



Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020

Band 1: Hintergrund und Methoden



wasser





Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020

Band 1: Hintergrund und Methoden

Impressum

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen
Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020
Band 1: Hintergrund und Methoden

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

Dr. Melanie Mueller, Dr. Josef Knott, Dr. Leonhard Egg, Dr. Beate Bierschenk, Dr. Joachim Pander, Prof. Dr. Jürgen Geist:
Technische Universität München
Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie
Mühlenweg 18–22, 85354 Freising
Tel: 08161 71-3947
Fax: 08161 71-3477
Email: aquasys@tum.de
Internet: www.fisch.wzw.tum.de

LfU: Diana Genius, Dr. Madlen Gerke, Dr. Heidi Kammerlander, Hannah Ingermann, Birgit Lohmeyer, Dr. Christoph Mayr

Bildnachweis:

Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie/TUM: Abb. 1, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15, 16 und 17;
www.landeskraftwerke.de (Schema links) und Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie/TUM: Abb. 2, 3 und 4;
Abb 9: abgeändert nach Pander et al. (2018); Abb. 10 und 12: abgeändert nach Mueller et al. (2017)

Stand:

2. aktualisierte Auflage: Juli 2022

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Projektziele	5
2	Beschreibung der innovativen Kraftwerkstechnologien	7
2.1	Very Low Head-Turbine	7
2.2	Wasserkraftschnecke	7
2.3	Bewegliches Kraftwerk	8
2.4	Schachtkraftwerk	8
3	Fischschutzeinrichtungen an konventionellen Kraftwerksanlagen	9
4	Übersicht der Untersuchungsstandorte	10
5	Methoden im Projektteil A	11
5.1	Fang von Fischen an Wasserkraftanlagen mit Netzen	11
5.2	Beprobung des natürlichen Fischabstiegs	13
5.3	Beprobung mit Versuchsfischen – standardisierte Fischzugaben	13
5.4	Erfassen äußerlich sichtbarer Verletzungen	16
5.5	Erfassen innerer Verletzungen	18
5.6	Erfassen verzögerter Mortalität	19
5.7	Messung abiotischer Gewässerparameter	20
5.8	Messung abiotischer Parameter mittels Sensorfisch	20
5.9	Sonaruntersuchungen zum Fischverhalten an Wasserkraftanlagen	21
5.10	Datenanalyse und Statistik im Projektteil A	21
6	Methoden im Projektteil B	22
6.1	Biotische Parameter – Aquatische Lebensgemeinschaft	23
6.2	Abiotische Parameter	24
6.3	Datenanalyse und Statistik im Projektteil B	25
7	Grenzen des Projekts	26
8	Literatur	28

Vorwort des Lehrstuhls für Aquatische Systembiologie (TUM)

Im Zusammenhang mit der Energiewende wird derzeit eine stark emotional geprägte Diskussion um die Wasserkraftnutzung in Bayern geführt. Um diese Diskussion zu versachlichen und mit wissenschaftlich belastbaren Erkenntnissen zu untermauern, hat das Bayerische Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) ein Pilotprojekt zur Untersuchung der Auswirkungen innovativer Wasserkraftanlagen auf Fließgewässer und ihre Lebensgemeinschaften initiiert. Ein Projekt dieser Größenordnung wurde bisher in Bayern noch nicht durchgeführt und ist auf die Unterstützung zahlreicher Personen angewiesen. Die Projektkonzeption mit der derzeitigen Aufgabenverteilung zwischen der Technischen Universität München (TUM) und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) erweist sich bei Projekten dieser Größenordnung als optimal für einen reibungslosen Ablauf der wissenschaftlichen Untersuchungen seitens der Universität. Für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung während des Projekts möchten wir uns bei allen Beteiligten herzlich bedanken.

Unser besonderer Dank gilt den Fischereifachberatungen sowie allen Beteiligten an den zuständigen Wasserwirtschaftsämtern, Landratsämtern und Regierungen, den Fischereirechtsinhabern und Grundstücksanliegern für die Erteilung von Genehmigungen und die Unterstützung bei den Feldprobenahmen. Für die Unterstützung vor Ort bei den Probenahmen möchten wir uns bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Kraftwerksbetreiber bedanken. Ein besonderer Dank gilt auch unseren Studierenden, Praktikantinnen und Praktikanten, Hilfskräften sowie den freiwilligen Helferinnen und Helfern für ihr Engagement bei den durchgeführten Untersuchungen.

1 Hintergrund und Projektziele

Die Nutzung der Wasserkraft hat in Bayern eine lange Tradition und ist mit einem Anteil von derzeit etwa 28 % an der Bruttostromerzeugung aus erneuerbaren Energien eine wichtige Energiequelle (https://www.energieatlas.bayern.de/thema_wasser/daten.html, Stand 2021, aufgerufen am 18.05.2022). Von der Bayerischen Staatsregierung wurde ein 10-Punkte-Fahrplan für eine ökologische und naturverträgliche Wasserkraftnutzung (Bayerische Strategie zur Wasserkraft) entwickelt: Die Stromerzeugung aus Wasserkraft soll ausgehend vom Stand Ende 2018 von 10,7 TWh durch Modernisierung und Nachrüstung bestehender Anlagen und Neubau bis zum Jahr 2022 um rund 1 TWh gesteigert werden. Um einen umweltverträglichen Ausbau der Wasserkraftnutzung zu ermöglichen, soll die Forschung über energetische und ökologische Verbesserungen an Wasserkraftanlagen intensiviert und neue Technologien zur Erzeugung von Energie aus Wasserkraft eingesetzt werden. Bisher liegen allerdings kaum Informationen über ökologische Vor- und Nachteile neuer Technologien, den sogenannten innovativen Wasserkraftanlagen, im Vergleich zu konventionellen Anlagen vor.

Vor diesem Hintergrund hat das LfU den Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TUM beauftragt, in dem bayernweiten Forschungsvorhaben „Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen“ unterschiedliche Ansätze innovativer Wasserkraftanlagen wissenschaftlich fundiert, ergebnisoffen und vergleichend zu untersuchen. Finanziert wurde das Forschungsvorhaben vom StMUV. Als Untersuchungsstandorte wurden verschiedene Pilotanlagen in Bayern ausgewählt, die an bereits bestehenden Querbauwerken errichtet werden sollten und sich zu Projektbeginn in der Planungs- oder Bauphase befanden. Zu diesen innovativen Anlagentypen zählen zwei Kraftwerke mit „Very low head“ (VLH)-Turbinen, zwei Anlagen mit Wasserkraftschnecken, ein bewegliches Kraftwerk sowie ein Schachtkraftwerk. Zusätzlich wurden drei konventionelle Wasserkraftanlagen für die Untersuchungen ausgewählt, die mit Fischschutzeinrichtungen umgerüstet worden waren. Das Untersuchungsprogramm gliederte sich in zwei Hauptmodule (vergleiche Abb. 1): Im Forschungsmodul A „Auswirkungen des Turbinenbetriebs“ wurden der Fischabstieg und die direkten Schädigungen von Fischen durch den Turbinen- und Anlagenbetrieb untersucht und bewertet. Im Forschungsmodul B „Ökologische Auswirkungen“ wurden das Fischartenspektrum, am Gewässergrund lebende Kleintiere (Makrozoobenthos), Wasserpflanzen (Makrophyten) und Aufwuchsalgen (Periphyton) sowie abiotische Gewässerparameter (z. B. Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit, Wassertiefe) im Ober- und Unterwasser der Wasserkraftanlagen vergleichend untersucht. Diese Untersuchungen fanden an den Standorten mit innovativen Anlagen soweit möglich sowohl vor als auch nach dem Kraftwerksbau statt.

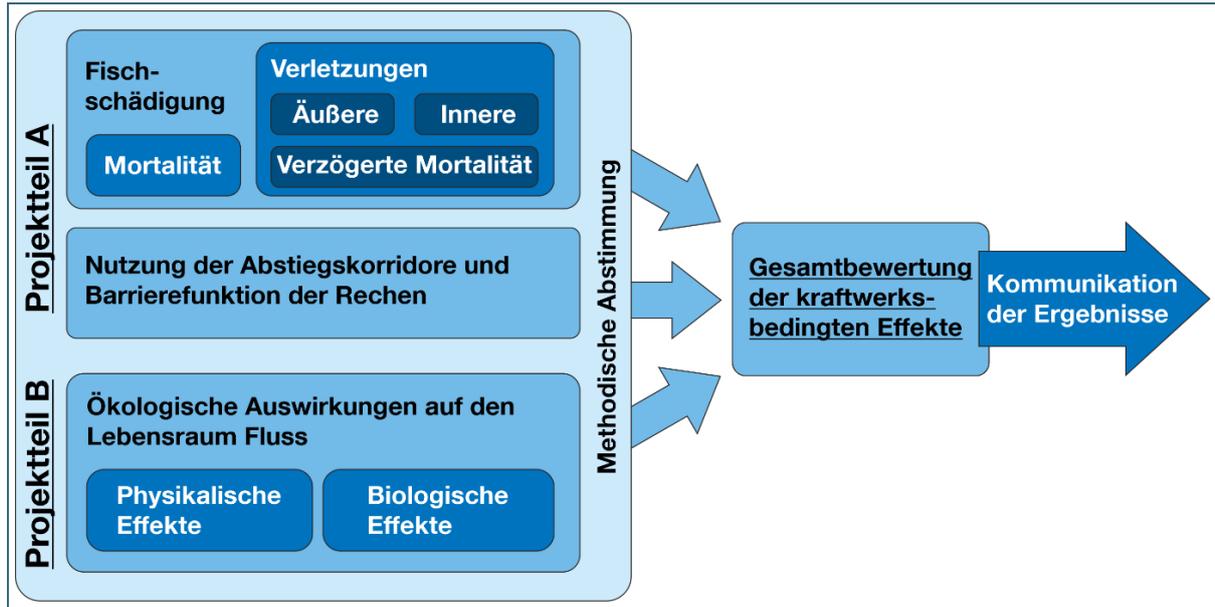


Abb. 1: Schema der integrativen Bewertung der Hauptkomponenten in den Projektteilen A und B

2 Beschreibung der innovativen Kraftwerkstechnologien

2.1 Very Low Head-Turbine

Dieser Turbinentyp weist im Gegensatz zu Kaplan- oder Francis-Turbinen einen großen Laufraddurchmesser und eine geringe Drehzahl auf. Aufgrund der damit verbundenen Verringerung der Kollisionswahrscheinlichkeit und den geringeren Druckunterschieden wird die VLH-Turbine als weniger fischschädlich als diese angesehen. Im Gegensatz zu der herkömmlichen Kaplan-Turbine, die bei Fallhöhen bis zu 60 m eingesetzt werden kann, wurde die VLH-Turbine (Abb. 2) für die Anwendung bei Fallhöhen von 1,5 m bis 3,4 m und Durchflüssen bis 27 m³/s entwickelt.



