 HAGEN
 Böhrmerstraße 2
 Tel. 023 31 915 88-0
 Fax 023 31 915 88-99
irp@irp-hagen.de www.irp-hagen.de
13509 BERLIN
 Breitenbachstraße 10
 Tel. 0 30 23 57 80 84
 Fax 0 30 23 57 80 86
buero-berlin@irp-hagen.de
52445 TITZ
 Im Feldgarten 9
 Tel. 0 24 63 7 96 98 08
 Fax 0 24 63 7 96 98 09
buero-titz@irp-hagen.de
BERATUNG • PLANUNG • ÜBERWACHUNG • GUTACHTEN

III. Wasserbau
Die einfache Fischwanderhilfe
 - Für Fischauf- und Fischabstieg
 - Geringer Platz- und Wasserbedarf
 - Großer Einsatzbereich
 - Kostensparende Technologie
 - Hochwassersicher und wartungsarm
 - Hohe Qualität durch Standardisierung
 - Funktion mehrfach bestätigt
FISHCON fishcon.at
 jetzt informieren: **Bernhard Mayrhofer, MSC**
 +43 650 9401368
office@fishcon.at

Sönnichsen & Weinert
 Ingenieurgesellschaft für Wasserbau und Wasserwirtschaft mbH
 Gewässergestaltung • Hochwasserschutz
 Ingenieurbauwerke HOAI LPh 1 bis 9 • SIGEKO
 Örtliche Bauüberwachung • Ökologische Baubegleitung
 Sicherheitsüberprüfungen • Landschaftspflegerische Begleitpläne
 Schwarzer Weg 8 • 32423 Minden • www.soe-ing.de

Floeksmühle Energietechnik GmbH
 Bachstraße 62-64
 D-52066 Aachen
 Tel: +49(0)241 94986 6
et@floecksmuehle.com
www.floecksmuehle.com
Floeksmühle
 Die Schlauchwehrexperthen
 Ihre individuellen Anforderungen im Blick
 Design | Produktion
 Montage | Wartung
Alles aus einer Hand

III. Wasserbau

Stahlwasserbau · Wasserkraftausrüstung



**METALLBAU -
WASSERKRAFT**

Onnen Krieger GmbH & Co. KG



09573 Augustsburg
OT Hennersdorf
Schönthalweg 32
Tel. (03 72 91) 2 04 48
Fax (03 72 91) 2 04 47
E-mail:
metallbau.onnen.krieger@web.de
Internet:
www.metallbau-onnen-krieger.de

Mechanische und hydraulische
Rechenreiniger mit Treibguffördereinrichtung
Grob- und Feinrechen
Dammtafel- und Schützenanlagen aller Art
Wehraufsätze-Stauklappen, Schlauchwehre,
Holzaufsätze
Instandsetzung u. Modernisierung
bestehender Anlagen

TSN Tauchservice Naue GmbH

Alle Arbeiten am und im Wasser:

- ≈ Arbeitstauchen
- ≈ Arbeiten mit Roboter (ROV)
- ≈ Kampfmittel Sondierung/Räumung
- ≈ Hydrographische Vermessungen
- ≈ Ausbildungsbetrieb



www.tauchservicenau.de

Wasserkraft ist Zukunft und wir sind Ihre Partner!



wiegert & bähr
Turbinen- und Stahlwasserbau

Wiegert & Bähr Turbinen- und Stahlwasserbau GmbH
Im Muhrhag 3 | 77871 Renchen | Fon +49 (0) 78 43.94 68-0
E-Mail: info@wb-hydro.de | Internet: www.wb-hydro.de

IV. Rohrleitungen und Pumpen



VAG - Die Armaturen-Experten werden 150!

Wir feiern 150 Jahre Ideen, Ingenieurskunst und Leidenschaft. Armaturen, die millionenfach in aller Welt wichtige Funktionen erfüllen.

info@vag-group.com • www.vag-group.com

V. Mess- und Analysetechnik



Grundwasser · Oberflächenwasser · Abflussmessung
Wasserqualität · Meteorologie · Abwasser

www.seba.de

KAPLANTURBINEN
Hydro

Wir stellen moderne vertikalachsige Kaplansturbinen mit einem Laufraddurchmesser von 0,40 m bis 2,50 m her.

