



Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020

Band 6: Heckerwehr an der Roth





Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020

Band 6: Heckerwehr an der Roth

Impressum

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen
Zusammenfassung zum Abschlussbericht 2020 Band 6: Heckerwehr an der Roth

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, 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
Internet: 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 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 | Untersuchungsstandort Heckerwehr an der Roth | 4 |
| 2 | Methoden | 5 |
| 2.1 | Fischabstieg, Fischschäden und physikalische Bedingungen bei der Turbinenpassage sowie Fischaufstieg (Projektteil A) | 5 |
| 2.1.1 | Fischabstieg und Fischschäden | 5 |
| 2.1.2 | Physikalische Bedingungen bei der Turbinenpassage | 7 |
| 2.1.3 | Funktionalität der Fischaufstiegsschnecke | 8 |
| 2.2 | Ökologische Auswirkungen auf die aquatische Lebensgemeinschaft (Projektteil B) | 8 |
| 3 | Ergebnisse und Diskussion | 11 |
| 3.1 | Erkenntnisse zu Fischabstieg und Fischschäden sowie physikalischen Bedingungen bei der Turbinenpassage (Projektteil A) | 11 |
| 3.1.1 | Artenspektrum sowie Muster des natürlichen Fischabstiegs | 11 |
| 3.1.2 | Mortalität und Verletzungen | 12 |
| 3.1.3 | Funktionalität der Fischaufstiegsschnecke | 15 |
| 3.2 | Bewertung des Lebensraums (Projektteil B) | 17 |
| 3.3 | Gesamtwirkung der Anlage | 21 |
| 4 | Literatur | 22 |

1 Untersuchungsstandort Heckerwehr an der Roth

Die Wasserkraftanlage Heckerwehr bei Roth an der Roth (Abb. 1) liegt in Mittelfranken. Der mittelfränkische Landkreis befindet sich im hydrogeologischen Großraum Süddeutsches Schichtstufen- und Bruchschollenland und zählt zur Naturraumeinheit Mittelfränkisches Becken. Die Gesamtlänge der Roth beträgt 24 km. Ihr Einzugsgebiet ist 173 km² groß. Der mittlere Abfluss am Pegel Roth Bleiche (etwa 3,3 km flussabwärts des Untersuchungsstandortes) beträgt 3,15 m³/s. Im Bereich des Untersuchungsstandorts zählt die Roth zum Cypriniden-Rhithral (Übergangsbereich zwischen Äschen- und Barbenregion).

Die Wehranlage an der Roth überspannt die gesamte Gewässerbreite. Kurz oberhalb der Wehranlage befindet sich am orografisch rechten Ufer eine Ausleitung in einen Wässergraben (Abb. 2). An diesem Wässergraben wurde etwa 20 m unterhalb der Ausleitung 2015 eine Wasserkraftschnecke gebaut, welche das Triebwasser wieder in die Roth einleitet (Durchstich). Die Wasserkraftschnecke hat einen Durchmesser von 3,2 m, eine Länge von 5,4 m und verfügt über vier Windungen. Sie ist in einem Winkel von 22° in einem offenen Trog eingebaut. Am Turbinenauslauf ist eine manuell steuerbare Schütztafel aus Holz zur Regulierung des Wasserspiegels installiert. Die Wasserkraftschnecke erreicht bei einer Fallhöhe zwischen 1,60 m und 3,45 m und einem Durchfluss von 5 m³/s eine Ausbauleistung von 80 kW. Die Drehzahl variiert je nach Durchfluss zwischen 3 U/min und 26 U/min. Vor dem Turbineneinlauf der Wasserkraftschnecke ist ein Grobrechen mit horizontalen Stäben und einem Stababstand von 120 mm installiert. Auf der orografisch linken Seite wurde parallel zur Wasserkraftschnecke eine Fischaufstiegschnecke gebaut, welche die Fische ins Oberwasser befördern soll.

Das Gesamtprojekt zum fischökologischen Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen wird im Projektband 1 (MUELLER ET AL. 2020a) beschrieben. Ausführliche Informationen über den Standort Heckerwehr an der Roth und die dort für das Monitoring verwendete technische Ausstattung enthält Projektband 6 (MUELLER ET AL. 2020f).



Abb. 1: Wasserkraftschnecke Heckerwehr an der Roth während der Untersuchungen durch den Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie im Frühjahr 2016. Blick von oben auf die Wehranlage und Standortaufbau