Abb. 2: Links: Schematische Darstellung einer VLH-Turbine im Fluss, Rechts: Foto der in Au an der Iller eingebauten VLH-Turbine bei abgesenktem Wasserstand

2.2 Wasserkraftschnecke

Die Wasserkraftschnecke basiert auf dem Prinzip der archimedischen Schraube. Das zentrale Bauteil ist ein länglicher, zylinderförmiger Läufer, an dem helixförmige Schneckenwindungen angebracht sind. Die Schnecke läuft in einem Trog, der an ihren Durchmesser angepasst ist. Das vom Oberwasser in den Trog herabfallende Wasser setzt die Schnecke durch sein Eigengewicht in Gang (Abb. 3). Aufgrund geringer Drehzahlen, Druckunterschiede und Scherkräfte gilt die Wasserkraftschnecke als weniger fischschädlich im Vergleich zu konventionellen Technologien.

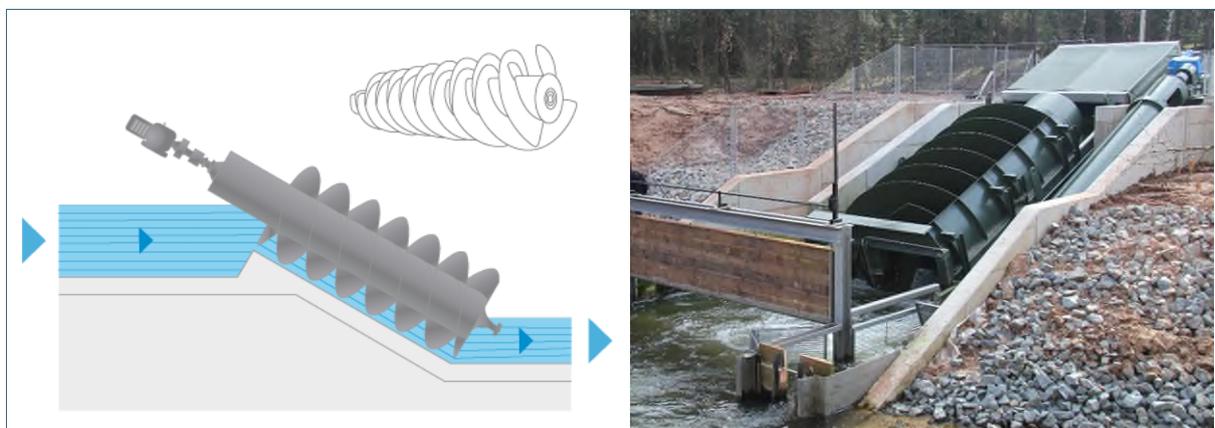


Abb. 3: Links: Schematische Darstellung einer Wasserkraftschnecke im Fluss, Rechts: Foto der am Heckerwehr an der Roth eingebauten Wasserkraftschnecke

2.3 Bewegliches Kraftwerk

Beim beweglichen Kraftwerk handelt es sich um eine schwenkbare, über- und unterströmbare Wasserkraftanlage, durch die Fischabstieg, Geschiebetransport und Hochwasserentlastung gleichzeitig realisiert werden sollen (Abb. 4). Fische können sowohl ober- als auch unterhalb des Kraftwerks ins Unterwasser gelangen. Das bewegliche Kraftwerk ist mit einer axial durchströmten Kaplan Rohrturbine ausgestattet und ist für Standorte mit bis zu 8 m Fallhöhe geeignet. Aufgrund der Möglichkeit, dass Fische ohne Turbinenpassage direkt über das überströmte Kraftwerk oder über einen Kronenausschnitt vom Ober- ins Unterwasser gelangen können, wird diese Technik als weniger fischschädlich im Vergleich zu konventionellen Kraftwerken angesehen. Zu Projektbeginn lagen jedoch noch keine Erkenntnisse vor, inwiefern die Effektivität der Ableitung von der Abflussaufteilung zwischen Kronenausschnitt/Überströmung und Turbine abhängig ist.

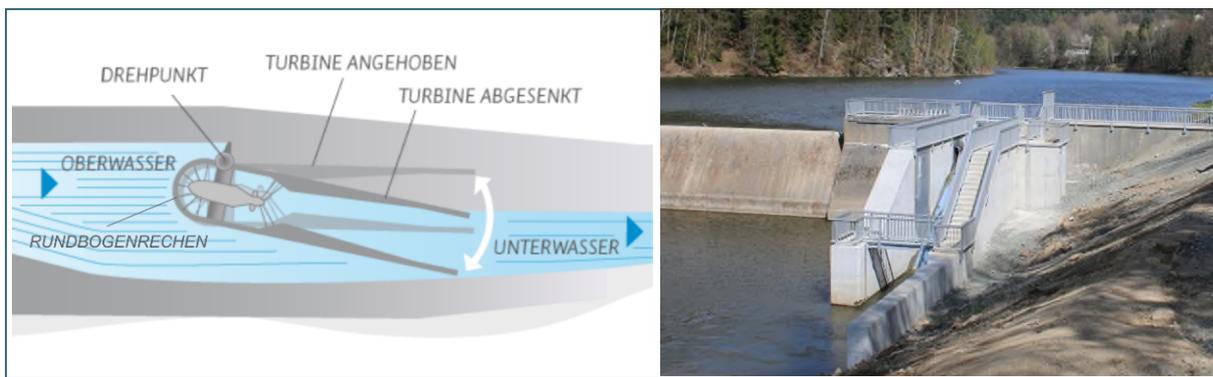


Abb. 4: Links: Schematische Darstellung eines beweglichen Kraftwerks im Fluss, Rechts: Foto des in Eixendorf an der Schwarzach errichteten beweglichen Kraftwerks

2.4 Schachtkraftwerk

Beim Schachtkraftwerk liegt die Maschineneinheit vollständig unter Wasser (Abb. 5). Eine Einheit aus Turbine und Generator wird in einem Schacht mit einer horizontalen Einlaufebene installiert, der vor dem Wehr in die Oberwassersohle integriert und mit einem Feinrechen abgedeckt ist. Ein schadloser Fischabstieg soll dadurch erreicht werden, dass die Anströmgeschwindigkeiten in der Rechenebene 0,5 m/s nicht überschreiten und die Fische über permanent geöffnete Abstiegswenster in den Segmentschützen ins Unterwasser absteigen können. Zusätzlich kann der Fischabstieg temporär bei geöffnetem sohlenbündigen Grundablass während der Rechenreinigung erfolgen. Das Schachtkraftwerk wurde im Rahmen des Ergänzungsprojekts bis Mitte 2022 untersucht.

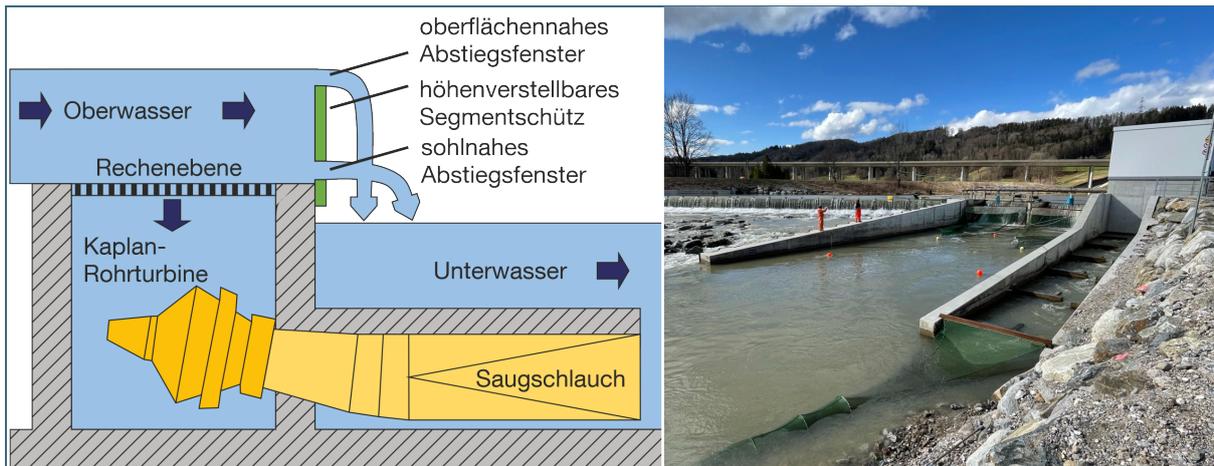


Abb. 5: Links: Schematische Darstellung eines Schachtkraftwerks, Rechts: Foto des in Großweil an der Loisach errichteten Schachtkraftwerks

3 Fischschutzeinrichtungen an konventionellen Kraftwerksanlagen

Um die Durchgängigkeit wiederherzustellen und den Fischschutz an konventionellen Wasserkraftanlagen zu verbessern, wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl baulicher Lösungen entwickelt. Sie dienen dazu, bestehende Anlagen nachzurüsten und die Fischverträglichkeit zu steigern. Dazu zählen unter anderem vertikal und horizontal geneigte Feinrechen und verschiedene Bypass-Systeme, wie z. B. das Leitrechen-Bypass-System nach Ebel, Gluch und Kehl, Spülklappen, Bypass-Rohre, technische Fischaufstiegsanlagen und naturnahe Umgehungsgewässer, aber auch Scheuchanlagen wie z. B. elektrische Seilrechen. In diesem Projekt werden an drei nachgerüsteten konventionellen Kraftwerksanlagen verschiedene Rechentypen (geneigter Vertikalrechen, schräg angeströmter Horizontalrechen) und verschiedene Bypass-Systeme (Spülklappe, Spülrinne, Aalrohr, naturnahe und technische Fischaufstiegsanlage) auf ihre Fischschutz- und Fischabstiegseffizienz hin bewertet.

4 Übersicht der Untersuchungsstandorte

Für das fischökologische Monitoring wurden verschiedene Projektstandorte ausgewählt (Abb. 6). Da auch zwischen Anlagen desselben Typs große standortspezifische Unterschiede bestehen können, wurden je nach Verfügbarkeit entsprechender Projekte in Bayern bis zu drei Standorte für eine Technologie berücksichtigt.