Wir bieten neben der Kaplansturbinen aber auch folgende Leistungen an:

- Vorplanung
- Vermessung
- Projektierung
- Schaltungsbaue
- Steuerungsbaue
- Stahlwasserbau

Gern unterbreiten wir Ihnen ein persönliches Angebot.
Tel.: +49 (0) 8335 98 93 39-0
Mail: info@watec-hydro.de
Web: www.watec-hydro.de

WALCHER

Kraftwerke • Turbinenregler

Steuerungen für Kraftwerke aller Fabrikate -
seit über 65 Jahren - in der dritten Generation

36124 Eichenzell Tel.: 06659 987940

Info@walcher.com www.walcher.com

X. Pulverbeschichtung/Korrosionsschutz

D-14823

Niemegk ENVIRAL®
Oberflächenveredelung GmbH
Groß- & Kleinteil- sowie Serien-Pulverbeschichtung Druck- & Schleuderstrahlen Stahlwasserbau
BAW-Zulassung nach Im 1 bis 13,6m x 2,5m x 4,0m bis 17,5m x 1,0m x 2,0m bis 4.000 kg
Altdorfer Weg 6
D-14823 Niemegk
Tel. 0800/3684725
www.enviral.eu



A-7023

Pöttelsdorf ENVIRAL®
Oberflächenveredelung GmbH
Groß- & Kleinteil- sowie Serien-Pulverbeschichtung Druck- & Schleuderstrahlen bis 13,6m x 2,5m x 4,0m bis 17,5m x 1,0m x 2,0m bis 4.000 kg
Viktor-Kaplan-Allee 3
A-7023 Pöttelsdorf
Tel. 0800 400150
www.enviral.eu



Vorschau



WasserWirtschaft 10 | 2025
erscheint am 07.10.2025

Wasserbau | Talsperren - Essenziell für die Minderung der Klimawandelfolgen

Wasserbau | Talsperren im Wandel der Zeit

Wasserbau | Talsperren des Wupperverbandes - was das System leisten kann

Wasserwirtschaft | Dezentrale Niederschlagswasserspeicher als Rückhalte- und Bewässerungssystem

Wasserwirtschaft | Value Management - integrale Konzeption von Maßnahmen zur Starkregenvorsorge

Wasserwirtschaft | Wasserhaushaltsnachweis nach DWA-M 102-4 - Anwendungserfahrungen und offene Fragestellungen

Wasserwirtschaft | Aufbereitetes Abwasser - Eine Alternative für kommunale Anwendungen?

Wasserwirtschaft | Ressourcenorientierte Sanitärsysteme für nachhaltiges Wassermanagement

Impressum

WasserWirtschaft

Ausgabe 9 | 2025, 115. Jahrgang
ISSN (Print) 0043 0978 | ISSN (Online) 2192-8762
www.springerprofessional.de/wawi

Verlag:

Springer Vieweg | Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH
Abraham-Lincoln-Str. 46 | 65189 Wiesbaden
wasserwirtschaft@springernature.com

Geschäftsführung:

Stefanie Burgmaier, Andreas Funk, Joachim Krieger

Redaktion:

Herausgeber: Florian Bischof (FB)
E-Mail: florian.bischof@springernature.com

Freier Chefredakteur (verantwortlich für den redaktionellen Inhalt): Prof. Dr.-Ing. Stephan Heimerl (SH)
E-Mail: Stephan@heimerl.net | Tel +49 163 / 8995737
Meuschenmühle 1 | 73553 Alfdorf

Freier Redakteur:

Benedikt Baikousis (BAI)
E-Mail: wasserwirtschaft@baikousis.de

Contentmanagement:

Julia Dorsheimer
E-Mail: julia.dorsheimer@springernature.com

Anzeigen und Produktion:

Leitung Media Sales: Volker Hesedenz

Gesamtleitung Produktion: Ulrike Drechsler

Verkaufsleitung (verantwortlich für den Anzeigenteil):

Maximilian Fuchs
Tel.: +49 611 / 7878-146
E-Mail: maximilian.fuchs@springernature.com

Anzeigendisposition: Claudia Moldovschi

Tel.: +49 611 / 7878-618
E-Mail: claudia.moldovschi@springernature.com

Anzeigenpreise: Es gelten die Mediadaten vom 1. Oktober 2024.

