



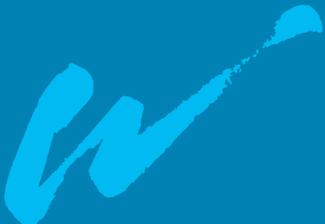
# Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020

Band 3: Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz



wasser







# **Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen**

**Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020**

**Band 3: Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz**

## Impressum

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen  
Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020 Band 3: Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz

### Herausgeber:

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

### Bearbeitung:

Dr. Melanie Mueller, Josef Knott, 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  
E-Mail: [aquasys@tum.de](mailto:aquasys@tum.de)  
Internet: [www.fisch.wzw.tum.de](http://www.fisch.wzw.tum.de)

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

### Bildnachweis:

Titelbild, Abbildungen 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9 und 10: Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie/TUM  
Abbildung 3: abgeändert nach MUELLER ET AL. (2017)  
Abbildung 8: Bayerische Vermessungsverwaltung (Luftbild) und Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie/TUM

### Stand:

Juli 2020

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 Wahlwerbenden 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. 089 12 22 20 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto: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

<b>1</b>	<b>Untersuchungsstandort Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>6</b>
2.1	Fischabstieg, Fischeschäden und Fischverhalten (Projektteil A)	6
2.1.1	Fischabstieg und Fischeschäden	6
2.1.2	Physikalische Bedingungen bei der Turbinenpassage	8
2.1.3	Fischverhalten	8
2.2	Ökologische Auswirkungen auf die aquatische Lebensgemeinschaft (Projektteil B)	8
<b>3</b>	<b>Ergebnisse &amp; Diskussion</b>	<b>11</b>
3.1	Erkenntnisse zu Fischabstieg, Fischeschäden und Fischverhalten (Projektteil A)	11
3.1.1	Artenspektrum sowie Muster des natürlichen Fischabstiegs	11
3.1.2	Mortalität und Verletzungen	12
3.1.3	Nutzung der Abstiegskorridore, Barrierefunktion des Rechens und Fischverhalten bei der Abwanderung	14
3.2	Bewertung des Lebensraums (Projektteil B)	16
3.3	Gesamtwirkung der Anlage	19
<b>4</b>	<b>Literatur</b>	<b>20</b>

## 1 Untersuchungsstandort Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz

Die Wasserkraftanlage Baiersdorf-Wellerstadt bei Forchheim an der Regnitz (Abb. 1) liegt im mittelfränkischen Landkreis Erlangen-Höchstadt. Dieser befindet sich im hydrogeologischen Großraum Süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland und zählt zur Naturraumeinheit Mittelfränkisches Becken. Die Gesamtlänge der Regnitz beträgt 187 km. Ihr Einzugsgebiet ist 7.521 km<sup>2</sup> groß. Der mittlere Abfluss am Pegel Hüttendorf (etwa 20 km flussaufwärts des Untersuchungsstandorts) liegt bei 35 m<sup>3</sup>/s. Im Bereich des Untersuchungsstandorts zählt die Regnitz zum Epipotamal (Barbenregion).

Die Anlage Baiersdorf-Wellerstadt ist eine mit Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen nachgerüstete konventionelle Wasserkraftanlage. Sie verfügt über zwei horizontale Kaplan-Rohrturbinen, die bei einer Fallhöhe von 2,3 m und einem Durchfluss von 2 x 16 m<sup>3</sup>/s eine Ausbauleistung von 2 x 324 kW besitzen. Die beiden Turbinen haben jeweils vier Rotorblätter und einen Durchmesser von 2,0 m. Ihre Drehzahl liegt konstant bei 150 U/min. Die Anlage wurde 2012 mit einem zur Sohle geneigten Vertikalrechen (lichter Stababstand 15 mm, Neigungswinkel 27°) nachgerüstet. Am oberen Ende des Rechens befindet sich eine Spülrinne. Absteigende Fische sollen über den flach geneigten Vertikalrechen (Wassertiefe im Rechenbereich circa 3 m) zur Spülrinne geleitet werden und so über einen Schacht (Fallhöhe circa 2 m) ins Unterwasser des Kraftwerks gelangen. Zusätzlich befindet sich auf der orografisch linken Seite des Vertikalrechens ein Leerschütz. Dieses kann bei Bedarf geöffnet werden, um z. B. größeres Treibgut ins Unterwasser abzuleiten. Auf der orografisch linken Seite des Kraftwerkeinlaufs wurde im Zuge der Nachrüstung eine technische Fischaufstiegsanlage (Schlitzpass) errichtet. Am Schlitzpass wird derzeit das unterste Becken zusätzlich mit circa 1 m<sup>3</sup>/s dotiert, um den Fischen über eine erhöhte Leitströmung die Auffindbarkeit zu erleichtern. Diese Dotierung erfolgt über einen freien Überfallstrahl in das Becken, wodurch erhebliche Turbulenzen entstehen.

Die Wasserkraftanlage befindet sich in einem vollständig betonierten Kanal. Dieser wird circa 0,5 km flussaufwärts der Anlage über ein Schlauchwehr aus dem Hauptfluss ausgeleitet (Abb. 2). An diesem Schlauchwehr befindet sich auf dem orografisch linken Ufer des Hauptflusses eine kleine, gering dotierte und in ihrer Funktionalität stark eingeschränkte naturnahe Fischaufstiegsanlage (Umgehungsgewässer).

Das Gesamtprojekt zum fischökologischen Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen wird im Projektband 1 (MUELLER ET AL. 2020a) beschrieben. Ausführliche Informationen über den Standort Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz und die dort für das Monitoring verwendete technische Ausstattung enthält Projektband 3 (MUELLER ET AL. 2020c).



Abb. 1: Kraftwerk Baidersdorf-Wellerstadt an der Regnitz während der Untersuchungen durch den Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie der TU München im Jahr 2015. Blick vom Unterwasser auf die Wehranlage mit dem Kraftwerk

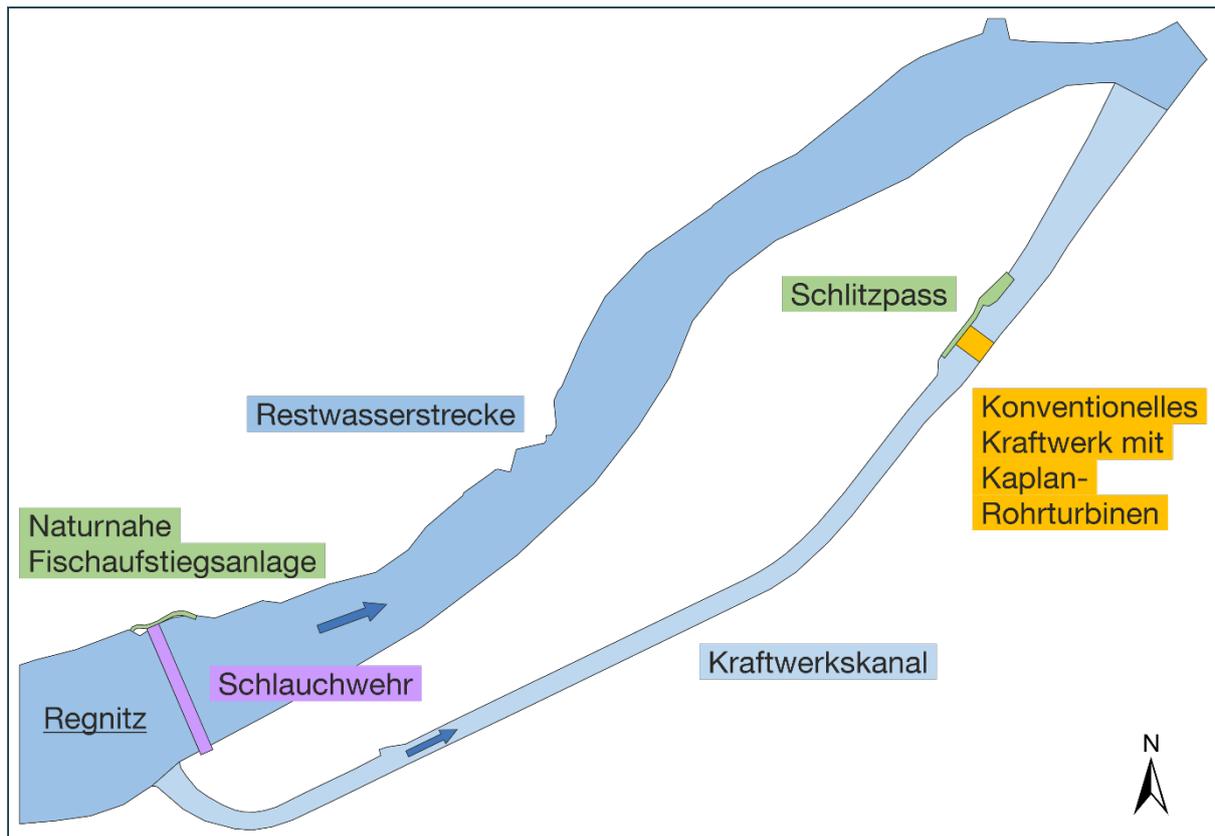


Abb. 2: Schematische Lageskizze des Untersuchungsstandorts Baidersdorf-Wellerstadt an der Regnitz

## 2 Methoden

### 2.1 Fischabstieg, Fischschäden und Fischverhalten (Projektteil A)

Primäres Ziel der Untersuchungen im Projektteil A war es, die potenzielle Schädigung von Fischen bei der Kraftwerkspassage zu ermitteln. Außerdem wurde betrachtet, wie sich der Fischabstieg auf die unterschiedlichen Abstiegskorridore der Kraftwerksanlage sowie auf verschiedene Jahres- und Tageszeiten verteilt. Darüber hinaus wurde am Standort Baiersdorf-Wellerstadt mit dem Einsatz von Sensorfischen untersucht, welchen physikalischen Bedingungen Fische bei der Turbinenpassage ausgesetzt sind. Zusätzlich wurde das Verhalten der Fische vor der Wasserkraftanlage mittels Sonartechnik beobachtet.