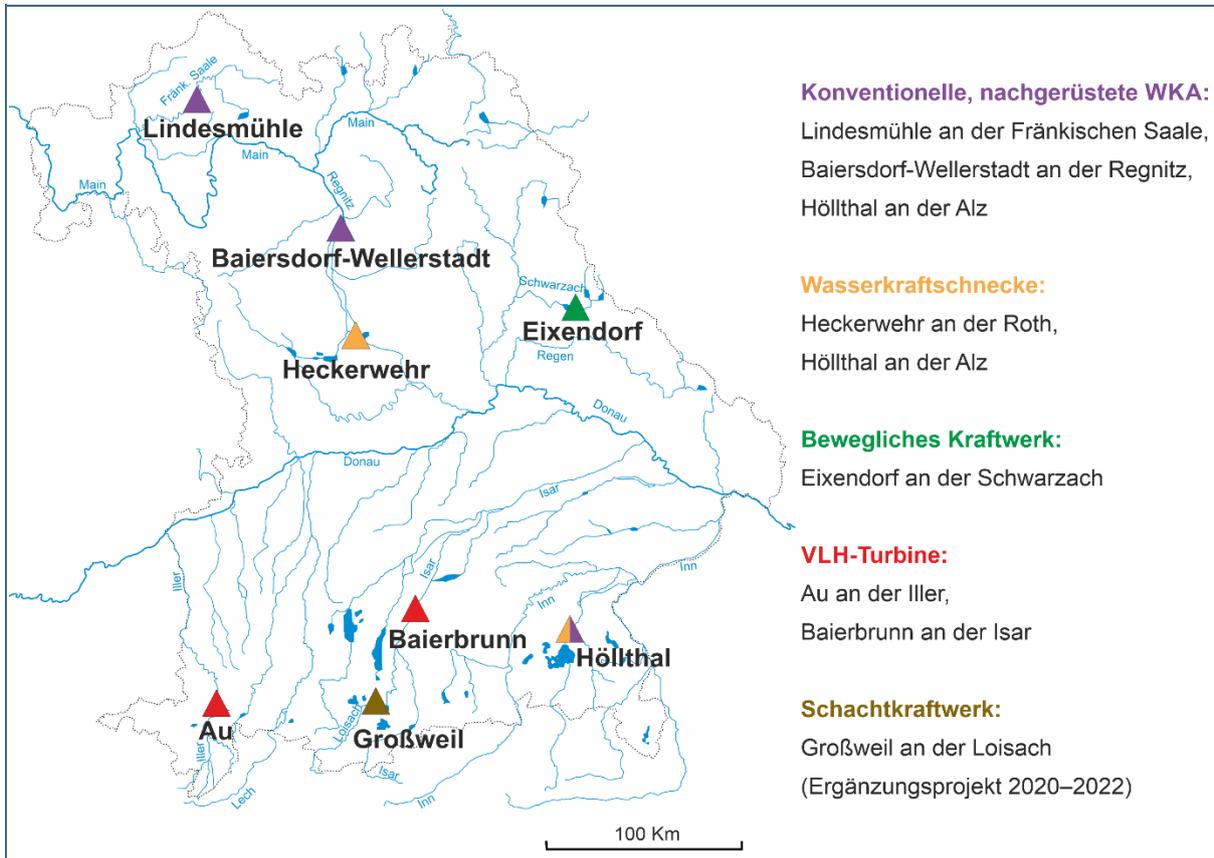


Abb. 6: Bayernkarte mit Verortung der Projektstandorte unterschieden nach Kraftwerkstypen

5 Methoden im Projektteil A

Im Projektteil A wurden der Fischabstieg und die direkten Schädigungen von Fischen durch die untersuchten Wasserkraftanlagen erfasst. Dazu wurden Netze verwendet, um die Fische unterhalb der Wasserkraftanlagen zu fangen. Nach dem Fang wurden die Arten bestimmt sowie die Verletzungen der Fische bewertet. Neben den natürlich am Standort vorkommenden Arten, hier als natürlicher Fischabstieg bezeichnet, wurden zusätzlich Versuchsfische oberhalb der Wasserkraftanlage eingesetzt, also sogenannte standardisierte Fischzugaben durchgeführt.

Abb. 7 zeigt den schematischen Ablauf der Untersuchungen: Die Fangmethodik wurde für das Projekt bezüglich der Auswahl der Netze und der Befestigung entwickelt und an der Moosach, einem Gewässer auf dem Lehrstuhlgelände der TUM bei Freising, überprüft. Weitere Informationen zu diesen Vorstudien sind in den Bänden 2a und 2b sowie in Pander et al. (2018) enthalten.

Aus den Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs lassen sich Erkenntnisse über die Nutzung der verschiedenen Wanderkorridore (v. a. Turbinenkorridor und Bypass-Systeme) ableiten. Durch die Untersuchungen mit standardisierten Fischzugaben werden die durch die Turbine und den Rechen verursachten Verletzungen der Fische abgeleitet. Hierfür wurden äußerlich sichtbare und innere Verletzungen erfasst. Außerdem wurden die Fische mehrere Stunden nach dem Versuch nochmal bewertet, um auch eine später auftretende, verzögerte Mortalität zu berücksichtigen. Diese Erkenntnisse flossen anschließend in die Gesamtbilanzierung der anlagenbedingten Auswirkungen ein.

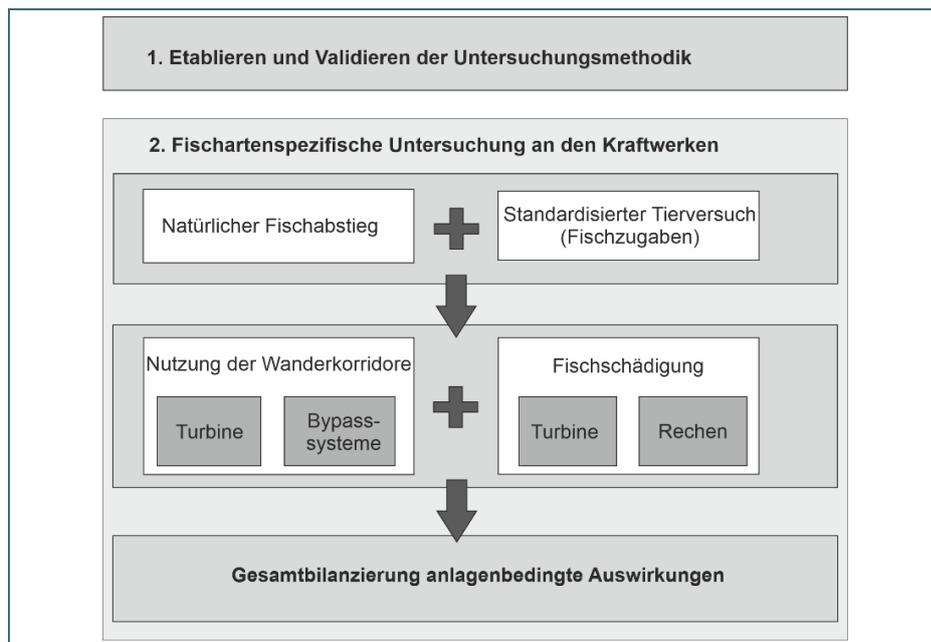


Abb. 7:
Schematische Darstellung der Untersuchungen im Projektteil A

5.1 Fang von Fischen an Wasserkraftanlagen mit Netzen

Für die Untersuchungen wurden Fangeinrichtungen aus Netzmaterial verwendet. Je nach baulicher Ausführung, Durchmesser und Maschenweite bezeichnet man sie als Hamen oder Reusen. Für die Befischung von großen Querschnitten wie Turbinenausläufen werden in der Regel Hamen verwendet, während Reusen für die Untersuchung kleinerer Querschnitte wie z. B. Fischaufstiegsanlagen geeignet sind. Ein Hamen besteht aus einem mehrere Meter langen, sich verjüngenden Netzsack mit abnehmender Maschenweite, der durch die Strömung offengehalten wird und an dessen Ende sich ein reusenartiges Fangnetz, der sogenannte Steert, befindet. In diesem Projekt wurden Hamen mit ab-

nehmender Maschenweite zwischen 30 mm und 10 mm verwendet (Abb. 8). Die Maschenweite der Reusen beträgt 8 mm. Um den kompletten Gewässerquerschnitt abzudecken, wurden die Fangeinrichtungen in der Regel an Metallrahmen aus Vierkantrrohr mit einer aufgeschweißten Relling befestigt und in die U-Profile der Revisionsverschlüsse unterhalb der Turbinen eingesetzt (Abb. 9).

Fische können beim Fang in den Hamen und Reusen durch die Berührung des Netzes verletzt werden. Um sie möglichst schonend zu fangen, wurde knotenloses Netzmaterial verwendet.

Zu Beginn jedes Versuchsblocks wurde außerdem die Fangeffektivität der Hamen getestet. Hierfür wurden Dummy-Versuche mit Plastikbällen verschiedener Größe und spezifischer Dichte durchgeführt. Pro Versuchsdurchgang zur Überprüfung der Fangeffektivität wurden jeweils von jeder Dummy-Größe zehn luft-, wasser- und salzwassergefüllte Plastikbälle vor den Hameneingang ins Gewässer gegeben. Nach einer Stunde wurden die Fangeinrichtungen geleert und die Summe der wiedergefangenen Bälle differenziert nach Größe und spezifischer Dichte notiert. Somit konnte die Anzahl an gefangenen Fischen mit der Fangeffektivität der Hamen verglichen und insbesondere Schäden an den Fangeinrichtungen erkannt werden.

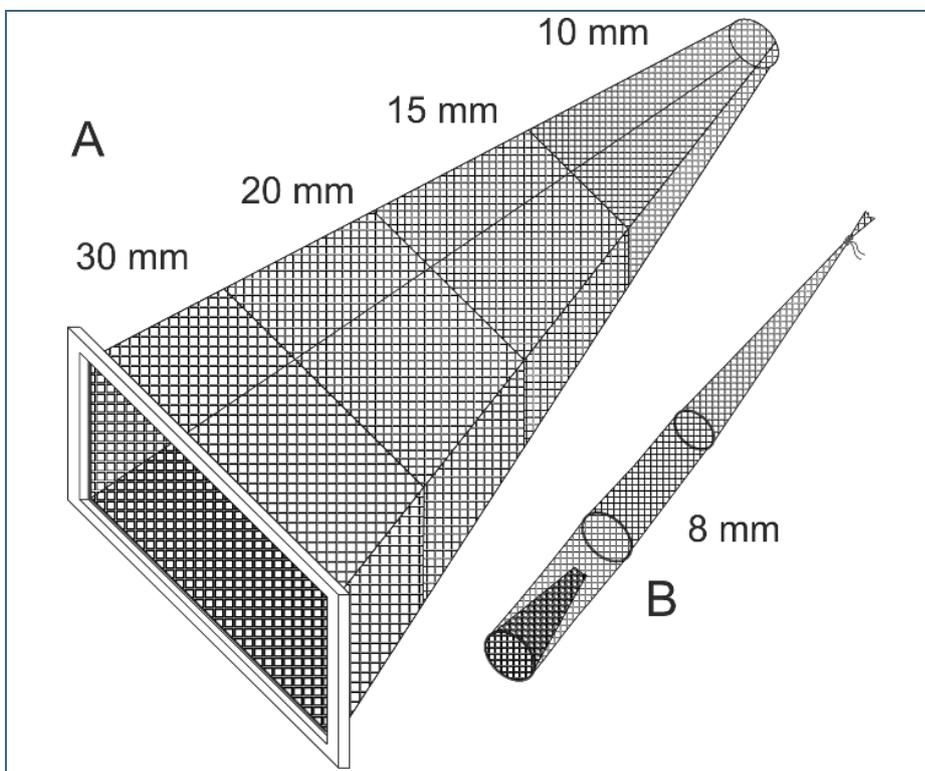


Abb. 8:
Schematische Darstellung eines am Turbinenauslauf angebrachten Hamens (A) mit abnehmender Maschenweite und Reuse (B)



Abb. 9: Einheben eines Hamens mit Rahmen in die U-Profile der Revisionsverschlüsse unterhalb der Turbinen

5.2 Beprobung des natürlichen Fischabstiegs

Im Frühjahr und Herbst wurden Fische an den Wasserkraftanlagen mit Hamen gefangen, um die Wanderbewegungen beziehungsweise die Abdrift von Fischen flussabwärts, also den Fischabstieg des natürlich vorkommenden Fischbestandes zu untersuchen. Die gefangenen Fische wurden im Hinblick auf ihre inneren und äußeren Verletzungen, sowie die sofortige und verzögerte Mortalität, bewertet.