Leitung Vertrieb + Marketing: Jens Fischer

Produktmanagement: Melanie Engelhard-Gökalp (EGH)
Tel.: +49 611 / 7878-315
E-Mail: Melanie.Engelhard-Goekalp@springer.com

Produktion: Iris Conradi

Alle angegebenen Personen sind, sofern nicht ausdrücklich angegeben, postalisch unter der Adresse des Verlags erreichbar.

Sonderdrucke:

Anja Trabusch | E-Mail: anja.trabusch@springer.com
Tel.: +49 611 / 7878-298

Leserservice:

Springer Nature Customer Service Center GmbH
Springer Vieweg Service
Europaplatz 3, 69115 Heidelberg
Tel.: +49 6221/345-4303 | Fax: +49 6221/345-4229
Montag - Freitag | 8.00-18.00 Uhr
springervieweg-service@springernature.com

Druck:

Wilco B.V., Vanadiumweg 2, 3812 PZ Amersfoort, Niederlande

Fachbeirat:

Prof. Dr. sc. techn. Robert Boes
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich

Prof. Dr. habil. Bernd Lennartz
Professur für Bodenphysik der Universität Rostock

Dr.-Ing. habil. Uwe Müller
Deutsches Talsperrenkomitee e. V., Dresden

Dr.-Ing. Johann Neuner
Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft, Innsbruck

Prof. Dr.-Ing. habil. Reinhard Pohl
Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik, TU Dresden

Dr.-Ing. Christoph Rapp, Stadtwerke München

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Marq Redeker
CDM Smith, Düsseldorf

Prof. Dr.-Ing. Peter Rutschmann, München

Hinweise für Autoren:

Detaillierte Hinweise zu einer Veröffentlichung in der WasserWirtschaft finden Sie in den Autorenrichtlinien unter www.springerprofessional.de/wawi

Alle Manuskripte sind an die Redaktion zu richten. Durch das Einsenden von Fotografien und Zeichnungen stellt der Absender den Verlag von Ansprüchen Dritter frei. Grundsätzlich werden nur solche Arbeiten angenommen, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind. Die Manuskripte dürfen auch nicht gleichzeitig anderen Blättern zum Abdruck angeboten werden. Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben nicht in jedem Fall die Meinung der Redaktion wieder.

Die Fachartikel der WasserWirtschaft sind recherchierbar in folgenden Abstract- und Zitatendatenbanken bzw. Online-Portalen:

Clockss, CNPIEC, Dimensions, EBSCO Discovery Service, EMBiology, Engineering Village – Geobase, Google Scholar, International Bibliography of Book Reviews (IBR), International Bibliography of Periodical Literature (IBZ), Journal Citation Reports/Science Edition, Naver, OCLC WorldCat Discovery Service, Portico, ProQuest Aqualine, ProQuest Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA), ProQuest-ExLibris Primo, ProQuest-ExLibris Summon, SCImago, Scopus, Science Citation Index Expanded (SCIE), TD Net Discovery Service, UGC-Care List (India), WTI AG, www.ask-eu.de, www.springerprofessional.de

Organschaften:

- Deutsches Talsperrenkomitee (DTK), www.talsperrenkomitee.de
- Interessengemeinschaft Wasserkraft Baden-Württemberg e.V., www.ig-wasserkraft.de
- Wasserkraftverband Mitteldeutschland e.V., www.wasserkraftverband.de
- Arbeitsgemeinschaft Alpine Wasserkraft (AGAW), www.alpine-wasserkraft.com
- Wasserwirtschaftsverband Baden-Württemberg e.V. (WBW), www.wbw-ev.de

– Deutsche Wasserhistorische Gesellschaft (DWhG), www.dwhg.org

– Ruhrverband, www.ruhrverband.de

– Gesellschaft für Weiterbildung in der Wasserwirtschaft e.V. (GWW), www.gww-wasser.de

– Arbeitsgemeinschaft Wasserkraftwerke Nordrhein-Westfalen e. V. (AGW NRW), www.wasserkraftwerke-nrw.de