#### 2.1.1 Fischabstieg und Fischschäden

Die Kraftwerksanlage Baiersdorf-Wellerstadt verfügt über vier mögliche Abstiegskorridore für Fische: zwei Turbinen, eine Spülrinne an der Krone des Vertikalrechens und einen Schlitzpass. Temporär können die Fische zusätzlich über das geöffnete Leerschütz oder, beispielsweise bei Hochwasser, über die Wehranlage in das Unterwasser gelangen. Diese Korridore konnten aber aufgrund der räumlichen Situation nicht beprobt werden. Der Fischabstieg über die Turbinen sollte bei der Untersuchung möglichst vollumfänglich erfasst werden. Am Standort Baiersdorf-Wellerstadt wurden daher vier Hamen in die U-Profile der Revisionsverschlüsse am Turbinenauslauf eingesetzt (zwei Hamen je Turbine). Der Schlitzpass wurde ebenfalls mit einem Hamen befischt. Die vier Turbinenhamen und der Hamen am Schlitzpass wurden von einem Schlauchboot aus geleert. Ein Hamen ist ein sich trichterförmig verjüngender Netzsack mit abnehmender Maschenweite, an dessen Ende sich ein Fangnetz, Steertreuse genannt, befindet.

Über die Spülrinne abgestiegene Fische wurden mit einem trichterförmigen Netzsack aus Nylon gefangen. Auf diesen Netzsack wirkte aufgrund des herabfallenden Wassers aus der Spülrinne zum Ablaufschacht eine sehr starke Dauerbelastung. Daher wurde außen um das eigentliche Fangnetz zusätzlich ein grobmaschiges Nylonnetz angebracht. Der Ablaufschacht der Spülrinne wurde von einer Stahlkonstruktion überspannt. Das Bergen des Netzsackes erfolgte über eine elektrische Seilwinde.

Der natürliche Fischabstieg wurde im Frühjahr und im Herbst 2015 an insgesamt 25 Versuchstagen beprobt. Die Netzleerungen erfolgten alle zwei Stunden und wurden gleichmäßig auf die erste Tageshälfte (Sonnenaufgang bis 12:00 Uhr), zweite Tageshälfte (12:00 Uhr bis Sonnenuntergang), erste Nachthälfte (Sonnenuntergang bis 00:00 Uhr) und zweite Nachthälfte (00:00 Uhr bis Sonnenaufgang) verteilt. Die Beprobung ermöglichte so Rückschlüsse darauf, zu welchen Tageszeiten der Abstieg bevorzugt erfolgte. Sowohl während des Untersuchungszeitraums des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr als auch im Herbst 2015 wurden außerdem Fische im Oberwasser der Kraftwerksanlage mithilfe von Elektrobefischung 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. Zudem konnten Informationen zum vorhandenen Fischbestand gewonnen werden.

Neben den Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs erfolgten im Herbst 2015 Versuche mit standardisierten Fischzugaben. Diese Versuche wurden bei niedriger Turbinenlast durchgeführt (Mittelwerte pro Turbine für: Leistung 241 kW, Drehzahl 150 U/min, Durchfluss 13 m<sup>3</sup>/s, Öffnung Läufer 69 %, Öffnung Leitapparat 80 %). Die Schaufeln des Laufrades sind dabei eng gestellt. Somit können die höchstmöglich auftretenden Fischschädigungen bei der Passage erfasst werden (Worst-Case-Szenario). Dabei wurden 6.807 Versuchsfische der Arten Aal, Bachforelle, Nase und Flussbarsch oberhalb der Wasserkraftanlage eingesetzt und nach der Passage gefangen und untersucht (Tierver-

suchsgenehmigung ROB-55.2-2532.Vet\_02-15-31). Die Fischzugaben erfolgten an drei Stellen (vergleiche Abb. 3): oberhalb des Rechens (Versuchsgruppe „Turbine & Rechen“), unmittelbar vor der Turbine (Versuchsgruppe „Turbine“) und am Eingang des Hamens unterhalb des Kraftwerks (Versuchsgruppe „Hamen“). Anders als bei der Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs konnte so gezielt zwischen dem Einfluss des Rechens und der Turbine sowie fangbedingten Verletzungen differenziert werden. Anhand einer Stichprobe (207 Fische) wurde zudem vor Beginn der Versuche untersucht, ob und mit welchen Vorschädigungen die Versuchsfische aus den Fischzuchten und nach dem Transport am Standort eintrafen. Die standardisierten Fischzugaben ermöglichten daher über die Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs hinaus Erkenntnisse zur kraftwerksbedingten Schädigung (Mortalität und Verletzungen).

Während der Versuche zum natürlichen Fischabstieg und zu den standardisierten Fischzugaben wurden dreimal täglich die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Wassers im Hauptstrom (Temperatur, Sauerstoffgehalt, Leitfähigkeit, pH-Wert und Trübung) sowie die Strömungsgeschwindigkeiten am Vertikalrechen und an den Hamen gemessen (siehe MUELLER ET AL. 2020c).

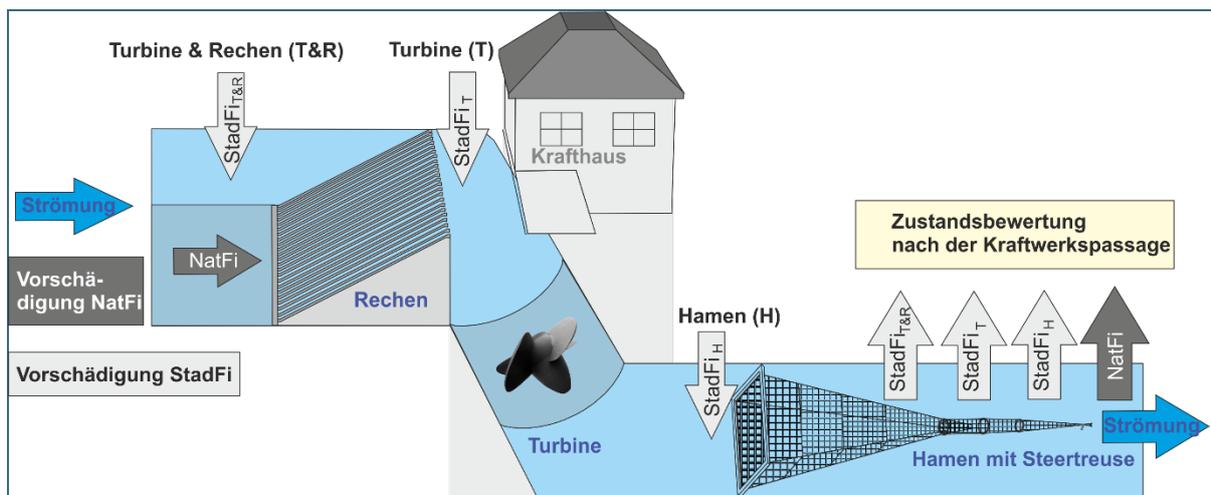


Abb. 3: Schematische Darstellung der verschiedenen Zugabe- und Entnahmestellen für Fische des natürlichen Fischbestands (NatFi) und aus den standardisierten Fischzugaben (StadFi), abgeändert nach MUELLER ET AL. (2017). T&R = Passage der Fische durch Turbine und Rechen bei Fischzugabe oberhalb des Rechens, T = Passage der Fische durch die Turbine bei Fischzugabe zwischen Rechen und Turbine, H = Kontrollgruppe an Fischen die nur den Hamen passiert haben

Die äußerlich sichtbaren Verletzungen der Fische wurden mit einem standardisierten Protokoll erfasst. Mit dieser Methode lässt sich für jeden Fisch ein Verletzungsmuster dokumentieren. Ein solches Muster setzt sich zusammen aus 86 Kombinationen von möglichen Verletzungstypen (z. B. Schuppenverluste, Pigmentveränderungen, Hautverletzungen, Quetschungen, Amputationen), betroffenen Körperteilen (z. B. Kopf, Körper vorne, hinten, links, rechts, dorsal, ventral, Flossen) sowie fünf allgemeinen Gesundheitskriterien (Vitalität, Atemfrequenz, Ernährungszustand, Verpilzung, Parasiten) (vergleiche MUELLER ET AL. 2017, MUELLER ET AL. 2020a). Gegenstand der Untersuchungen waren auch innere Verletzungen der Fische. Zu diesem Zweck wurden von einer Stichprobe an Fischen (445 Fische) Röntgenbilder mittels Kontaktradiographie erstellt. Wie bei den äußerlich sichtbaren Verletzungen erfolgte die Auswertung der Röntgenbilder mit einem standardisierten Protokoll (MUELLER ET AL. 2020a).

Zur Bestimmung der verzögerten Mortalität wurden die Fische getrennt nach Arten und Versuchsgruppen über 72 h (natürlicher Fischbestand) und 96 h (standardisierte Fischzugaben) in wassergefüllten Becken gehältert und täglich kontrolliert (MUELLER ET AL. 2020a).

Bisher existiert kein allgemein akzeptierter methodischer Standard, mit dem Mortalitätsraten in Zusammenhang mit Wasserkraftanlagen unter Berücksichtigung verschiedener Fischarten und Lastzustände berechnet werden. Die Darstellung der Ergebnisdiagramme berücksichtigt daher verschiedene Berechnungsmöglichkeiten. Zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen wurden Wiederfangraten, Mortalitätsraten, Vitalität und Verletzungsintensität sowie die äußeren und inneren Verletzungsmuster verglichen (siehe MUELLER ET AL. 2020a). Die verwendeten Diagramme, Tabellen und Berechnungen werden in MUELLER ET AL. (2020b) ausführlich beschrieben.

### **2.1.2 Physikalische Bedingungen bei der Turbinenpassage**

Gemeinsam mit Wissenschaftlern vom Port Stephens Fisheries Institute (New South Wales, Australien) untersuchte das Projektteam der TU München im September 2016 die physikalischen Bedingungen, die bei der Passage der horizontalen Kaplan-Turbine in Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz (orografisch rechte Turbine) auf die Fische einwirken. Zum Einsatz kamen dabei mehrere Sensorfische. Ein Sensorfisch ist ein autonomes Messgerät, das Beschleunigung, Rotation, Druck und Temperatur direkt während der Turbinenpassage messen und aufzeichnen kann. Die Ergebnisse der Sensorfisch-Messungen erlauben Rückschlüsse darauf, welchen Kräften und Ereignissen – wie Druckabfällen, Kollisionen und starken Turbulenzen – die Fische während der Turbinenpassage ausgesetzt sind. Die Sensorfisch-Durchgänge wurden bei niedriger Turbinenlast durchgeführt. Insgesamt wurden 16 Sensorfisch-Datensätze ausgewertet.