Die Befischung erfolgte in Intervallen von jeweils zwei Stunden, die gleichmäßig auf vier Zeitspannen verteilt wurden: Die erste Tageshälfte (von Sonnenaufgang bis 12:00 Uhr), die zweite Tageshälfte (von 12:00 Uhr bis Sonnenuntergang), die erste Nachthälfte (von Sonnenuntergang bis 00:00 Uhr) und die zweite Nachthälfte (von 00:00 Uhr bis Sonnenaufgang). Dadurch können Rückschlüsse auf die bevorzugten Tageszeiten für den Abstieg von Fischen gezogen werden.

Im Oberwasser der Wasserkraftanlagen wurden außerdem Fische mithilfe von Elektrofischung gefangen und auf Verletzungen hin geprüft. Mit dieser Methode können nur mobile Fische, die auf Strom reagieren, erfasst werden. Dadurch ließ sich aber zumindest näherungsweise eine potenzielle Vorschädigung des natürlichen Fischbestands vor der Passage des Kraftwerks abschätzen.

5.3 Beprobung mit Versuchsfischen – standardisierte Fischzugaben

Es wurden außerdem Versuchsfische oberhalb der Wasserkraftanlagen ausgesetzt und unterhalb in den Hamen gefangen. Bei diesen standardisierten Fischzugaben wurde im Rahmen eines genehmigten Tierversuchs eine definierte Anzahl Fische verschiedener Arten und bekannter Vorschädigung verwendet. Die genügend hohe Anzahl der gefangenen Fische jeder Art ermöglicht eine gesicherte

statistische Auswertung. Zudem sind die Verletzungen der Fische vor der Passage der Wasserkraftanlage bekannt.

Um die Effekte bestimmter Anlagenteile zu ermitteln und differenziert zu bewerten, wurden die standardisierten Fischzugaben an verschiedenen Anlagenteilen – wie z. B. direkt in die Turbine nach der Rechenanlage sowie oberhalb des Rechens – durchgeführt. Zusätzlich wurden Effekte, die aus dem Fang und Handling entstehen können, untersucht (vergleiche Abb. 10). Die Versuche wurden in der Regel bei zwei verschiedenen Lastzuständen durchgeführt, zum einen bei geringer und zum anderen bei hoher Turbinenlast (vergleiche Abb. 11). An den Standorten Baidersdorf-Wellerstadt und Lindesmühle wurden nur Versuche bei Niedriglast durchgeführt. Die notwendige Anzahl an Versuchsfischen pro Versuchsgruppe und Fischart wurde ermittelt und im Rahmen der Tierversuchsgenehmigung beantragt. Damit für die Fischlebensgemeinschaften bayerischer Flüsse möglichst repräsentative Ergebnisse erzielt werden können, wurden acht Fischarten mit unterschiedlichen morphologischen Eigenschaften für die Versuche ausgewählt. Bei den Fischarten handelte es sich um Fische mit einem spindelförmigen Körper (Bachforelle, Huchen), mit spindelförmigem, seitlich leicht abgeplattetem Körper (Nase, Äsche), dorsoventral leicht abgeplattete Grundfische (Barbe), eher hochrückige Fische (Rotauge), Fische mit schlangenförmigem, im Querschnitt drehrundem Körper (Aal) sowie Kammschupper mit hartstrahligen Flossen (Flussbarsch). Der Flussbarsch hat zudem keinen Schwimmblasengang und reagiert deshalb empfindlicher auf abrupte Druckveränderungen als Arten mit Schwimmblasengang. Bei den ausgewählten Arten handelte es sich um in Bayern einheimische Fischarten, die in den Untersuchungsgewässern auch natürlicherweise vorkommen. Eine Ausnahme stellte hier der Aal dar, welcher im Donaeinzugsgebiet als nicht ursprünglich heimisch anzusehen ist und daher an Standorten im Donaeinzugsgebiet nur nach Abstimmung mit den Fischereiberechtigten und Fischereifachberatungen eingesetzt wurde. Gleichermaßen ist der Huchen im Main-Einzugsgebiet nicht ursprünglich heimisch und wurde bei Anlagen im Main-Einzugsgebiet nicht als Versuchsfisch eingesetzt. Die Fischarten Barbe, Äsche, Huchen und Rotauge wurden nur an Standorten mit innovativen Kraftwerkstechniken verwendet, da für konventionelle Kraftwerksanlagen im Vergleich zu innovativen Anlagen bereits umfangreichere Ergebnisse vorliegen. Um dennoch einen mit gleicher Methodik erhobenen Teildatensatz über alle Untersuchungsstandorte zu erhalten, wurden die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch an allen Anlagen verwendet. Für jede Versuchsgruppe und Fischart wurden 3 x 10³ Fische eingesetzt. Insgesamt wurde der Einsatz von 442.512 Fischen genehmigt.

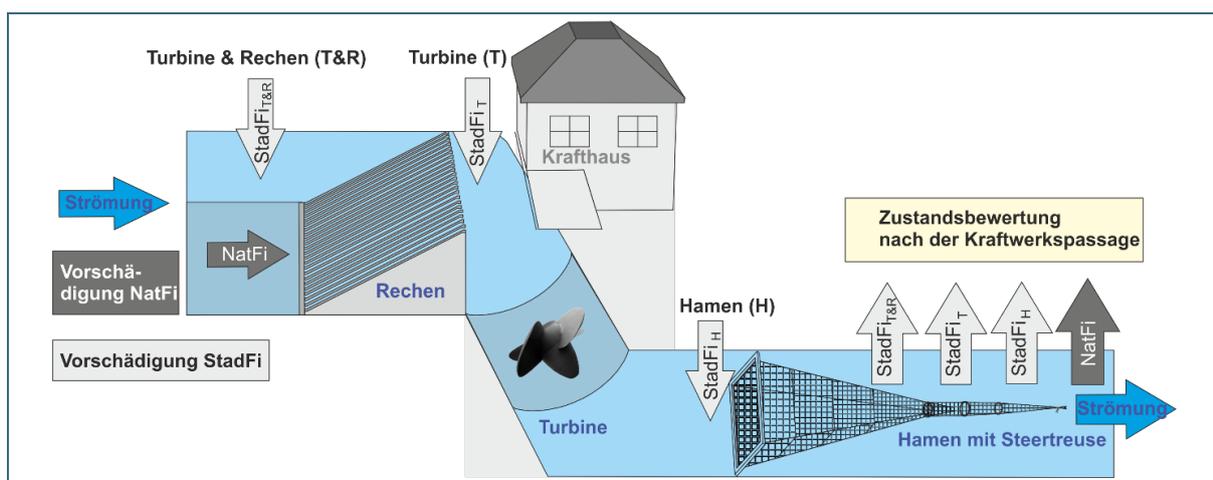


Abb. 10: Schematische Darstellung der verschiedenen Zugabe- und Entnahmestellen für Fische des natürlichen Fischbestands (NatFi) und aus den standardisierten Fischzugaben (StadFi), abgeändert nach Mueller et al. (2017). T&R = Passage der Fische durch Turbine und Rechen bei Fischzugabe oberhalb des Rechens, T = Passage der Fische durch die Turbine bei Fischzugabe zwischen Rechen und Turbine (an den Standorten Eixendorf und Höllthal baulich bedingt nicht möglich), H = Kontrollgruppe an Fischen die nur den Hamen passiert haben

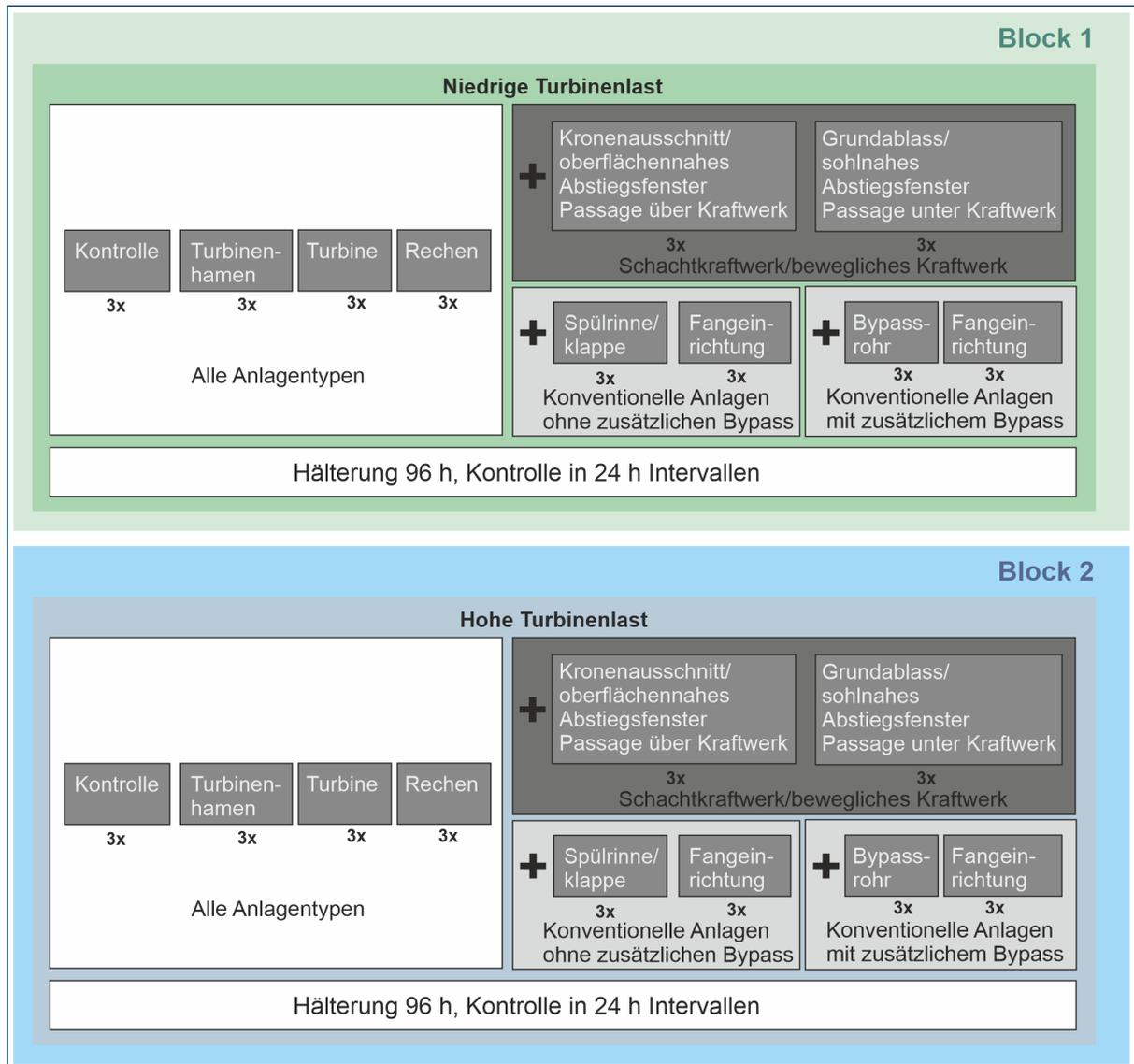


Abb. 11: Schematische Darstellung des Versuchsdesigns für die standardisierten Fischzugaben an den verschiedenen Kraftwerksstandorten. 3x = Durchführung in drei Wiederholungen; Konventionelle Anlagen ohne zusätzlichen Bypass = Anlagen mit Kaplan-Rohrturbine, die neben der Spülklappe und einer Fischaufstiegsanlage mit keinem weiteren Bypass für den Fischabstieg ausgestattet sind (z. B. Anlage Baidersdorf-Wellerstadt); Konventionelle Anlagen mit zusätzlichem Bypass = Anlagen mit Kaplan-Rohrturbine, die neben der Spülklappe und einer Fischaufstiegsanlage mit einem weiteren Bypass für den Fischabstieg (z. B. Aalrohr, Anlage Lindesmühle) ausgestattet sind; Block 1–2 = zu einem Versuchsblock gruppierte Versuchsdurchgänge, die jeweils in einem Zeitraum von wenigen Tagen bis Wochen durchgeführt werden

5.4 Erfassen äußerlich sichtbarer Verletzungen

Zum Erfassen der äußerlich sichtbaren Verletzungen wurde ein Protokollblatt entwickelt. Mit diesem konnte für jeden Fisch ein Verletzungsmuster bestehend aus 86 Kombinationen von Körperteilen und Verletzungstypen und fünf allgemeinen Gesundheitskriterien aufgenommen werden (Mueller et al. 2017; Abb. 12). Diese detaillierte Aufnahme ermöglichte Rückschlüsse darauf, welche physikalischen Bedingungen, die der Fisch während der Turbinenpassage erlebt (z. B. Druckunterschiede, Kollisionen oder Scherkräfte) für die Verletzungen verantwortlich sind. Somit konnten für die untersuchten Wasserkraftanlagen Empfehlungen zur Verringerung der Verletzungen gegeben werden.