– Interessengemeinschaft Wassernutzung NRW (IGW NRW), www.igw-nrw.de

Bezugsmöglichkeiten: WasserWirtschaft hat jährlich 12 Ausgaben, die als 10 Hefte und 2 Doppelnummern erscheinen. Zusätzlich erscheinen ausgewählte Sonderhefte. Bestellmöglichkeiten und Details zu den Abonnementbedingungen finden Sie unter www.mein-fachwissen.de/WAWI. Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck: Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen Beiträge einschließlich sämtlicher Abbildungen, Grafiken und Fotos sind urheberrechtlich geschützt. Sofern eine Verwertung nicht ausnahmsweise ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf jedwede Verwertung eines Teils dieser Zeitschrift der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlages. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Nachdrucke, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, öffentliche Zugänglichmachung sowie die Einspeicherung und Verarbeitung von Teilen dieser Zeitschrift in Datenbanken und anderen elektronischen Systemen und die Verbreitung oder Verwertung über elektronische Systeme. Die Artikel der WasserWirtschaft sind mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Die Redaktion übernimmt jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der abgedruckten Inhalte. Für den Inhalt der Werbeanzeigen ist das jeweilige Unternehmen bzw. die jeweilige Gesellschaft verantwortlich.

Jedes Jahresabonnement beinhaltet eine Freischaltung für das Online-Archiv auf SpringerProfessional.de sowie den Zugriff auf das E-Magazin (emag.springerprofessional.de). Der Zugang gilt ausschließlich für den Empfänger des Abonnements.

Für unverlangt eingeschickte Manuskripte, Fotos und Illustrationen wird keine Gewähr übernommen.

Gültige Version:

Die gedruckte und die elektronische Fassung eines Beitrags können sich unterscheiden. Maßgeblich ist die Online-Version („Version of Record“) unter www.springerprofessional.de/wasserwirtschaft/3415344

EU-Datenschutzgrundverordnung (EU-DSGVO):

Falls Sie die Zeitschrift WasserWirtschaft nicht im Abonnement beziehen, erhalten Sie diese auf der gesetzlichen Grundlage von Artikel 6 Absatz 1 lit.f DSGVO. Wenn Sie die kostenlose Leseprobe künftig nicht mehr von uns erhalten möchten, genügt eine kurze formale Nachricht per Fax an: 06123 / 92 38 -244 oder eine E-Mail an leseprobe@vuservice.de. Wir werden Ihre personenbezogenen Daten dann nicht mehr für diesen Zweck verarbeiten. Die Verarbeitung Ihrer Daten ist gemäß den Bestimmungen der DSGVO. Weitere Infos dazu finden Sie im virtuellen Datenschutzbüro der Bundesländer unter www.datenschutz.de.

Produktsicherheit: Bei Fragen zur Produktsicherheit wenden Sie sich bitte an ProductSafety@springernature.com.

ZUKUNFT ENERGIE

Forschung | Praxis | Technologie



Die **Zeitschrift für Energiewirtschaft** liefert seit mehr als 40 Jahren unabhängige und wissenschaftlich fundierte Analysen zu energiewirtschaftlichen und -politischen Themen. Der neue Praxisteil bietet Nachrichten und Beiträge, die zur Einordnung neuer Technologien sowie politischer und wirtschaftlicher Diskussionen beitragen. Informieren Sie sich jetzt mit vier **Printausgaben** sowie dem zusätzlichen **interaktiven E-Magazin** zum Vorzugspreis und nutzen Sie das **kostenlose Onlinearchiv mit pdf-Download** aller Fachbeiträge seit 2008.

www.meinfachwissen.de/zeitschrift-fuer-energiewirtschaft



WASSERWIRTSCHAFT

Das Fachmagazin für Wasser und Umwelt.



Alles zu den Themen:

Wasserkraft, Turbinen und Kleinwasserkraft,
Trinkwasser, Grundwasser und Gewässer,
Ökologie, Boden, Rohre, Pumpen,
Armaturen und Behälter,
Messtechnik und Hydromechanik,
Hydraulik, Wasserbau und Wasserwirtschaft,
Hydrologie und Energie.

JETZT
2
AUSGABEN
kostenlos
TESTEN!

DIGITAL
INTERAKTIV
MOBIL



Fundierte Berichte aus Forschung und Wissenschaft – WasserWirtschaft bietet hohe technologische Kompetenz durch praxisnahe Fachbeiträge. Nutzen Sie den Vorteil der zehn Printausgaben im Jahr zum Vorzugspreis und exklusiv dem **interaktiven e-magazin** mit der beeindruckenden **Wissensdatenbank des Onlinearchivs** mit pdf-Download.

www.meinfachwissen.de/wawi