### **2.1.3 Fischverhalten**

Die Sonartechnik ist für die Erfassung von Fischbewegungen vor Wasserkraftanlagen besonders gut geeignet, da sie unabhängig von Wassertrübung, Lichtverhältnissen sowie Wassertiefe arbeitet (EGG ET AL. 2018). In diesem Projekt wurde ein hochfrequentes Multibeam Sonar verwendet (ARIS Explorer 3000), das Videos in einem kegelförmigen Bereich von maximal 20 m Länge erzeugt. Das ARIS Sonargerät wurde im Herbst 2014 während der Wanderung von Blankaalen bei ansteigendem Abfluss eingesetzt. Ziel dieser Untersuchungen war es, erste Erkenntnisse über das Verhalten von Blankaalen vor verschiedenen Abstiegskorridoren zu sammeln sowie eine einheitliche Methodik für die Sonaruntersuchungen zu etablieren. Dazu wurde das ARIS Sonargerät auf der orografisch linken Seite des Turbineneinlaufs positioniert. An dieser Stelle konnte das ARIS Sonargerät einen Großteil des Rechenbereiches, das Leerschütz sowie den Eingang zum Schlitzpass erfassen.

## **2.2 Ökologische Auswirkungen auf die aquatische Lebensgemeinschaft (Projektteil B)**

Projektteil B befasste sich damit, wie sich Wasserkraftanlagen auf den Lebensraum Fluss auswirken. Dazu wurden die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft sowie abiotische Umweltfaktoren im Ober- und Unterwasser der Wasserkraftanlagen untersucht. Wasserkraftanlagen schränken zum einen die Durchwanderbarkeit eines Gewässers ein. Zum anderen beeinflussen sie wichtige Habitateigenschaften des Fließgewässers. Der Aufstau des Flusses verlangsamt in der Regel die Strömungsgeschwindigkeit im Oberwasser und erhöht die Wassertiefe. Dadurch verändert sich auch die Substratzusammensetzung: Im Staubereich lagert sich verstärkt Sediment an, der Geschiebetransport wird unterbunden oder stark eingeschränkt. Der Einbau von Turbinen kann die Habitateigenschaften an einem bereits bestehenden Querbauwerk weiter verändern. Das Wehr wird dann nicht mehr auf der gesamten Breite überströmt, da sich der Abfluss auf die Turbinenseite konzentriert. Diese Veränderungen wirken sich auf die aquatische Lebensgemeinschaft aus.

Ziel der Untersuchungen war es, die Auswirkungen der Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums (serielle Diskontinuität) sowie Lebensraumveränderungen zu charakterisieren und zu quantifizieren.

Die Gewässerabschnitte wurden zu diesem Zweck im unmittelbaren Ober- und Unterwasser systematisch untersucht (MUELLER ET AL. 2011): Standardmäßig wurde das Ober- und Unterwasser abhängig von der Gewässerbreite in drei bis vier Längsspuren eingeteilt, in denen wiederum einzelne Untersuchungsstrecken mit einer Länge von je 30 m verteilt lagen (vergleiche Abb. 4). Dort fanden jeweils die gleichen, nachfolgend beschriebenen Untersuchungen statt. Am Standort Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz beprobte das Projektteam je 20 Untersuchungsstrecken in vier Längsspuren im Ober- und Unterwasser des Schlauchwehres in der Regnitz, sechs Untersuchungsstrecken im Ober- und drei im Unterwasser des Kraftwerks im Kanal sowie je drei Untersuchungsstrecken in der naturnahen Fischaufstiegsanlage am Schlauchwehr bzw. im Schlitzpass am Kraftwerk. Um saisonale Unterschiede zu berücksichtigen, fanden die Beprobungen im Mai und August 2016 statt.

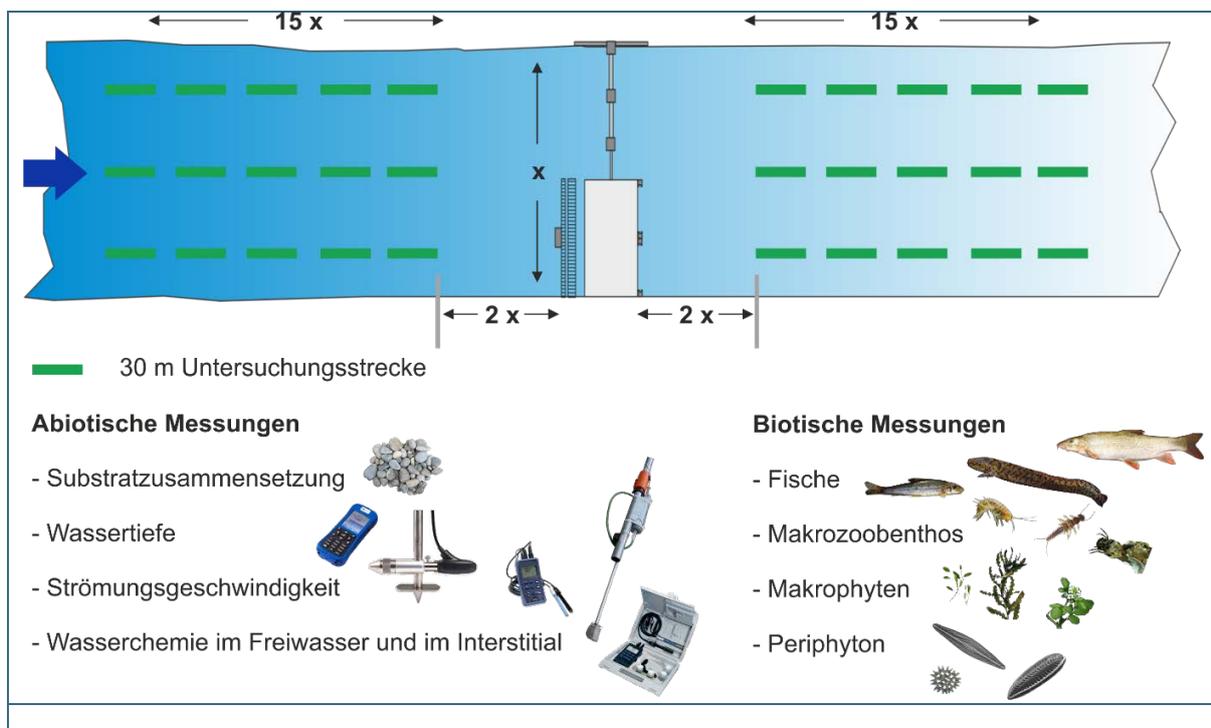


Abb. 4: Schema der Habitatuntersuchungen in Projektteil B, hier dargestellt für je drei Längsspuren im Ober- und Unterwasser. Die genannten abiotischen und biotischen Messungen werden in jeder der 30 m langen Untersuchungsstrecken durchgeführt. ( $x$  = Gewässerbreite,  $2x$  = Sicherheitsabstand zum Wehr, entspricht der zweifachen Gewässerbreite,  $15x$  = Länge der gesamten Untersuchungsstrecke im Ober- und Unterwasser, entspricht der 15-fachen Gewässerbreite)

Zur Charakterisierung der Habitateigenschaften in den verschiedenen Gewässerabschnitten wurden in jeder Untersuchungsstrecke folgende abiotische Parameter erfasst:

- Wassertiefen
- Strömungsgeschwindigkeiten
- physikalisch-chemische Eigenschaften (gelöster Sauerstoff, Temperatur, pH-Wert, Leitfähigkeit, Redoxpotential) im Freiwasser und im Porenwasser des Interstitials (Kieslückensystems)
- Sedimentqualität (Substratzusammensetzung und flächige Verteilung der Substrattypen)

Für eine aussagekräftige Charakterisierung des Lebensraums ist es wichtig, zusätzlich zu den abiotischen Messungen möglichst viele Ebenen biologischer Organisation zu betrachten. Sie reagieren teilweise sehr unterschiedlich auf veränderte Habitateigenschaften. Untersucht wurden daher folgende taxonomische Gruppen:

- Periphyton (Aufwuchsalgen am Gewässergrund)
- Makrophyten (Wasserpflanzen)
- Makrozoobenthos (am Gewässergrund lebende wirbellose Kleintiere)
- Fische

Die Aufwuchsalgen sind wichtige Primärproduzenten in Fließgewässern. Sie sind in ihrem Vorkommen und Wachstum lichtabhängig, dementsprechend wirken sich Unterschiede in der Wassertiefe auf diese Lebewesen aus. Ebenso können Veränderungen in Strömungsgeschwindigkeit und Substratbeschaffenheit die Artenzusammensetzung des Periphytons erheblich beeinflussen.

Auch welche Arten von Makrophyten im Gewässer auftreten, hängt unter anderem stark von diesen beiden abiotischen Parametern ab. Weiterhin wirken Makrophyten als Strukturgeber für Fische und Makrozoobenthos. Daher sind sie eine wichtige Lebensraumkomponente.

Makrozoobenthosgemeinschaften reagieren auch auf strukturelle Degradation, wie sie oft im Zusammenhang mit Querbauwerken und Wasserkraftnutzung auftritt. Veränderungen in den Gemeinschaften wirken sich wiederum auf andere Lebewesen aus, denn das Makrozoobenthos spielt eine bedeutende Rolle im Nahrungsnetz der Fließgewässer. Es ist zum einen Hauptnahrungsquelle für viele Fischarten und zum anderen Hauptkonsument der pflanzlichen Biomasse (insbesondere des Periphytons).

Fischartengemeinschaften sind in besonderem Maße durch den Einbau von Querbauwerken und die Wasserkraftnutzung betroffen. Fische müssen im Laufe ihres Lebenszyklus verschiedene Teilhabitate erreichen. Durch die dargestellten Eingriffe gelingt dies nicht mehr oder nur noch eingeschränkt. Ebenso verändern sich die Verfügbarkeit und die Qualität der für die Fische wichtigen Schlüsselhabitate. Außerdem werden Fische wie bereits erwähnt von den Effekten auf ihre Nahrungsorganismen indirekt beeinflusst.