Zur Dokumentation der einzelnen Verletzungen wurde der Körper des Fisches in Kopf, Augen, Kiemendeckel, vorderen und hinteren Bereich des Körpers (Trennlinie zwischen vorne und hinten am After), dorsal (Rückenseite), ventral (Bauchseite), Rückenflosse, Schwanzflosse, Afterflosse, Bauchflossen, Brustflossen sowie linke und rechte Körperhälfte eingeteilt. Folgende Verletzungstypen wurden am Fisch bewertet: Schuppenverluste, Pigmentveränderungen, Hautverletzungen, Einrisse der Flossen, Gasblasen, Quetschungen, Einblutungen, Amputationen sowie Verletzungen des Rückgrats. Die möglichen Kombinationen aus Körperteilen und Verletzungen sind auf dem Protokollblatt in einer Tabelle zusammengefasst, in der die Intensität der jeweiligen Verletzungen an den einzelnen Körperteilen in vier Kategorien eingetragen werden kann: 0 = keine Verletzung, 1 = leichte Verletzungsintensität, 3 = mittlere Verletzungsintensität, 5 = hohe Verletzungsintensität. Zur Einschätzung der Intensität wurde eine detaillierte Erläuterung entwickelt (vergleiche Mueller et al. 2017, Mueller et al. 2022a). Jeder bewertete Fisch erhielt auf dem Protokollblatt eine Fischnummer, welche nur einmal vergeben wurde.

Fischökologisches Monitoring an Wasserkraft-Pilotanlagen (AZ 55.2-1-55-2532-31-15) 

Protokoll „Fischschäden Einzelindividuen“ (für standardisierte Fischzugaben)

Standort: Isar Fangdatum: _____ Fanguhrzeit: _____ Leerungsintervall: 1h anderes: _____

Last: hoch gering mittel Tag: 1 2 Reuse: MT MR1 MR2 MFP

Treatment: oberhalb Rechen Turbine Hamenschädigung Vorschädigung

Fischart: Aal Äsche Bachforelle Barbe Barsch Huchen Nase Rotauge Größe (cm): _____

Allgemeine Kriterien sofort:

Vitalität: 4 3 2 1 0

Atemfrequenz: 4 3 2 1 0

Ernährungszustand: 4 3 2

Verpilzung: 0 1 2 3 4

Parasiten (____): 0 1 2 3 4

Allgemeine Kriterien Hälterungskontrolle:

24h 48h 72h 96h

4 3 2 1 0

4 3 2 1 0

4 3 2

0 1 2 3 4

0 1 2 3 4 (____)

Bearbeiter Hälterungskontrolle: _____

Schadigungsbedingte Kriterien:

	Schuppenverlust	Amputation	Einriss	Einblutung	Que- tschung	Hautver- letzung/ Wunden	Verletzung Rückgrat	Pigment- Veränderung	Gas- blasen
Kopf	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Auge rechts	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Auge links	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kiemendeckel links	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Kiemendeckel rechts	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Körper links vorne	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Körper links hinten	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Körper rechts vorne	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Körper rechts hinten	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Körper dorsal	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Körper ventral	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brustflosse (BrF) rechts	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Brustflosse (BrF) links	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bauchflosse (BF) rechts	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bauchflosse (BF) links	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Afterflosse (AF)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Schwanzflosse (SF)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rückenflosse (RF)	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Eintragen von Verletzungen in den Stufen 0 = keine, 1 = leicht, 3 = mittel, 5 = stark.

sofort: Fisch eingefroren fotografiert gehältert freigelassen

Hälterungskontrolle: Fisch eingefroren fotografiert freigelassen

Rinne: _____ Box: _____

Auswerter: _____ Schreiber: _____

Fisch Nr: *hier Etikett kleben!*

Abb. 12: Protokollblatt zur Dokumentation der äußerlich sichtbaren Verletzungen der Fische

5.5 Erfassen innerer Verletzungen

Zusätzlich zu den äußerlich sichtbaren Verletzungen der Fische wurden auch innere Verletzungen betrachtet. Hierfür wurden anhand einer ausreichend großen Stichprobe Röntgenbilder mittels Kontaktradiographie von den gestorbenen Fischen aus den verschiedenen Versuchs- und Kontrollgruppen sowie von überlebenden Fischen (sofort und nach 96 Stunden Hälterung) aus allen Versuchs- und Kontrollgruppen aufgenommen. Wie bei den äußerlich sichtbaren Verletzungen wurde zur Auswertung der Röntgenbilder ein Protokollblatt entwickelt (Abb. 13, vergleiche Mueller et al. 2020I, Mueller et al. 2022a).

Dazu wurde der innere Fischkörper in die Bereiche Kopf, Rumpf und Schwanz eingeteilt. Zusätzlich wurden die Schwimmblase, das Bindegewebe, die Leibeshöhle und verschiedene Skeletteile (Hals-, Rumpf- und Schwanzwirbelsäule, Dornfortsätze und Rippen) unterschieden. Folgende Verletzungstypen wurden erfasst: Frakturen der knöchernen Elemente, Verformungen beziehungsweise S-Kurven der Wirbelsäule, Stauchungen der Wirbelsäule, Kompressionen der Schwimmblase, Expansionen der Schwimmblase, Gasblasen, Flüssigkeitsansammlungen und Einlagerung von röntgendichtem Material. Die Intensität der Verletzungen wurde ebenfalls in den Stufen 0 = keine Verletzung, 1 = leichte Verletzungsintensität, 3 = mittlere Verletzungsintensität, 5 = hohe Verletzungsintensität klassifiziert.

Fischökologisches Monitoring an Wasserkraft-Pilotanlagen
(AZ 55.2-1-55-2532-31-15)



Lehrstuhl für
Aquatische Systembiologie

Protokoll Innere Schädigungen (für standardisierte Fischzugaben)

Beprobungsort: _____ **Röntgendatum:** _____ **Einstellung:** ____ kV ____ Sek.

Fischart: Bachforelle Nase Äsche Huchen Aal Barbe Barsch Rotauge

Fischnummer: _____

Eis geschnitten

	Fraktur	Verformung/ S-Kurve	Stauchung	Füllung Schwimmblase	Gas- blase	Flüssigkeits- ansammlung	Röntgendichtes Material
Kopf Skelett							
Kopf Bindegewebe							
Auge							
Halswirbelsäule							
Dornfortsatz Halswirbelsäule							
Rumpfwirbelsäule							
Dornfortsatz Rumpfwirbelsäule							
Rippen							
Flossenstrahlträger							
Rumpf Leibeshöhle							
Rumpf Bindegewebe							
Schwimmblase							
Schwanzwirbelsäule							
Dornfortsatz Schwanzwirbelsäule							
Schwanzbereich Bindegewebe							

Auswerter: _____ **Datum:** _____

Abb. 13: Protokollblatt zur Dokumentation der inneren Verletzungen der Fische

5.6 Erfassen verzögerter Mortalität

Die verzögerte Mortalität von Fischen nach der Passage der Wasserkraftanlage wurde ebenfalls erfasst. Dafür wurden die Fische getrennt nach Arten und Versuchsgruppen in wassergefüllten Becken gehalten (vergleiche Abb. 14 und Abb. 15). Die Hälterung der Fische dauerte 72 Stunden beim natürlichen Fischabstieg und 96 Stunden bei den standardisierten Fischzugaben. Täglich wurden die Fische sowie die Sauerstoffkonzentration, die Temperatur, der pH-Wert und die Leitfähigkeit des Wassers in den Becken kontrolliert. Tote Fische wurden entnommen, anhand der Fischnummer auf dem Protokollblatt identifiziert und der Todeszeitpunkt auf dem Protokollblatt vermerkt. Anschließend wurden tote Fische für die Ermittlung der inneren Verletzungen mittels Röntgenanalyse eingefroren. Die überlebenden Fische wurden in der Regel nach Rücksprache mit den Fischereiberechtigten und gegebenenfalls mit der zuständigen Fischereifachberatung im Untersuchungsgewässer freigelassen.

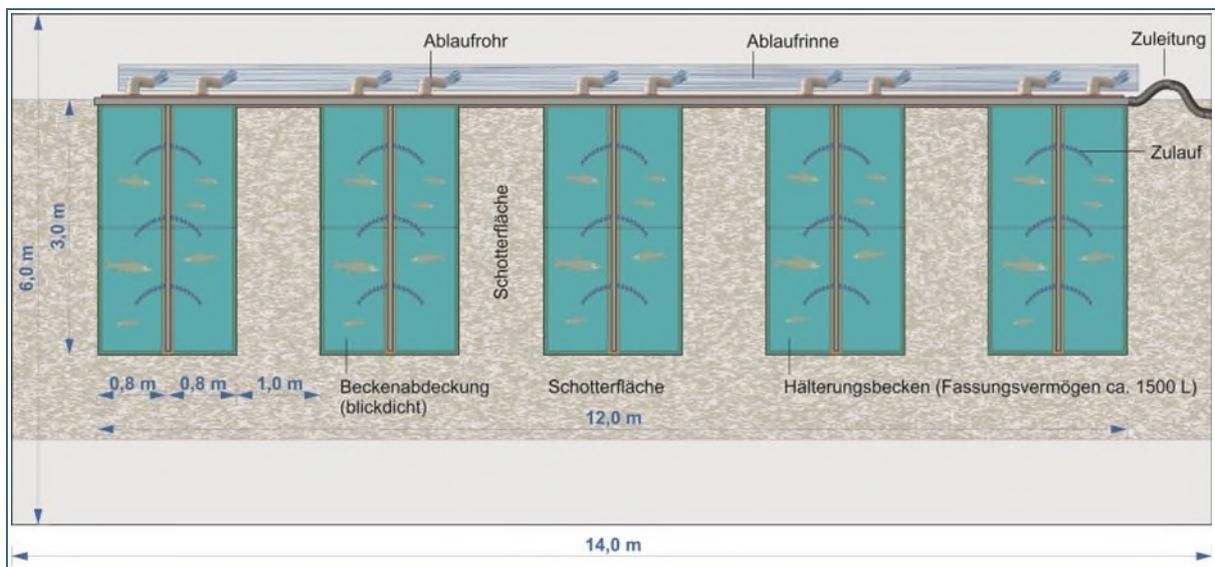


Abb. 14: Schematische Darstellung eines Hälterungssystems am Beispiel von zehn Langstromrinnen. Die Wasserversorgung erfolgt über eine Pumpe aus dem Untersuchungsgewässer. Die Ablaufrinne führt das Wasser nach Durchfluss der Langstromrinnen wieder zurück ins Gewässer.

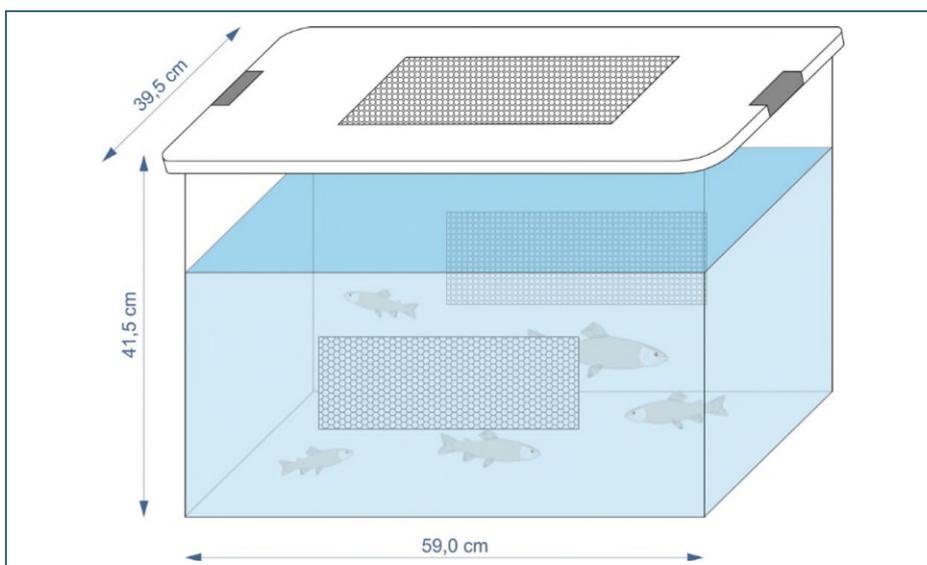


Abb. 15: Schematische Darstellung eines Hälterungseinsatzes zur Bildung von Kompartimenten für die separate Haltung der Fische einzelner Versuchsdurchgänge

5.7 Messung abiotischer Gewässerparameter

Abiotische Gewässerparameter, wie Sauerstoffkonzentration, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit und Trübung wurden während den Untersuchungsperioden mit Hamenbefischungen (natürlicher Fischabstieg und standardisierte Fischzugaben) dreimal täglich erfasst. Dies diente unter anderem dazu, auslösende Faktoren für die Fischwanderungen des natürlichen Bestandes zu ermitteln. Außerdem konnten somit sich gegebenenfalls während der Untersuchungen ändernde Umweltbedingungen (insbesondere Strömungsgeschwindigkeiten und Treibgutmenge) und deren mögliche Auswirkungen auf den Fang und die Schädigung der Fische dokumentiert werden.

Ebenfalls dreimal täglich wurden die Strömungsgeschwindigkeiten am Rechen in vier Spuren verteilt auf die gesamte Rechenbreite gemessen und zwar jeweils an der Rechenbasis, der Rechenmitte und zehn Zentimeter unter der Wasseroberfläche. An der horizontalen Rechenebene des Schachtkraftwerks am Standort Großweil wurden die Strömungsgeschwindigkeiten am Rechen ebenfalls in vier Spuren verteilt auf die gesamte Rechenbreite gemessen, wobei pro Spur jeweils eine Messung am oberstromigen Ende, mittig und am unterstromigen Ende des Rechens erfolgte (= 12 Messwerte pro Durchgang). Im Unterwasser wurden außerdem dreimal täglich an jeder Fangeinrichtung jeweils drei Strömungswerte am Hameneingang aufgenommen sowie drei Werte über der überströmten Reuse. Zusätzlich wurde nach jeder Netzleerung das Volumen der gefangenen Treibgutmenge in Liter notiert. Darüber hinaus wurden während der standardisierten Fischzugaben stündlich und während der Untersuchungen zum natürlichen Fischabstieg dreimal täglich Leistung, Drehzahl der Turbine, Durchflussmenge sowie Stellung der Leitschaufeln und des Leitapparats notiert.

5.8 Messung abiotischer Parameter mittels Sensorfisch

Mithilfe eines autonomen Messgeräts, das Sensorfisch genannt wird, konnten die physikalischen Bedingungen gemessen werden, welche die Fische während der Turbinenpassage und der Passage alternativer Abstiegskorridore erfahren. Die Sensoren in diesem 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. Aus den Messungen ließen sich Ereignisse wie Druckabfälle, Kollisionen, Scherspannung und starke Turbulenzen identifizieren. Die Sensoren wurden, mit Ausnahme des Schachtkraftwerks, wo die Zugabe direkt in den Turbinenschacht erfolgte, direkt vor jeder Turbine in das Oberwasser eingesetzt. Zudem wurden die alternativen Abstiegskorridore in Eixendorf (oberflächennahes Abstiegswindow mit Fischrutsche), Großweil (oberflächen- und sohlnahes Abstiegswindow, angehobenes Segmentschütz, Klappenwehr mit anschließender rauen Rampe) und Baierbrunn (raue Rampe) untersucht. Mittels Funksender und aufblasbarem Auftriebskörper konnten die Sensorfische nach der Turbinenpassage beziehungsweise der Passage der alternativen Abstiegskorridore im Unterwasser wieder geborgen werden.

Die Untersuchungen an den beiden VLH-Turbinen an der Iller, der Wasserkraftschnecke am Heckerwehr und der Kaplan-Rohrturbine in Baiersdorf-Wellerstadt wurden in Kooperation mit Wissenschaftlern vom Port Stephens Fisheries Institute, New South Wales Department of Industry, Australien durchgeführt (Dr. Craig Boys, Dr. Brett Pflugrath; Boys et al. 2018). Im Rahmen des Ergänzungsprojekts wurden zusätzliche Sensorfisch-Untersuchungen am VLH-Standort in Baierbrunn, am Schachtkraftwerk in Großweil, an der Kaplan-Rohrturbine und den Wasserkraftschnecken in Höllthal sowie am beweglichen Kraftwerk in Eixendorf durchgeführt.

5.9 Sonaruntersuchungen zum Fischverhalten an Wasserkraftanlagen

Das Verhalten der Fische vor den Wasserkraftanlagen, insbesondere vor den Rechen und Abstiegskorridoren, wurde mithilfe eines Sonargerätes beobachtet. Die Sonartechnik ist für die Erfassung von Fischbewegungen vor Wasserkraftanlagen besonders gut geeignet, da sie unabhängig von Wassertrübung, Lichtverhältnissen sowie Wassertiefen bis 300 m arbeitet (vergleiche Egg et al. 2018). In diesem Projekt wurde ein hochfrequentes Multibeam Sonar verwendet, das ARIS Explorer 3000. Dieses arbeitet mit 128 Schallimpulsen, mit einem horizontalen Winkel von jeweils $0,25^\circ$ und einem vertikalen Winkel von 14° . Damit ist es möglich, einen Kegel von maximal 20 m Länge und einen Winkel von 28° zu erzeugen. Das Gerät erzeugt Videos annähernd in Echtzeit bei maximal 15 Bildern pro Sekunde. Das Gerät war mit einem frei beweglichen Rotatorarm (ARIS Rotator AR2) ausgestattet, welcher feine Justierungen des Winkels und Bildausschnittes zulässt. Am Rotatorarm befestigt konnte der ARIS Explorer 3000 an verschiedenen stationär verankerten oder schwimmenden Modulen im Kraftwerksbereich eingesetzt werden. Erkenntnisse aus Verhaltensuntersuchungen von Fischen vor einer Kraftwerkspassage bergen erhebliches Potenzial zur fischverträglicheren Optimierung der Anlagen (Egg et al. 2017).

5.10 Datenanalyse und Statistik im Projektteil A

Für die Berechnung der Mortalitätsraten wurden verschiedene mögliche Rechenwege in Betracht gezogen. Die fischartenspezifischen und die fischartenübergreifenden Mortalitätsraten wurden als Anteil der toten Individuen am Gesamtfang oder als Mittelwerte aus den Mortalitätsraten der einzelnen Lastzustände beziehungsweise Fischarten berechnet. Bei der Berechnung der Mortalitätsraten wurde die Summe sofort und verzögert nach 96 Stunden Hälterung gestorbener Fische berücksichtigt. Bei allen Rechenwegen erfolgte eine Korrektur um die Mortalitätsrate der Versuchsgruppe „Hamen“ (= Kontrolle). Die resultierenden Mortalitätsraten wurden in Diagrammen als Szenarien dargestellt.

Es kamen verschiedene statistische Verfahren zum Einsatz. Dabei handelte es sich um Poweranalysen zur Fallzahlermittlung für die Tierversuche sowie uni- und multivariate Verfahren zur Auswertung der Abstiegszahlen, Funktionalität der Korridore, Mortalitätsraten und Verletzungsmuster (vergleiche Mueller et al. 2022a & c).

6 Methoden im Projektteil B

Im Projektteil B „Ökologische Auswirkungen“ wurden die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft sowie abiotische Gewässerparameter im Ober- und Unterwasser der Wasserkraftanlagen verglichen. Dadurch können Veränderungen der Artenzusammensetzung und der Lebensräume erfasst werden. Mit den Untersuchungen sollten jahreszeitliche Veränderungen berücksichtigt werden, ebenso wie Vorher-Nachher Betrachtungen bei neu errichteten Anlagen.

Querbauwerke schränken die Durchwanderbarkeit eines Gewässers ein und beeinflussen abiotische Bedingungen wie die Strömungsgeschwindigkeiten und die Substratzusammensetzung. Durch den Einbau von Turbinen in bestehende Querbauwerke verändern sich diese Bedingungen. Die aquatische Lebensgemeinschaft wird von diesen veränderten abiotischen Bedingungen beeinflusst.

Um diese Lebensraumveränderungen vor und nach dem Umbau beziehungsweise die Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums (serielle Diskontinuität) zu charakterisieren und zu quantifizieren, wurden die Abschnitte im unmittelbaren Ober- und Unterwasser mittels eines systematischen Probenahmedesigns untersucht (Mueller et al. 2011; Abb. 16). Dabei wurde das Ober- und Unterwasser in mehrere Längsspuren eingeteilt, in denen einzelne Untersuchungsstrecken zu je 30 m Länge verteilt lagen. In jeder Untersuchungsstrecke wurden jeweils die gleichen Untersuchungen durchgeführt. Ein Vergleich der Ergebnisse vor und nach dem Kraftwerksbau sollte zeigen, ob und in welchem Ausmaß ökologische Veränderungen stattfanden (Abb. 17). Um die einzelnen Untersuchungsstrecken an den Standorten aussagekräftig zu beschreiben, wurden biotische und abiotische Parameter untersucht. Zu den biotischen Parametern zählen die Fische, das Makrozoobenthos, die Makrophyten und das Periphyton. Zu den abiotischen Parametern zählen die Substratzusammensetzung, die Gewässermorphologie und der Wasserchemismus (z. B. das Redoxpotential) in der freien Welle und im Porenwasser des Kieslückensystems (Interstitial). Die Untersuchungen fanden zu unterschiedlichen Jahreszeiten statt, soweit möglich saisonal im Frühjahr und im Herbst sowie vor und nach dem Kraftwerksbau.