Um die Artenzusammensetzung des Periphytons zu erfassen, wurde in jeder Untersuchungsstrecke von fünf Hartsubstraten (Steine oder Totholz) der vorhandene Aufwuchs jeweils auf einer Fläche von 4 cm<sup>2</sup> (insgesamt 20 cm<sup>2</sup>) gewonnen. Daraus wurde eine Sammelprobe erstellt. Im Labor wurden anschließend die Zellzahl und soweit möglich die verschiedenen Arten, Gattungen oder Familien im Periphyton bestimmt. Die Artenzusammensetzung der Makrophyten wurde in der Regel direkt vor Ort bestimmt und die Deckungsgrade der einzelnen Wasserpflanzenarten in 5 %-Schritten geschätzt. Für die Analyse des Makrozoobenthos entnahm das Projektteam in jeder Untersuchungsstrecke an fünf repräsentativen Stellen (je 0,09 m<sup>2</sup>) Proben mit einem Surber-Sampler (einem um einen Metallrahmen befestigten Netzbeutel). Das gewonnene Makrozoobenthos wurde dann als Sammelprobe in einer 1 L Weithalsflasche mit 50-prozentigem Ethanol konserviert. Die Tiere in den Proben wurden im Labor mit Binokular und Mikroskop soweit möglich auf Artniveau bestimmt. Der Fischbestand wurde in jeder Untersuchungsstrecke durch Elektrofischung über die gesamte Streckenlänge von 30 m erhoben. Die gefangenen Fische wurden gemessen und ihre Art bestimmt.

Die Daten zu den abiotischen Habitateigenschaften und der aquatischen Lebensgemeinschaft wurden anschließend statistisch ausgewertet (siehe Band 1: MUELLER ET AL. 2020a). Die Ergebnisse der aquatischen Lebensgemeinschaft wurden gemeinsam betrachtet und über alle taxonomischen Gruppen hinweg ausgewertet (MUELLER ET AL. 2014). Diese Auswertung erlaubt es, die durch das Kraftwerk/Querbauwerk verursachten Veränderungen auf Ebene des Ökosystems zu bewerten (Ecosystem Approach, MUELLER & GEIST 2016).

## 3 Ergebnisse & Diskussion

### 3.1 Erkenntnisse zu Fischabstieg, Fischschäden und Fischverhalten (Projektteil A)

#### 3.1.1 Artenspektrum sowie Muster des natürlichen Fischabstiegs

Am Standort Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz wandern oder verdriften Fische wie auch in anderen Fließgewässern nach flussabwärts. Dies betrifft nahezu alle Arten, die bei den Elektrofischungen im Oberwasser erfasst wurden. Bei den Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs 2015 wurden in den Fangeinrichtungen der verschiedenen Abstiegskorridore insgesamt 2.112 Fische gefangen (durchschnittlich sechs Fische pro Untersuchungsstunde; 0,07 Fische/1.000 m<sup>3</sup> Wasservolumen). Die häufigsten der 33 dabei bestimmten Arten waren Laube, Schneider, Rotaugen und Bachforelle. Strömungsliebende Arten (v. a. Schneider, Bachforelle und Hasel) hatten einen Anteil von insgesamt 39 % am Gesamtfang. Die meisten der Fische, die die Anlage passierten, waren eher kleinwüchsige Arten, die üblicherweise nicht über weitere Strecken wandern. Die starke flussabwärts gerichtete Verbreitung dieser Fischarten durch aktive Wanderung oder passive Drift wurde bislang offensichtlich deutlich unterschätzt (vergleiche auch PANDER ET AL. 2013). Dies deutet darauf hin, dass auch diese Arten und speziell kleine Fischgrößen in die Überlegungen zum Fischschutz an Kraftwerksanlagen einbezogen werden müssen. Gebietsfremde Arten (vor allem Blaubandbärbling, Schwarzmundgrundel, Marmorierter Süßwassergrundel) hatten mit 19 % einen bemerkenswert hohen Anteil am Gesamtfang. Generell war die Zahl der gefangenen Fische nachts mit neun Individuen pro Stunde höher als tagsüber (drei Individuen pro Stunde); zwischen erster und zweiter Tageshälfte bzw. erster und zweiter Nachthälfte wurden dagegen keine Unterschiede festgestellt. Zudem bevorzugten die einzelnen Fischarten unterschiedliche Tageszeiten für den Abstieg (KNOTT ET AL. 2020). Die Arten Blaubandbärbling, Rotaugen, Bachforelle, Hasel, Zander, Nase und Marmorierter Süßwassergrundel wurden vor allem in der Nacht gefangen, während vor allem Lauben überwiegend am Tag gefangen wurden. Auch zwischen den Jahreszeiten traten artspezifische Unterschiede auf: Im Frühjahr wurden Blaubandbärbling, Bachforelle, Rotaugen und Schneider verstärkt gefangen, im Herbst Hasel und Schwarzmundgrundel (Abb. 5). Auffällig war außerdem ein Anstieg der Abstiegszahlen Ende September, mit einem Maximum von 28 Individuen pro Stunde in der Nacht des 30.09.2015, darunter vor allem Bachforelle, Nase und Zander (Abb. 5).

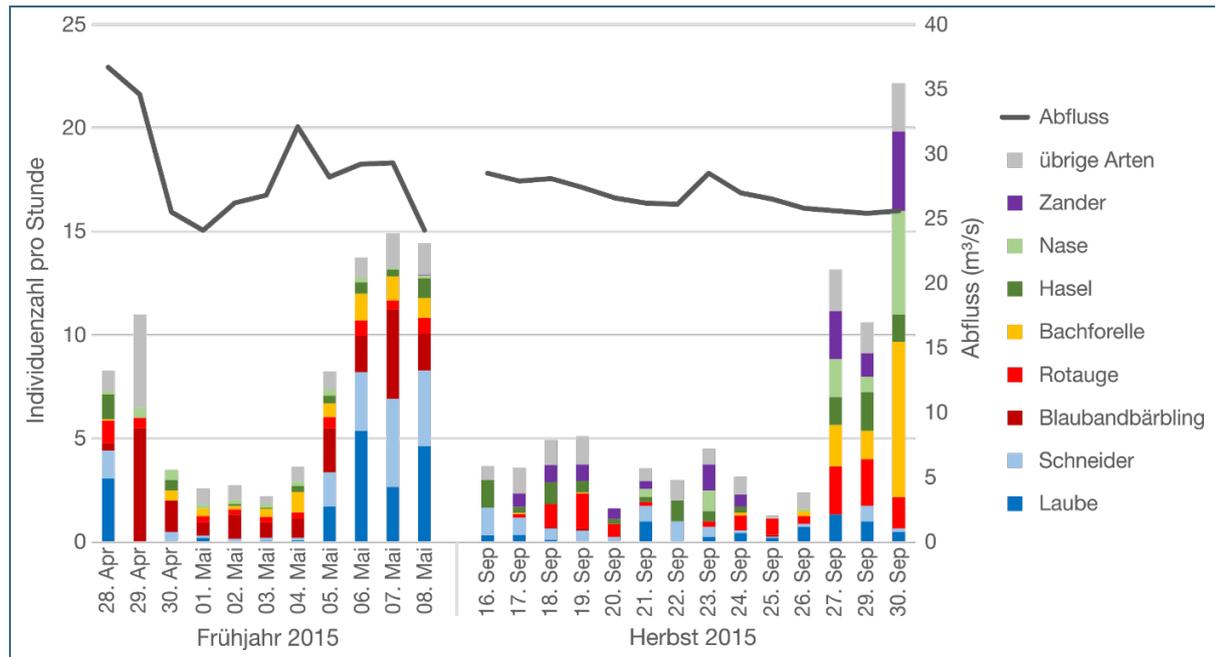


Abb. 5: Zusammensetzung der Fischarten beim natürlichen Fischabstieg: Die Abbildung zeigt die mittlere Individuenzahl jeder Art pro Stunde (y-Achse links) und den mittleren Tagesabfluss der Regnitz am Pegel Hüttendorf (y-Achse rechts) aufgeschlüsselt nach den einzelnen Untersuchungstagen im Frühjahr und Herbst 2015. Einzeln dargestellt sind die acht häufigsten Arten, alle übrigen Arten wurden zusammengefasst. Die Angabe der mittleren Individuenzahl pro Untersuchungsstunde für jeden Befischungstag (normierter Einheitsfang pro Tag) ermöglicht einen Vergleich zwischen den einzelnen Befischungstagen und anderen Untersuchungsstandorten

### 3.1.2 Mortalität und Verletzungen

Bei den **standardisierten Fischzugaben** lagen die Mortalitätsraten durch Turbine und Rechen am Kraftwerk Baiersdorf-Wellerstadt über alle getesteten Arten je nach Berechnungsweg zwischen 13,4 % und 20,5 % (vergleiche Abb. 6). Bei der Berechnung wurden die fangbedingte Mortalität und die verzögerte Mortalität berücksichtigt (siehe Band 1: MUELLER ET AL. 2020a). Im Turbinenkorridor konnten über alle Versuchsgruppen („Turbine & Rechen“, „Turbine“ und „Hamen“) 58 % (2.852 Individuen) der eingesetzten Versuchsfische wiedergefangen und für die Ermittlung der Mortalität verwendet werden. Ein großer Teil der Fische verstarb sofort nach der Kraftwerkspassage (83–91 % je nach Berechnungsweg; Anteil an der Summe aller verstorbenen Individuen über alle Fischarten), nur ein geringer Anteil verzögert innerhalb der 96 h Beobachtungsphase.

Der Aal wies im Vergleich zu den übrigen getesteten Arten die mit Abstand höchste Mortalität auf (54–58 %). Sie liegt zwischen den bisher für Kaplan-Turbinen aus der wissenschaftlichen Literatur bekannten Werten (z. B. CALLES ET AL. 2010: 30 %, CALLES ET AL. 2012: 67 %, SCHNEIDER & HÜBNER 2017: 32 %). Die deutlich höhere Mortalität beim Aal im Vergleich zu den anderen Fischarten ist sehr wahrscheinlich auf die langgestreckte Körperform und größere Totallänge der eingesetzten Aale im Vergleich zu den übrigen Versuchsfischarten (vergleiche Abb. 6) zurückzuführen, die zu einem erhöhten Kollisionsrisiko mit den Turbinenschaukeln führt. Für den Flussbarsch wurde je nach Berechnungsweg mit 2,4 % bis 4,5 % die unter den eingesetzten Arten geringste Mortalität ermittelt. Bei der Nase lag die Mortalität je nach Berechnungsweg zwischen 14 % und 16 %. Für Flussbarsch und Nase sind nach derzeitigem Kenntnisstand keine artspezifischen Mortalitätsraten aus der Literatur bekannt. Bei der Bachforelle liegt die Mortalitätsrate mit 5 % bis 6 % unter den Literaturwerten (z. B. SCHNEIDER & HÜBNER 2017: 14 % bei der Bachforelle; CALLES & GREENBERG 2009: 11 % bei Meerforellensmolts). In den Vergleichsstudien wurden meist größere Bachforellen als in diesem Versuch (maximale Totallänge wiedergefangener Bachforellen: 15,5 cm) verwendet. Dies könnte ein Grund für

die geringeren Mortalitätsraten in diesem Versuch sein. Bei allen genannten Studien wurde jedoch die verzögerte Mortalität nicht berücksichtigt und nur SCHNEIDER & HÜBNER (2017) bezogen die fangbedingte Mortalität in die Berechnungen ein. Auch müssen bei einem Vergleich von Literaturwerten weitere standortspezifische Unterschiede beachtet werden. Dazu zählen etwa die Drehzahl der Turbine, die Anzahl der Schaufelblätter, der Turbinendurchmesser, die Fallhöhe, die untersuchten Lastzustände und die Wiederfangraten. Ein Vergleich mit anderen Untersuchungen ist deshalb nur bedingt aussagekräftig, erlaubt aber dennoch eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu unterschiedlichen Wasserkraftanlagen.