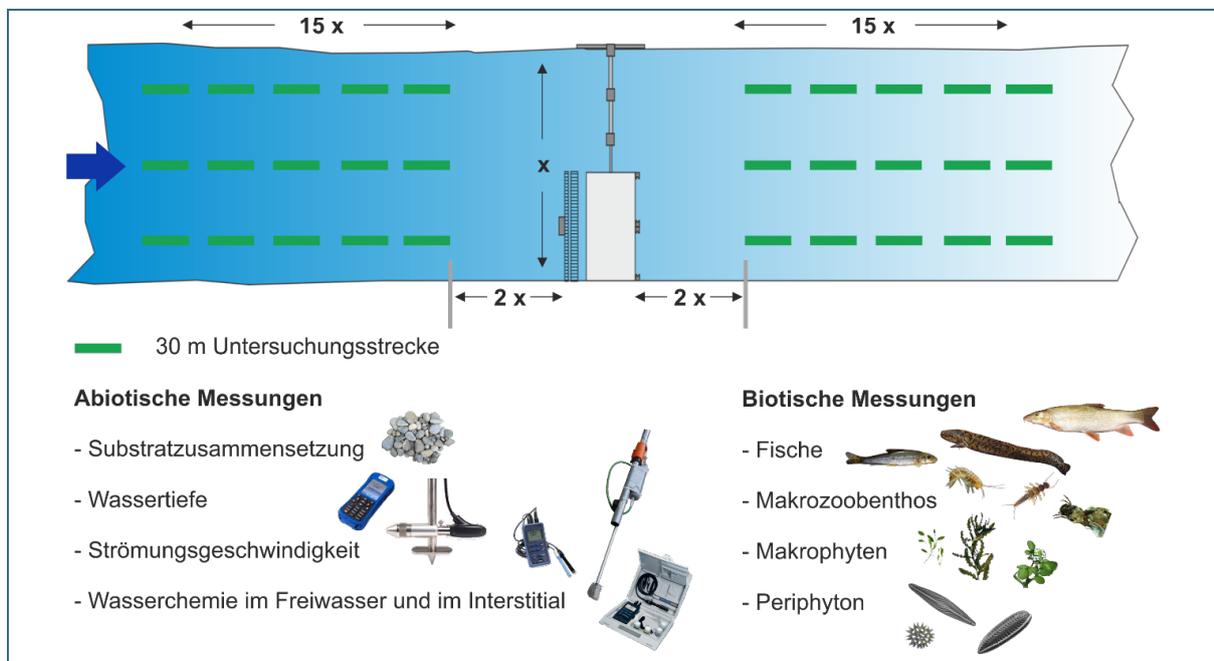


Abb. 16: Untersuchungsdesign zu den Habitatuntersuchungen im Projektteil B. Die genannten abiotischen und biotischen Messungen werden in jeder der 30 m langen Untersuchungsstrecken durchgeführt (x = Gewässerbreite, $2x$ = Sicherheitsabstand zum Wehr, entspricht der zweifachen Gewässerbreite, $15x$ = Länge der gesamten Untersuchungsstrecke im Ober- und Unterwasser, entspricht der 15-fachen Gewässerbreite)

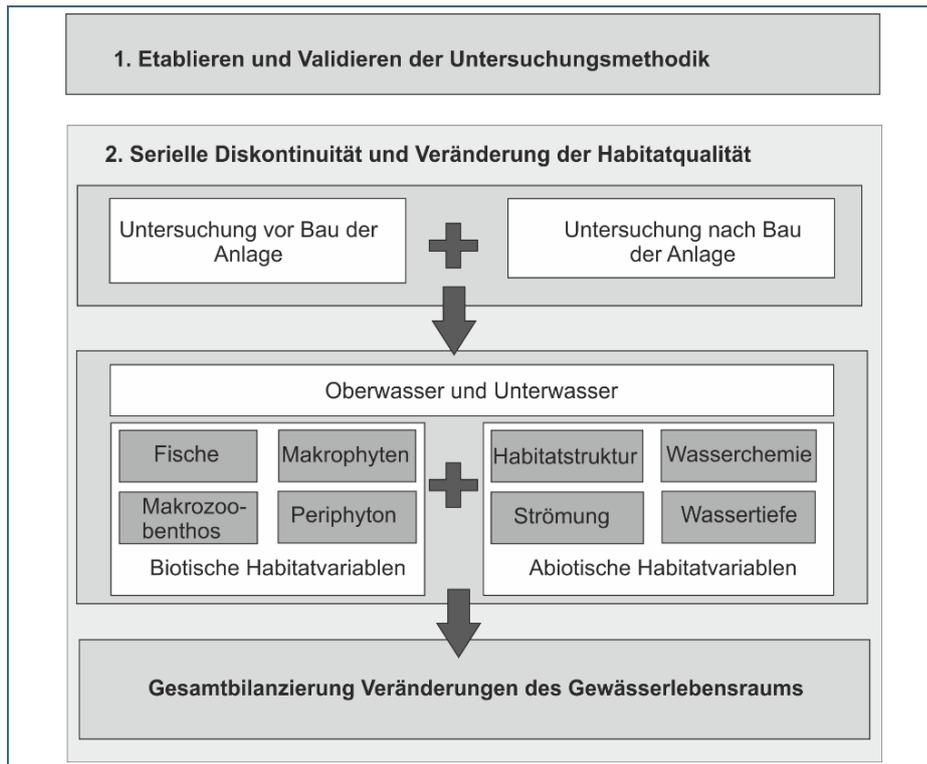


Abb. 17: Schematische Darstellung der Untersuchungen in Projektteil B. Serielle Diskontinuität bedeutet Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums durch das Wehr.

6.1 Biotische Parameter – Aquatische Lebensgemeinschaft

Fische

Fischartengemeinschaften sind in besonderem Maße durch Querbauwerke und die Wasserkraftnutzung betroffen. Durch die eingeschränkten Wandermöglichkeiten sind verschiedene Teilhabitate im Lebenszyklus der Fische wie z. B. Laichplätze im Oberlauf schlechter erreichbar. Zudem können sie beim Abstieg an Wasserkraftanlagen geschädigt werden. Durch die Verlangsamung und Vereinheitlichung der Strömungsgeschwindigkeiten im Umfeld von Querbauwerken sind weniger vielfältige Habitate vorhanden. Da Fische sich häufig von anderen Gewässerlebewesen ernähren, werden sie auch von Effekten auf diese Organismengruppen beeinflusst. Für die Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Wasserkraftanlagen sind die Ergebnisse der Fischbestandserhebungen im Ober- und Unterwasser der Kraftwerke daher sehr wichtig. Jede Untersuchungsstrecke von 30 m Länge wurde vom Boot aus, oder bei geringer Tiefe im Wasser watend, mit einem mobilen Elektrofischfanggerät, einer Anode und einem Kescher befishet (Pander & Geist 2010). Die gefangenen Fische wurden gemessen und auf Artniveau bestimmt. An Standorten mit Stillwassercharakter (wie dem Eixendorfer See) wurden zusätzlich Multi-Maschen Kiemennetze im Ober- und Unterwasser verwendet.

Makrozoobenthos

Querbauwerke und Wasserkraftnutzung beeinflussen die vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten und die Substratbeschaffenheit und haben damit auch einen starken Einfluss auf die Makrozoobenthosgemeinschaft (am Gewässergrund lebende wirbellose Kleintiere). Weiterhin spielt das Makrozoobenthos zum einen als Hauptnahrungsquelle für viele Fischarten und zum anderen als Hauptkonsument der pflanzlichen Biomasse, insbesondere des Periphytons, eine bedeutende Rolle im Nahrungsnetz der Fließgewässer.

Daher wird auch das Makrozoobenthos im vorliegenden Projekt zur Bewertung der ökologischen Auswirkungen der Wasserkraftanlagen herangezogen. Das Makrozoobenthos wurde in jeder Untersuchungsstrecke mit einem um einen Metallrahmen befestigten Netzbeutel (Surber-Sampler) an fünf repräsentativen Stellen von je 0,09 m² Größe beprobt. Die gesammelten Individuen wurden als Sammelprobe in einer 1-Liter-Weithalsflasche mit 50-prozentigem Ethanol konserviert. Alle Proben wurden im Labor gewaschen, auf Ordnungsniveau vorsortiert und bis zur Bestimmung in 50-prozentigem Ethanol aufbewahrt. Anschließend erfolgte die Bestimmung mittels Binokular und Mikroskop soweit möglich auf Artniveau.

Makrophyten

Auch Makrophyten (Wasserpflanzen) werden durch Strömungsverhältnisse und Substratbeschaffenheit stark beeinflusst. In strömungsberuhigten und feinsedimenthaltigen Staubereichen vor Querbauwerken kann es beispielsweise zu einem verstärkten Auftreten von bestimmten Makrophytenarten kommen, während diese im Unterwasser fehlen. Weiterhin wirken Makrophyten als Strukturgeber für Fische und Makrozoobenthos und stellen damit eine wichtige Lebensraumkomponente dar. In jeder Untersuchungsstrecke wurde die Gesamtdeckung der Makrophyten in 5-Prozent-Schritten geschätzt. Anschließend wurden die Deckungsgrade der einzelnen Makrophytenarten in gleicher Weise erhoben. Die Bestimmung der Arten erfolgte soweit möglich im Feld, schwer zu bestimmende Arten wurden im Labor nachbestimmt. Nicht an allen Standorten waren Makrophyten in ausreichender Zahl und Menge für eine Auswertung vorhanden.

Periphyton

Auswirkungen von Querbauwerken und Wasserkraftnutzung auf das Periphyton (Aufwuchsalgen am Gewässergrund) sind durch Unterschiede in der Wassertiefe (durch die Lichtabhängigkeit) sowie von Strömungsgeschwindigkeiten und Substratbeschaffenheit zu erwarten. In jeder Untersuchungsstrecke wurden von fünf Hartsubstraten (Steine oder Totholz) jeweils 4 cm² Periphyton (insgesamt 20 cm²) gewonnen und in Probenflaschen mit vorgelegter Fixierlösung zu einer Sammelprobe gewaschen. Im Labor wurden mit dem Umkehrmikroskop bei 400-facher Vergrößerung die Zellzahl und soweit möglich die Art, Gattung oder Familie bestimmt.