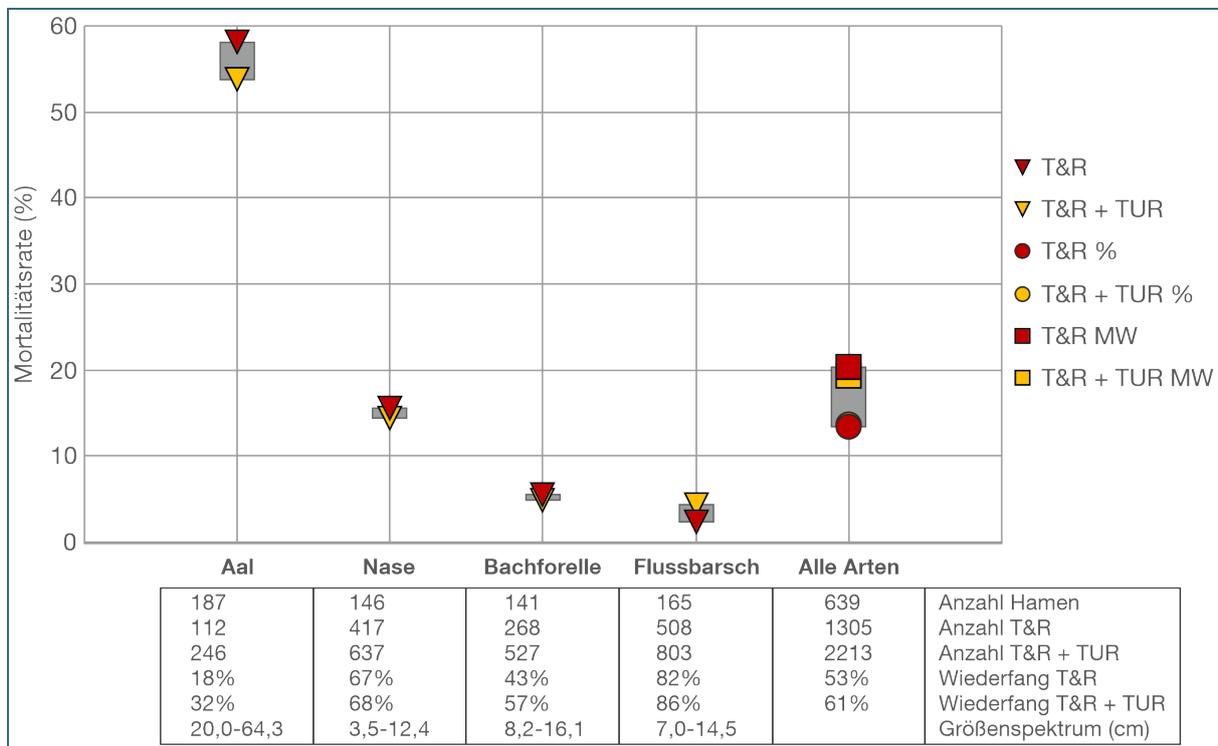


Abb. 6: Fischartenspezifische **Mortalitätsraten bei den standardisierten Fischzugaben** in der Versuchsgruppe „Turbine & Rechen“ (T&R) und zusammengefasst für die Versuchsgruppen „Turbine & Rechen“ und „Turbine“ (T&R + TUR) nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe „Hamen“. Für die Berechnung wurde die Summe sofort und verzögert nach 96 h verstorbener Fische berücksichtigt. Abgebildet sind für die einzelnen Fischarten sowie für alle Fischarten insgesamt die anteilmäßig berechneten Raten (%) bzw. gemittelte Raten (MW) am Standort Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz. Für die Berechnung der kombinierten Mortalitätsrate (T&R + TUR) wurden nur rechengängige Fische der Versuchsgruppe „Turbine“ berücksichtigt. Der graue Balken symbolisiert den Wertebereich der ermittelten Mortalitätsraten. Zur Berechnung der Mortalitätsraten siehe MUELLER ET AL. 2020a

Die Analyse der äußeren und inneren Verletzungen der Fische aus den **standardisierten Fischzugaben** lässt darauf schließen, dass die Mortalität der Fische bei der Turbinenpassage vor allem durch Kollisionen und Druckunterschiede verursacht wurde. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass alle Untersuchungen bei einem niedrigen Lastzustand des Kraftwerks durchgeführt wurden. Unter diesen Bedingungen sind die Turbinenschaufeln eng gestellt und es besteht daher ein erhöhtes Kollisionsrisiko. Insbesondere traten Verformungen und Frakturen der Wirbelsäule und der Rippen, Schuppenverluste, Einblutungen, Veränderungen der Schwimmblase (Kompression oder Expansion), Gasblasen im Auge, Hautverletzungen und Amputationen bei Fischen mit Turbinenpassage in höherer Intensität auf als bei Fischen ohne Turbinenpassage (Kontrollgruppen „Vorschädigung“ und „Hamen“). Dies unterstützen auch die Ergebnisse der Sensorfischuntersuchungen (BOYS ET AL. 2018). Bei mehr als 50 % der Versuchsdurchgänge wurden Kollisionsereignisse ermittelt, deren Schwere von gering bis stark reichte (11–246 g) und im Durchschnitt stark war (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung:  $136 \pm 80$  g).

Nach einem schnellen Druckabfall während der Turbinenpassage (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung: Dekompressionsrate:  $244 \pm 38$  kPa/s, Druckminimum:  $67 \pm 5$  kPa) folgte ein schrittweiser Anstieg des Drucks im Saugrohr, bis der Sensor im Unterwasser angelangt war und wieder atmosphärischen Druck erreicht hatte.

Zudem sind auch Fische nach der Kraftwerkspassage verstorben (insbesondere Nasen), die keine äußerlich oder innerlich sichtbaren, eindeutig tödlichen, Verletzungen aufwiesen. Dies ist vermutlich auf Stress zurückzuführen. Insgesamt wiesen zudem 15 % aller wiedergefangenen Fische nach der Kraftwerkspassage eine leicht reduzierte Vitalität (leicht reduziertes Schwimmvermögen, verzögerte Fluchtreaktion) auf. Die Verletzungsintensität war insgesamt beim Aal am höchsten. Zudem nahm bei der Fischart Aal die Intensität von Amputationen und Quetschungen mit der Totallänge zu. Dies spiegelt sich auch in den hohen Mortalitätsraten und dem relativ hohen Anteil an Aalen mit subletalen Auswirkungen auf die Vitalität wider.

Auch die beiden Abstiegskorridore Spülrinne und Schlitzpass sowie der Rechen selbst können Verletzungen und Mortalität verursachen. Die Mortalität durch den Abstieg über die Spülrinne lag je nach Fischart zwischen 9 % und 16 %. Mögliche Ursachen dafür können Verletzungen am Rechen oder durch den freien Überfall am Ende der Spülrinne sein. Bei einem Abstieg über den Schlitzpass lag die Mortalität von Bachforellen und Nasen sogar bei über 20 %. Allerdings sind in diesem Korridor nur wenige Fische (Bachforelle:  $n = 9$ , Nase:  $n = 39$ ) wiedergefangen worden, daher muss das Ergebnis vorsichtig interpretiert werden. Dennoch könnte die hohe Mortalität möglicherweise auf die Dotierung in das unterste Becken des Schlitzpasses zurückzuführen sein. Sie erfolgt in einem freien Überfallstrahl in das Becken, wodurch erhebliche Turbulenzen entstehen.

Für den **natürlichen Fischabstieg** lag die Mortalität (sofortige und verzögerte Mortalität nach 72 h Hälterung) durch Turbine und Rechen am Kraftwerk Biersdorf-Wellerstadt bei 50 % (berechnet als Anteil toter Individuen am Gesamtfang). Unter den am häufigsten gefangenen Fischarten war die Mortalität bei Laube und Rotaugen mit 81 % (53 Fische) bzw. 70 % (80 Fische) am höchsten. Am geringsten fiel die Mortalitätsrate mit 18 % (11 Fische) bei der Marmorierten Süßwassergrundel aus. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse sind jedoch mehrere Faktoren zu berücksichtigen. Beim natürlichen Fischabstieg kann die fangbedingte Mortalität aus methodischen Gründen nicht ermittelt werden (vergleiche Kap. 2.1.1). Sie lag bei den standardisierten Fischzugaben zwischen 1 % und 18 % (Minimum und Maximum der getesteten Fischarten; Mittelwert über alle Fischarten: 7 %). Von den Fischen, die mittels Elektrofischung im Oberwasser der Kraftwerksanlage zur Abschätzung der Vorschädigung gefangen wurden, sind etwa 6 % während der Hälterung über 72 h gestorben. Allerdings kann die Vorschädigung bei der Elektrofischung nur begrenzt erfasst werden, da nur mobile Fische, die auf Strom reagieren, gefangen werden können und somit nicht bekannt ist, wie viele der Fische bereits tot oder stark vorgeschädigt am Kraftwerk ankamen. Damit lässt sich vermutlich zumindest zum Teil erklären, warum die Mortalitätsrate beim natürlichen Fischabstieg im Vergleich zu den standardisierten Fischzugaben abgesehen vom Aal um ein Vielfaches höher war.

### 3.1.3 Nutzung der Abstiegskorridore, Barrierefunktion des Rechens und Fischverhalten bei der Abwanderung

Am Standort Biersdorf-Wellerstadt sind die meisten Fische über den Turbinenkorridor ins Unterwasser gelangt. Bei den Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs betrug der Anteil über den Turbinenkorridor mehr als 88 %. Über die Spülrinne und den Schlitzpass sind jeweils lediglich 5 % bzw. 7 % der Fische ins Unterwasser gelangt. Damit folgten die Fische mehrheitlich der Hauptströmung, da circa 98 % des Abflusses durch die Turbinen fließt. Der hohe Anteil an Rechen- und Turbinenpassagen weist auf eine geringe Fischschutz- und Leitwirkung des um  $27^\circ$  zur Sohle geneigten Vertikalrechens mit einem Stababstand von 15 mm hin. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass es sich

bei den durch die Turbinen ins Unterwasser gelangten Individuen überwiegend um kleinwüchsige Fischarten bzw. junge Altersstadien handelte (vergleiche Abb. 7; beim natürlichen Fischabstieg: Rotauge, Gründling, Kaulbarsch mit Maximallängen von 18 cm und bei den standardisierten Fischzugaben: Nase, Flussbarsch und Bachforelle mit Maximallängen von 15,5 cm), für die der Rechen physisch durchlässig ist. Darüber hinaus wurden auch einzelne, größere Individuen in den Turbinenhamen nachgewiesen, welche die kritischen Körperlängen nach EBEL (2013) deutlich überschritten (Maximallängen beim natürlichen Fischabstieg: Bachforelle 26,2 cm, Barbe 32 cm, Hecht 33 cm). Bei den Aalen hingegen haben Individuen bis zu einer maximalen Körperlänge von 44 cm den Rechen passiert. Es ist eine Ableitwirkung des Rechens auf Aale zu erkennen, da der Rechen bis 50 cm Körperlänge durchgängig wäre. Allerdings findet dadurch eine Größenselektion statt, welche einhergeht mit einer geschlechtsspezifischen Selektion abwandernder Blankaale, da weibliche Blankaale in der Regel deutlich größer sind als ihre männlichen Artgenossen (LAFFAILLE ET AL. 2006). Der insgesamt hohe Anteil an Rechen- und Turbinenpassagen ist höchstwahrscheinlich auch auf die hohen Strömungsgeschwindigkeiten am Rechen zurückzuführen. Diese lagen während des Untersuchungszeitraumes durchschnittlich bei 0,98 m/s.

Das Abwanderungsverhalten der Aale wurde außerdem mit Hilfe der Sonartechnik beobachtet. Dies lieferte die Erkenntnis, dass Aale über die gesamte Wassersäule abwanderten und dem Rechenreinger aktiv auswichen. Zudem suchten Aale vor dem Rechen aktiv nach einem Abstiegskorridor alternativ zur Turbinenpassage. Beim Öffnen des direkt am Kraftwerk vorhandenen Leerschützes reagierten die Aale deutlich auf die damit verbundene Abflussänderung und stiegen vermehrt über diesen Korridor ab.

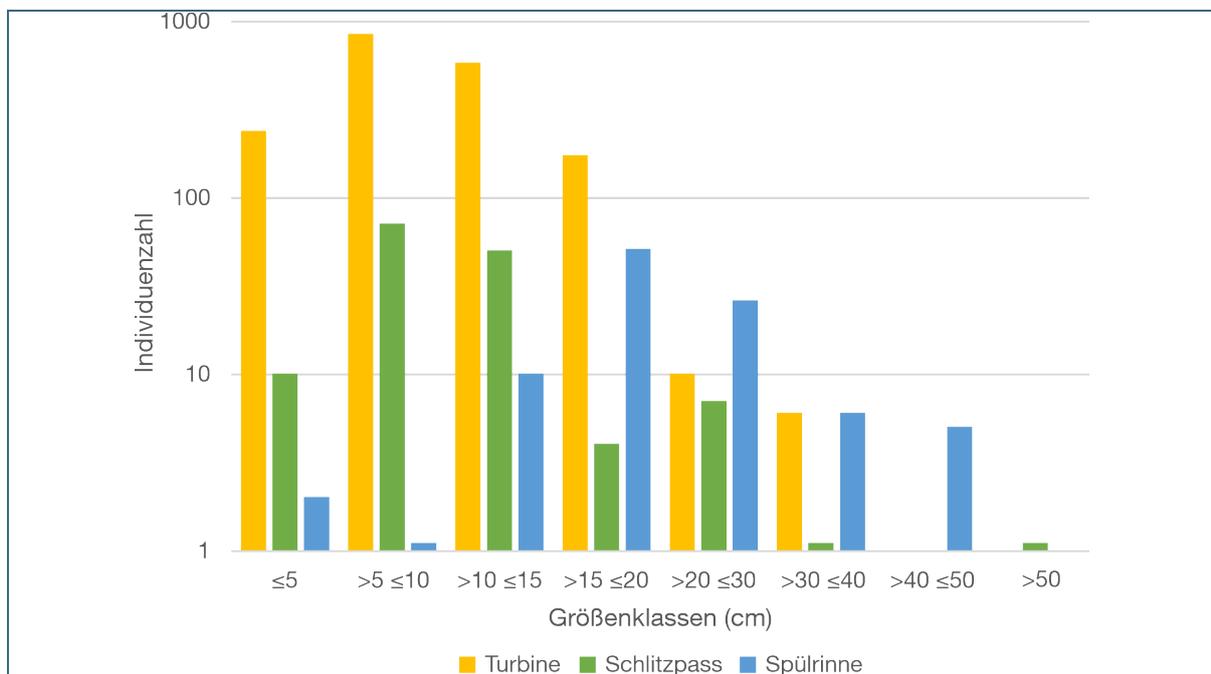


Abb. 7: Längen-Häufigkeitsverteilung (nach Größenklassen) aller in den Abstiegskorridoren Turbine, Slitzpass und Spülrinne nachgewiesenen Fische während der Beprobung des natürlichen Fischabstieges im Frühjahr und Herbst 2015. Man beachte die logarithmische Skalierung der y-Achse (Individuenzahl)

### 3.2 Bewertung des Lebensraums (Projektteil B)

Die Untersuchungen der abiotischen und biotischen Parameter zeigten, dass die untersuchten Streckenabschnitte an der Wasserkraftanlage Baidersdorf-Wellerstadt anthropogen stark überprägt sind. Das Substrat ist überwiegend feinmaterialreich mit einem hohen Anteil an Korngrößen kleiner 2 mm (Abb. 8). Eine Ausnahme bildeten die Fischaufstiegsanlagen, hier kamen vorwiegend Steine und Blöcke mit einem Durchmesser größer 20 mm vor. Im betonierten Kraftwerkskanal waren die Gewässertiefe und die Strömungsgeschwindigkeit insgesamt deutlich höher als im Hauptstrom der Regnitz.

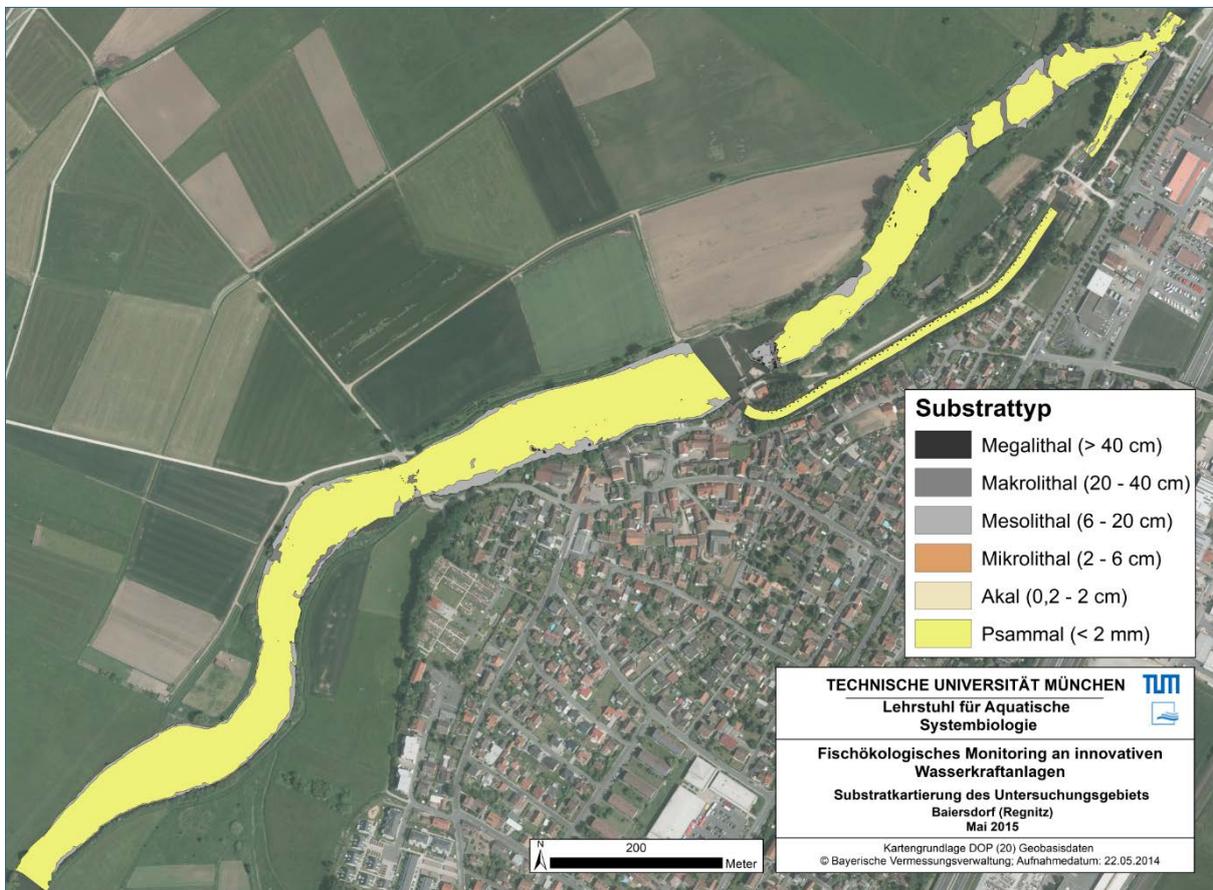


Abb. 8: Substratkartierung der Untersuchungsstrecken am Standort Baidersdorf-Wellerstadt an der Regnitz

Die Untersuchung der aquatischen Lebensgemeinschaft am Standort Baidersdorf-Wellerstadt ergab folgendes Bild: Bei den Elektrofischungen wurden 31 **Fischarten** gefangen. Die Arten Schwarzmundgrundel und Rotaugen waren dabei mit einem Anteil von 53 % zahlenmäßig am häufigsten vertreten. Gemeinsam mit den Arten Aitel, Schneider, Laube, Hasel, Flussbarsch und Gründling machen diese Fischarten 90 % des Fangs aus. Der Anteil gebietsfremder Arten am Gesamtfang war mit 36 % sehr hoch. Die strömungsliebenden Leitarten Nase und Barbe waren mit einem Anteil von jeweils kleiner 0,5 % im Vergleich zur Referenzzönose (Nase 10 %, Barbe 15 %) stark unterrepräsentiert. Eine vollständige Altersstruktur wiesen nur die Arten Hasel, Schwarzmundgrundel und Aitel (außer im Kanal) auf (Abb. 9).