6.2 Abiotische Parameter

Substratkartierung mittels Side-imaging-Sonar

Für die Kartierung des Substrats am Gewässergrund wurden die Gewässerabschnitte mit einem motorisierten Boot, an dem ein Side Sonar (199ci HD SI Combo, Humminbird, USA) befestigt war, in Fließrichtung abgefahren. Mit diesem Sonargerät war es möglich, ein 180°-Sichtfeld unter Wasser abzudecken und eine flächendeckende Abbildung des Gewässergrundes zu erhalten. Die Reichweite des Sonars wurde je nach Gewässerbreite zwischen 5 m und 25 m beidseitig des Bootes gewählt. In Gewässern mit mehr als 50 m Breite wurden die Sonardaten in mehreren Spuren aufgenommen. Die aufgenommenen Videodateien wurden georeferenziert (Software: SonarTRX-SI). Ausgehend von den georeferenzierten Sonarbildern wurden in ArcGIS die verschiedenen Habitattypen abgegrenzt und die jeweiligen Flächenanteile berechnet. Aus dem Vorher-Nachher-Vergleich können dadurch Veränderungen der Flächenanteile verschiedener Habitattypen quantifiziert werden.

Physikalische und chemische Habitateigenschaften

Durch den Einbau von Turbinen in bestehende Querbauwerke oder den Neubau von Querbauwerken werden physikalische und chemische Habitateigenschaften des Fließgewässers verändert. In diesem Zusammenhang verändert sich möglicherweise auch der Wasseraustausch zwischen dem Freiwasser des Flusses und dem Kieslückensystem. Dieser Wasseraustausch ist für viele Fließgewässerarten wie z. B. kieslaichende Fische wesentlich, um geeignete chemische Bedingungen im Kieslückensystem für die Entwicklung der Fischeier aufrecht zu erhalten. Daher wurden in jeder Untersuchungsstrecke die wasserchemischen Eigenschaften im Porenwasser des Kieslückensystems und in der freien Welle (Sauerstoffkonzentration, Temperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Redoxpotential) bestimmt und für jeden Parameter und jede Messstelle die Differenz der Werte zwischen Freiwasser und Kieslückensystem berechnet. Zusätzlich wurde die Korngrößenverteilung des Substrats ermittelt. Dazu wurden Substratproben mit einem Sedimentbohrer oder einem Kiesschlitten entnommen. Außerdem wurde in jeder Untersuchungsstrecke die Strömungsgeschwindigkeit 5 cm über Grund und 5 cm unter der Wasseroberfläche sowie die Wassertiefe gemessen.

6.3 Datenanalyse und Statistik im Projektteil B

Im Projektteil B kamen verschiedene univariate und multivariate statistische Verfahren zum Einsatz. Um den Einfluss der Kraftwerksanlagen auf einzelne Parameter zu prüfen wurden univariate Verfahren verwendet (z. B. Varianzanalysen zum Vergleich von Artenzahl und Individuenzahl). Um die Effekte bezüglich aller erhobenen biotischen und abiotischen Parameter integrativ zu erfassen, wurden multivariate Methoden verwendet (z. B. ANOSIM). Dazu erfolgte eine integrative Auswertung über alle taxonomischen Gruppen hinweg (Mueller et al. 2014). Diese Auswertung erlaubt es, die durch das untersuchte Kraftwerk beziehungsweise Querbauwerk verursachten Veränderungen auf Ebene des Ökosystems zu bewerten (Ecosystem Approach, Mueller & Geist 2016).

7 Grenzen des Projekts

Für das Projekt wurden sehr umfangreiche Untersuchungen zur fischökologischen Verträglichkeit von innovativen und konventionellen Wasserkrafttechnologien durchgeführt. Dennoch hat auch die Projektdurchführung an sich Grenzen. Das Gleiche gilt für die Aussagefähigkeit der im Projekt erzielten Ergebnisse. Zudem gibt es verschiedene Einschränkungen, deren Kenntnis wichtig für die Interpretation dieser Ergebnisse ist.

Bei den Ergebnissen ist grundsätzlich zu beachten, dass standortspezifische Faktoren wie z. B. die Durchflussmenge oder die Fallhöhe und bauliche Details zu stark unterschiedlichen Effekten auf Fische bei gleicher Kraftwerkstechnologie führen können. Nicht für alle Anlagentypen war es möglich, im Rahmen dieses Projekts mehrere Standorte zu untersuchen. Inwieweit die Ergebnisse von den untersuchten Standorten bayernweit oder darüber hinaus übertragbar sind, ist derzeit offen. Darüber hinaus konnten Hochwasserszenarien, bei denen eine größere Anzahl an Fischen flussabwärts verdriftet werden, aufgrund der technischen Grenzen der Befischung mit Netzen nicht oder nur eingeschränkt auf kleine Hochwasserereignisse untersucht werden.

Bei der Bewertung des natürlichen Fischabstiegs gibt es verschiedene weitere Einschränkungen, die aufgrund der technischen Grenzen nur schwer eliminiert werden können. Dies betrifft zum einen die Mortalitäts- und Verletzungsraten, die aufgrund der nicht genau erfassbaren Vorschädigungen der Fische nur eingeschränkt interpretierbar sind. Da nicht alle natürlich vorkommenden Fischarten in den standardisierten Versuchen verwendet werden können, liefert die Untersuchung der Mortalität beim natürlichen Fischabstieg für die übrigen Arten zumindest einen Anhaltspunkt. Hier ist allerdings zu berücksichtigen, dass manche Arten nicht während der Untersuchungszeiträume wandern oder verdriftet werden. Außerdem wird die Bewertung des natürlichen Fischabstiegs dadurch erschwert, dass die Anzahl der tatsächlich abwanderwilligen Fische im Oberwasser der Anlagen nicht bekannt ist. Eine weitere Schwierigkeit bei der Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs ist, dass je nach standortspezifischen Strömungsverhältnissen am Turbinenauslauf an manchen Standorten ein Einschwimmen von einzelnen Fischen oder ganzen Fischschwärmen aus dem Unterwasser durch die Maschen am Hamen möglich ist (v. a. beobachtet am Standort Eixendorf). Dies kann zu einer Überschätzung des Anteils an vitalen Fischen führen. Es gibt keine Möglichkeit, diese Fische quantitativ von den beim natürlichen Fischabstieg durch die Turbine abgestiegenen oder verdrifteten Fischen zu differenzieren. Dies führt bei der Bewertung der Mortalität zu Problemen. Auch bei der Bewertung der Nutzung verschiedener Abstiegskorridore mussten derartige Beobachtungen berücksichtigt werden. Weiterhin können bestimmte standörtliche Gegebenheiten (z. B. starke Dominanz einer Fischart im natürlichen Fischabstieg und großer Höhenunterschied von 1,6–2,2 m zwischen Gewässersohle und Rechenebene am Standort Großweil) dafür ausschlaggebend sein, dass die Korridornutzung des natürlichen Fischabstiegs nur bedingt aussagekräftig ist. Für die Beurteilung der Korridornutzung wurden daher an den Standorten Eixendorf und Großweil die Ergebnisse der standardisierten Fischzugaben verwendet.

Es wurden Versuchsfische aus acht Arten verwendet. Das eingesetzte Größenspektrum war aufgrund der Verfügbarkeit aus Fischzuchten teilweise eingeschränkt. Einige der schwer erhältlichen Fischarten wurden seit dem Jahr 2015 speziell für das Projekt am LfU vermehrt (z. B. Nase und Barbe). Größere Fische dieser Arten standen daher erst nach längerer Projektdauer zur Verfügung.

Zu Beginn des Projekts und damit auch bei der Planung der Versuchsfischzahlen gab es nur sehr wenige Erfahrungen darüber, wie hoch der Wiederfang der Versuchsfische in den Hamennetzen ausfallen kann. Die einzigen verfügbaren Orientierungswerte stammten aus Untersuchungen, bei denen Fische direkt mithilfe von Rohren auf die Turbinen zugegeben wurden und nur eine sehr geringe Wahrscheinlichkeit einer Flucht ins Oberwasser bestand. Im vorliegenden Projekt wurde bewusst auf eine

Zugabe der Fische mithilfe von Rohren oder auf ein Scheuchen der Fische in das Kraftwerk verzichtet, um ein möglichst naturnahes Schwimmverhalten zu erreichen. Dafür musste allerdings in Kauf genommen werden, dass die Fische die Möglichkeit hatten, ins Oberwasser zu fliehen. Der Anteil an Fischen, die nicht im Hamen wiedergefangen werden konnten, variierte sehr stark zwischen den Fischarten und den Untersuchungsgewässern. Dadurch ergaben sich je nach Standort und Fischart stark unterschiedliche Wiederfangraten. Diese Unterschiede mussten beim Vergleich und der Interpretation der Mortalitätsraten berücksichtigt werden, da über den Verbleib und den Zustand der nicht wiedergefangenen Fische keine Aussagen gemacht werden konnten. Die Mortalitätsraten wurden daher nur in Bezug auf die tatsächlich wiedergefangenen Individuen berechnet. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Auswirkungen der Wasserkraftanlagen auf die Fischpopulationen im Sinne des Populationschutzes nach §35 WHG in diesem Projekt nicht untersucht wurden.

8 Literatur

- Boys, C., Pflugrath, B., Mueller, M., Pander, J., Deng, Z. & Geist, J. (2018): Physical and hydraulic forces experienced by fish passing through three different low-head hydropower turbines. *Marine and Freshwater Research* 69: 1934–1944.
- Egg, L., Mueller, M., Pander, J., Knott, J., & Geist, J. (2017): Improving European silver eel (*Anguilla anguilla*) downstream migration by undershot sluice gate management at a small-scale hydropower plant. *Ecological Engineering* 106: 349–357.
- Egg, L., Pander, J., Mueller, M., & Geist, J. (2018): Comparison of sonar-, camera- and net-based methods in detecting riverine fish-movement patterns. *Marine and Freshwater Research* 69: 1905–1912.
- Mueller, M., Pander, J. & Geist, J. (2011): The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *Journal of Applied Ecology* 48: 1450–1461.
- Mueller, M., Pander, J. & Geist, J. (2014): A new tool for assessment and monitoring of community and ecosystem change based on multivariate abundance data integration from different taxonomic groups. *Environmental Systems Research* 3: 12.
- Mueller, M. & Geist, J. (2016): Conceptual guidelines for the implementation of the ecosystem approach in biodiversity monitoring. *Ecosphere* 7(5): e01305.
- Mueller, M., Pander, J. & Geist, J. (2017): Evaluation of external fish injury caused by hydropower plants based on a novel field-based protocol. *Fisheries Management and Ecology* 24: 240–255.
- Mueller, M., Sternecker, K., Milz, S. & Geist, J. (2020): Assessing turbine passage effects on internal fish injury and delayed mortality using X-ray imaging. *PeerJ* 8: e9977.
- Mueller, M., Knott, J., Egg, L., Bierschenk, B., Pander, J. & Geist, J. (2022a): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 1 Hintergrund und Methoden. Abschlussbericht, 2. aktualisierte Auflage 2022. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 191 Seiten.
- Mueller, M., Knott, J., Pander, J. & Geist, J. (2022c): Experimental comparison of fish mortality and injuries at innovative and conventional small hydropower plants. *Journal of Applied Ecology*, online early. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14236>.
- Pander, J. & Geist, J. (2010): Seasonal and spatial bank habitat use by fish in highly altered rivers – a comparison of four different restoration measures. *Ecology of Freshwater Fish* 19: 127–138.
- Pander, J., Mueller, M., Knott, J. & Geist, J. (2018): Catch-related fish injury and catch efficiency of stow-net-based fish recovery installations for fish-monitoring at hydropower plants. *Fisheries Management and Ecology* 25: 31–43.



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