Die **Makrozoobenthosgemeinschaft** zeichnete sich durch einen sehr hohen Anteil relativ anspruchsloser Taxa aus, die tolerant gegenüber einem hohen Anteil von Feinsediment und Sauerstoffmangel im Substrat sind. Darunter waren mit einem Anteil an der Gesamtindividuenzahl von insgesamt etwa 70 % vor allem Zuckmückenlarven (Chironomini, OPDB-Gruppe), invasive Röhrenkrebse der Gattung *Corophium* und Wenigborster (Oligochaeta). Der Anteil gebietsfremder Makrozoobenthos-Taxa (vor

allem *Corophium* sp. und invasive Flohkrebse der Art *Dikerogammarus villosus*) an der Gesamtindividuenzahl war mit insgesamt 34 % sehr hoch. Dagegen hatten anspruchsvolle EPT-Taxa (Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven), die unter anderem sensibel auf Feinsedimentbelastungen reagieren, im Vergleich zu naturnahen Gewässern des gleichen Gewässertyps (Typ 9.2: Große Flüsse des Mittelgebirges, EPT-Anteil bis zu 60 %, MEIER ET AL. 2006) nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtindividuenzahl von insgesamt 3 %. Dies ist wahrscheinlich auf den hohen Feinsedimentanteil und die fehlende Strukturvielfalt in den untersuchten Streckenabschnitten zurückzuführen.

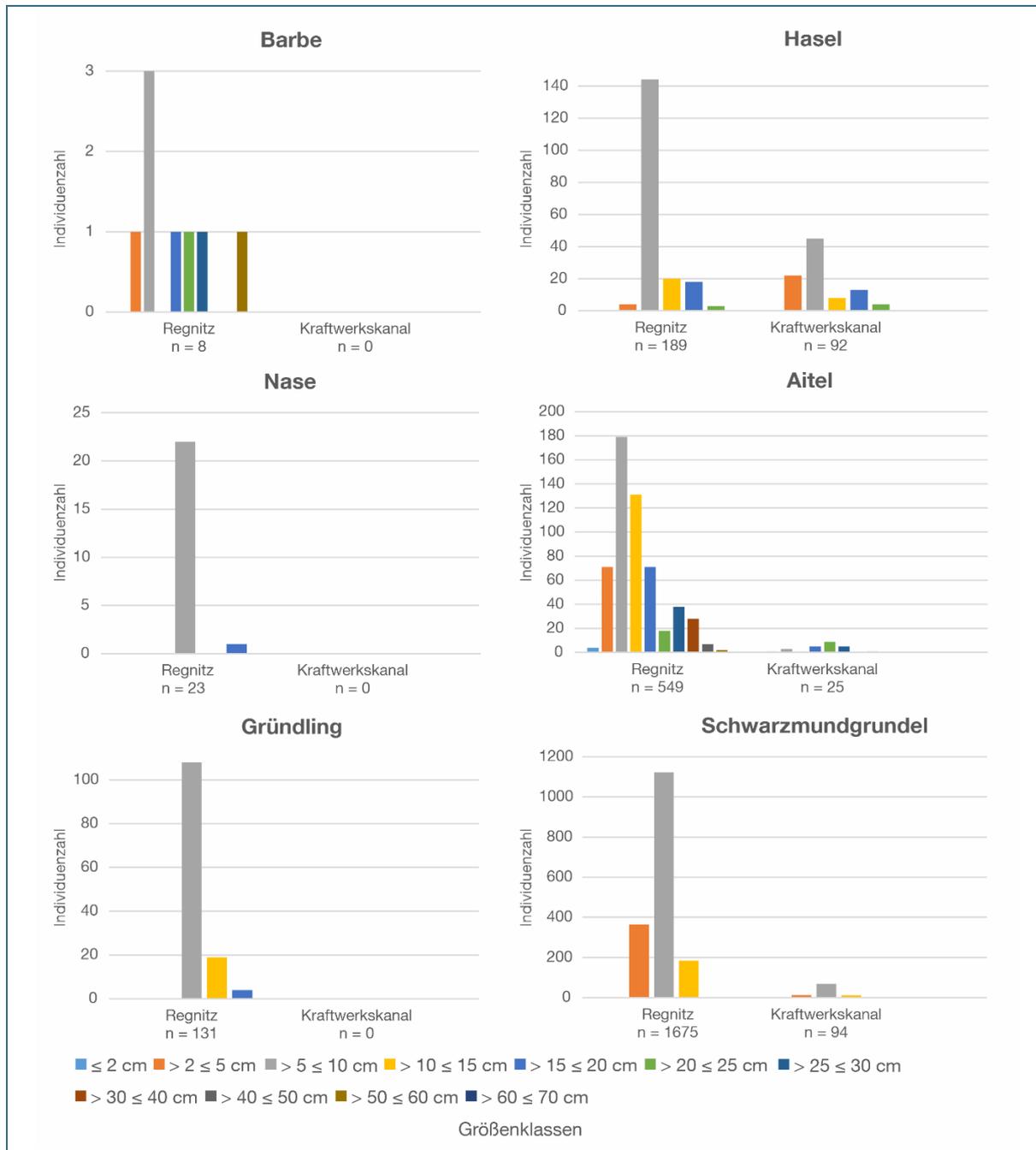


Abb. 9: Artsspezifische Längen-Häufigkeitsverteilungen am Standort Baiersdorf-Wellerstadt für die in der Regnitz und im Kraftwerkskanal gefangenen Fischarten Barbe, Hasel, Nase, Aitel, Gründling und Schwarzmundgrundel (n = Gesamtindividuenzahl). Die Einteilung der Größenklassen (x-Achse, Angaben in cm) erfolgte gemäß Vorgehensweise bei der fischbasierten Bewertung nach Wasserrahmenrichtlinie. Man beachte die unterschiedliche Skalierung der y-Achsen

Die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos und Periphyton; Makrophyten wurden nur vereinzelt nachgewiesen und gingen nicht in die Auswertung ein) zwischen der Regnitz und dem Kraftwerkskanal unterschied sich deutlich. Dies deutet auf eine unterschiedliche Lebensraumfunktion dieser beiden Bereiche hin. In der **Regnitz** wurden im Vergleich zum Kraftwerkskanal deutlich höhere Anteile der Fischarten Schwarzmundgrundel und Rotauge sowie einiger Makrozoobenthos-Taxa, zum Beispiel Wenigborster (Oligochaeta), an der Gesamtindividuenzahl nachgewiesen. Im **Kraftwerkskanal** hatten hingegen unter anderem die Fischart Schneider sowie invasive Röhren- und Flohkrebse (*Corophium* sp., *Dikerogammarus villosus*) einen höheren Anteil an der aquatischen Lebensgemeinschaft (Abb. 10). In der Regnitz sind die Ufer überwiegend mit Blocksteinschüttung gesichert, welche bereits an der Donau als Hauptlebensraum für die Schwarzmundgrundel und weitere invasive Grundelarten aus dem Schwarzmeerraum identifiziert wurde (BRANDNER ET AL. 2015). Der Kraftwerkskanal mit seinen betonierten Ufern und dem relativ tiefen, stark strömenden Wasserkörper scheint dagegen wesentlich schlechter als Lebensraum für die Schwarzmundgrundel geeignet zu sein als die Regnitz. Auch die Rotaugen bevorzugten den langsamer fließenden Hauptstrom gegenüber dem Kraftwerkskanal als Lebensraum. Die Schneider bevorzugten Bereiche unterhalb des Turbinenauslaufes im Kanal als Habitat, in denen die betonierte Ufersicherung stark gealtert und aufgebrochen war, wodurch für den Schneider gut geeignete Habitatstrukturen entstanden.

Im Unterwasser des Kraftwerkskanals wurden etwas höhere Anteile der Fischarten Schneider und Schwarzmundgrundel sowie einiger Makrozoobenthos-Taxa (Oligochaeta, Zuckmückenlarven des Tribus Chironomini, invasive Röhrenkrebse der Gattung *Corophium*) gefunden als im Oberwasser. Allerdings wurde insgesamt kein deutlicher Unterschied in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft **zwischen Ober- und Unterwasser des Kraftwerkskanals** nachgewiesen. In der Regnitz unterschied sich die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft **zwischen Ober- und Unterwasser des Schlauchwehres** vor allem durch etwas höhere Anteile der Fischarten Schwarzmundgrundel und Aitel sowie der Blaualgengattung *Spirulina* im Oberwasser (Abb. 10). Das Schlauchwehr verursacht eine Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums. Allerdings war der Unterschied in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft und in den abiotischen Habitateigenschaften zwischen Oberwasser und Unterwasser insgesamt weniger stark ausgeprägt als in anderen Gewässern (vergleiche MUELLER ET AL. 2011 und MUELLER ET AL. 2020I). Dies ist wahrscheinlich unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich die Strömungsgeschwindigkeiten zwischen dem staubeeinflussten Oberwasser der Regnitz und der unterhalb des Schlauchwehres gelegenen Restwasserstrecke kaum unterscheiden. Aufgrund des verringerten Abflusses in der Restwasserstrecke waren die Strömungsgeschwindigkeiten im Unterwasser sogar geringfügig niedriger als im staubeeinflussten Oberwasser.

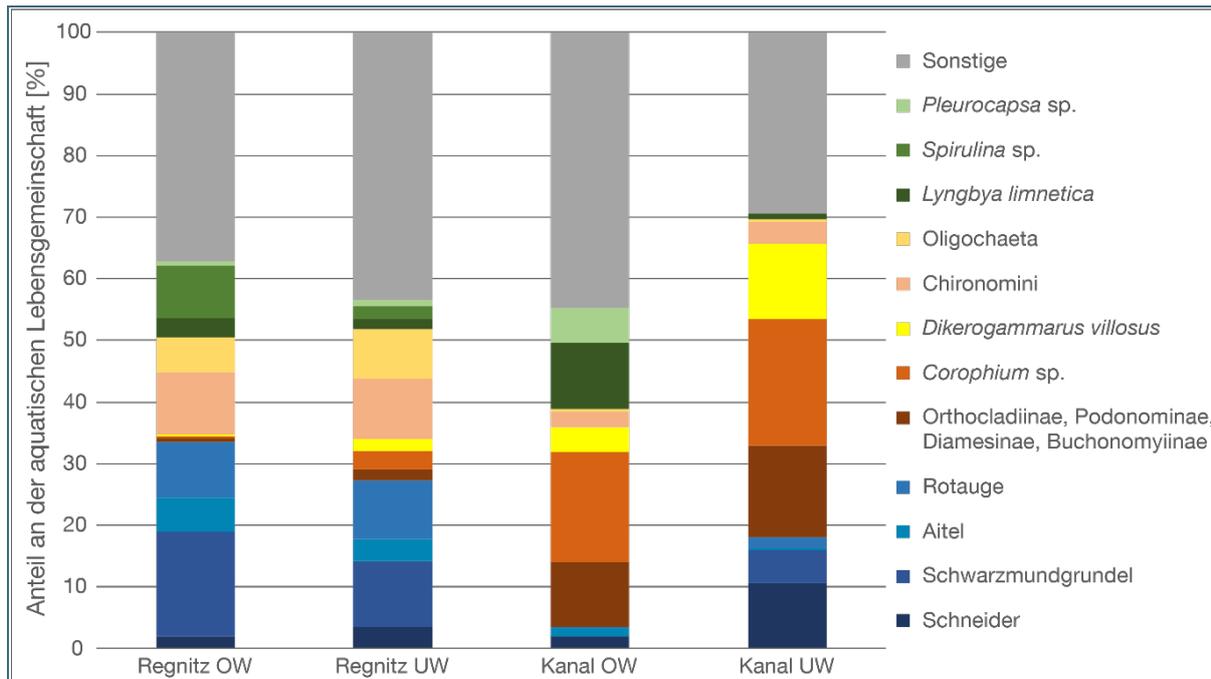


Abb. 10: Prozentuale Zusammensetzung der Taxa der aquatischen Lebensgemeinschaft. Einzeln dargestellt sind die Arten, die in mindestens einem Gewässerbereich einen Anteil von mehr als 5 % an der Gesamtindividuenzahl hatten, alle übrigen Arten wurden zusammengefasst. OW = Oberwasser, UW = Unterwasser, Kanal = Kraftwerkskanal. Farblich abgebildet sind die Fischarten: Schneider, Schwarzmundgrundel, Aitel und Rotauge; Makrozoobenthos: Orthoclaadiinae, Podonominae, Diamesinae, Buchonomyiinae (Unterfamilien der Zuckmücken), *Corophium* sp. (Schlickkrebsgattung), *Dikerogammarus villosus* (Großer Höckerflohkrebs), Chironomini (Tribus der Zuckmücken) und Oligochaeta (Wenigborster); Periphyton: *Lyngbya limnetica* (Blualge), *Spirulina* sp. und *Pleurocapsa* sp. (Blualgengattungen); sp. = nicht näher bezeichnete Art einer Gattung

### 3.3 Gesamtwirkung der Anlage

Die ermittelten Mortalitätsraten nach der Turbinenpassage an der Wasserkraftanlage Baidersdorf-Wellerstadt liegen in einem für diesen Kraftwerkstyp (konventionelle Kaplan-Turbine) zu erwartenden Bereich.

Die Analyse der äußeren und inneren Verletzungsmuster hat gezeigt, dass die Turbinenpassage am Standort Baidersdorf-Wellerstadt teils schwerwiegende Verletzungen, wie etwa Amputationen oder Verformungen und Frakturen von Skeletteilen, verursachen kann, die wahrscheinlich auf Kollisionen zurückzuführen sind. Zudem wurden bei Fischen mit Turbinenpassage auch typische Barotraumatata wie Veränderungen der Schwimmblase, festgestellt, die auf Druckunterschiede als eine weitere wichtige Mortalitätsursache am Standort Baidersdorf hinweisen. Dies unterstützen auch die Ergebnisse der Sensorfischuntersuchungen.

Die Versuche zum natürlichen Fischabstieg und mit den standardisierten Fischzugaben haben gezeigt, dass trotz des installierten Vertikalrechens mit einem Stababstand von 15 mm die meisten Fische über den Turbinenkorridor ins Unterwasser gelangen. Insbesondere für den Aal war die Mortalität mit bis zu 58 % sehr hoch. Blankaale, insbesondere die größeren Weibchen, werden am Standort Baidersdorf-Wellerstadt an der Regnitz aber vermutlich erfolgreich durch den Rechen von einer Turbinenpassage abgehalten.

Sowohl die abiotischen Habitateigenschaften als auch die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft unterschied sich deutlich zwischen dem Hauptfluss und dem betonierten Kraftwerkskanal. Das Schlauchwehr an der Ausleitung des Kraftwerkskanals aus der Regnitz verursacht

eine Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums. Die Unterschiede in den abiotischen Habitateigenschaften und der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen Ober- und Unterwasser des Hauptflusses waren allerdings im Vergleich zu den Unterschieden zwischen dem Hauptfluss und dem Kraftwerkskanal weniger stark ausgeprägt. Dies ist wahrscheinlich unter anderem darauf zurückzuführen, dass sich die Strömungsgeschwindigkeiten infolge des verringerten Abflusses in der unterhalb des Schlauchwehres gelegenen Restwasserstrecke kaum zwischen dem staubeeinflussten Oberwasser und dem Unterwasser der Regnitz unterscheiden.

Über die vorab zusammengefassten Ergebnisse am Standort Baiersdorf-Wellerstadt hinaus wurden bei der Auswertung Vergleiche verschiedener Standorte angestellt und mit den Schlussfolgerungen aus den einzelnen Standortergebnissen verknüpft. Dadurch werden weitere konkrete Vorschläge für Verbesserungsmöglichkeiten bei der Turbinen- und Anlagentechnik, für betriebliche Managementmaßnahmen sowie für die Ausführung von Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen möglich. Diese werden in Band 11 (MUELLER ET AL. 2020k) erläutert.

## 4 Literatur

BOYS, C., PFLUGRATH, B., MUELLER, M., PANDER, J., DENG, Z. & GEIST, J. (2018): Sensing what fish feel about passage through three different low-head hydropower turbines. *Marine & Freshwater Research*, 69, 1–11.

BRANDNER, J., AUERSWALD, K., SCHÄUFELE, R., CERWENKA, A. F. & GEIST, J. (2015): Isotope evidence for preferential dispersal of fast-spreading invasive gobies along man-made river bank structures. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 51(1), 80–92.

CALLES, O. & GREENBERG, L. (2009): Connectivity is a two-way street – the need for a holistic approach to fish passage problems in regulated rivers. *River Research and Applications*, 25(10), 1268–1286.

CALLES, O., OLSSON, I. C., COMOGLIO, C., KEMP, P. S., BLUNDEN, L., SCHMITZ, M. & GREENBERG, L. A. (2010): Size-dependent mortality of migratory silver eels at a hydropower plant, and implications for escapement to the sea. *Freshwater Biology*, 55(10), 2167–2180.

CALLES, O., KARLSSON, S., HEBRAND, M. & COMOGLIO, C. (2012): Evaluating technical improvements for downstream migrating diadromous fish at a hydroelectric plant. *Ecological Engineering*, 48, 30–37.

EBEL, G. (2013): Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. Ingenieurbiologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung. Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel, 1. Auflage, Halle (Saale).

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.

KNOTT, J., MUELLER, M., PANDER, J. & GEIST, J. (2020): Seasonal and diurnal variation of downstream fish movement at four small-scale hydropower plants. *Ecology of Freshwater Fish*, 29, 74–88.

LAFFAILLE, P., ACOU, A., GUILLOUËT, J., MOUNAIX, B. & LEGAULT, A. (2006): Patterns of silver eel (*Anguilla anguilla* L.) sex ratio in a catchment. *Ecology of Freshwater Fish*, 15(4), 583–588.

MEIER, C., BÖHMER, J., ROLAUFFS, P. & HERING, D. (2006): Kurzdarstellungen „Bewertung Makrozoobenthos“ & „Core Metrics Makrozoobenthos“. Stand Juni 2006.

- 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., KNOTT, J., EGG, L., BIERSCHENK, B., PANDER, J. & GEIST, J. (2020a): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 1 Hintergrund und Methoden. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 183 Seiten.
- MUELLER, M., KNOTT, J. & GEIST, J. (2020b): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Statistikglossar. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 25 Seiten.
- MUELLER, M., KNOTT, J., EGG, L., SUTTOR, C., PANDER, J. & GEIST, J. (2020c): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 3 Baiersdorf-Wellerstadt an der Regnitz. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 92 Seiten.
- MUELLER, M., KNOTT, J., PANDER, J. & GEIST, J. (2020k): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 11 Standortübergreifende Verbesserungsmöglichkeiten für den Fischschutz und die Gewässerökologie (ohne Schachtkraftwerk). Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 19 Seiten.
- PANDER, J., MUELLER, M. & GEIST, J. (2013): Ecological functions of fish bypass channels in streams: migration corridor and habitat for rheophilic species. *River Research and Applications*, 29, 441–450.
- SCHNEIDER, J. & HÜBNER, D. (2017): Funktionskontrolle der Fischwechsellanlagen am Main-Kraftwerk Kostheim. *Biologische Durchgängigkeit von Fließgewässern: Ausgewählte Beiträge aus der Fachzeitschrift WasserWirtschaft*, 244.



Eine Behörde im Geschäftsbereich  
Bayerisches Staatsministerium für  
Umwelt und Verbraucherschutz