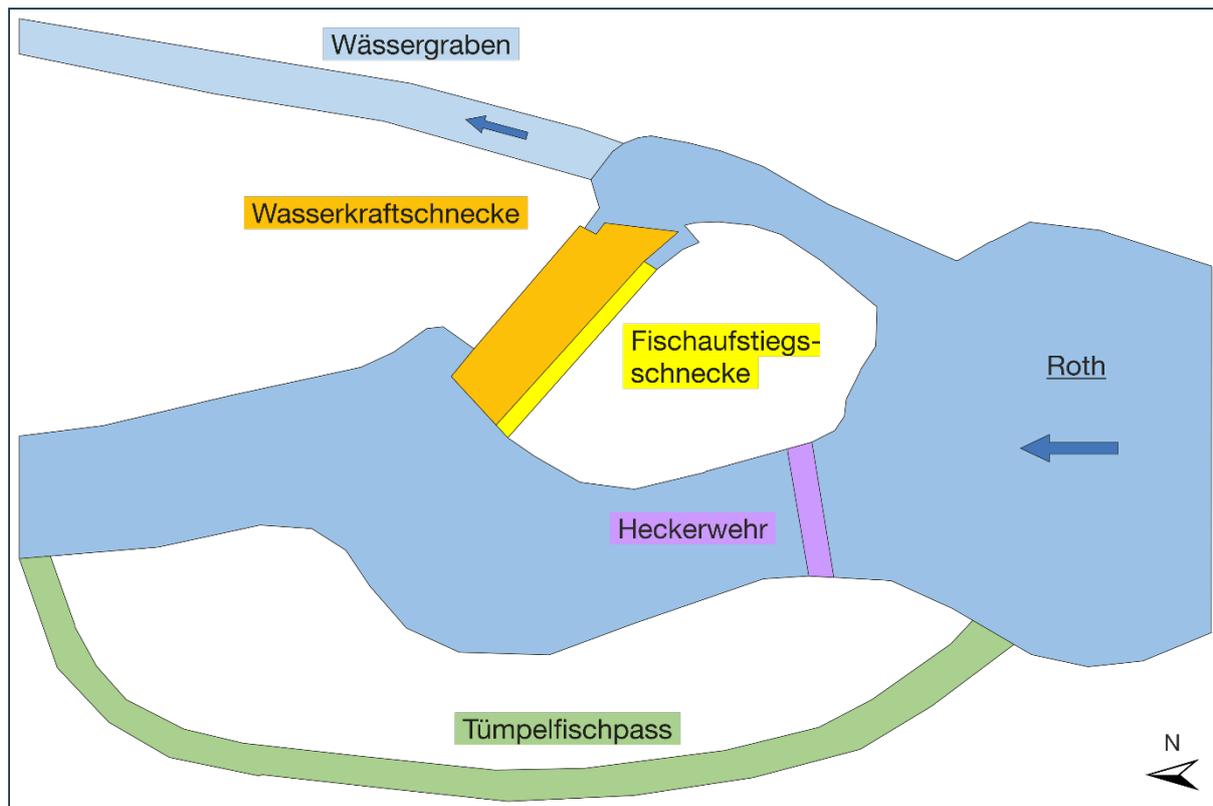


Abb. 2: Schematische Lageskizze des Untersuchungsstandorts Heckerwehr an der Roth

2 Methoden

2.1 Fischabstieg, Fischschäden und physikalische Bedingungen bei der Turbinenpassage sowie Fischaufstieg (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 Heckerwehr an der Roth mit dem Einsatz von Sensorfischen untersucht, welchen physikalischen Bedingungen Fische bei der Turbinenpassage ausgesetzt sind. Im Zuge der Untersuchungen wurde außerdem auch die Fischaufstiegsschnecke am Standort Heckerwehr als Sonderlösung für den Fischaufstieg beprobt.

2.1.1 Fischabstieg und Fischschäden

An der Kraftwerksanlage Heckerwehr an der Roth können Fische im Regelfall nur über den Turbinenkorridor vom Oberwasser in das Unterwasser gelangen. Temporär, beispielsweise bei Hochwasser, können die Fische zusätzlich über die Wehranlage ins Unterwasser gelangen. Dieser Korridor konnte aber aufgrund der räumlichen Situation nicht beprobt werden. Der Fischabstieg über die Turbine sollte bei der Untersuchung möglichst vollumfänglich erfasst werden. Am Standort Heckerwehr wurde daher ein Hamen in die U-Profile der Revisionsverschlüsse am Turbinenauslauf eingesetzt. Auf der orografisch links gelegenen Seite des Haupthamens, am Zugang zur Aufstiegsschnecke, wurde ein weiterer, kleinerer Hamen angebracht, um den gesamten Abstiegskorridor abzudecken. Die beiden Hamen

wurden von einem Schlauchboot aus geleert. Ein Hamen ist ein sich trichterförmig verjüngender Netzsack mit abnehmender Maschenweite, an dessen Ende sich ein Fangnetz, Steertreue genannt, befindet.

Der natürliche Fischabstieg wurde im Frühjahr und Herbst 2016 an insgesamt 41 Versuchstagen beprobt. Die Netzleerungen erfolgten alle zwei Stunden und wurden gleichmäßig auf die erste Tageshälfte (Sonnenaufgang bis 12:00 Uhr), die zweite Tageshälfte (12:00 Uhr bis Sonnenuntergang), die erste Nachthälfte (Sonnenuntergang bis 00:00 Uhr) und die zweite Nachthälfte (00:00 Uhr bis Sonnenaufgang) verteilt. Die Beprobung ermöglichte so Rückschlüsse darauf, zu welchen Tageszeiten der Fischabstieg bevorzugt erfolgte. Sowohl während des Untersuchungszeitraums des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr als auch im Herbst 2016 wurden außerdem Fische im Oberwasser der Kraftwerksanlage mithilfe von Elektrofischerei 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 Frühjahr und Herbst 2016 Versuche mit standardisierten Fischzugaben. Diese Versuche wurden bei niedriger Turbinenlast (Mittelwerte für Leistung, Drehzahl und Durchfluss über beide Versuchszeiträume: 19 kW, 8 U/min, 1,5 m³/s) und hoher Turbinenlast (41 kW, 18 U/min, 3,3 m³/s) durchgeführt. Dabei wurden 15.202 Versuchsfische der Arten Aal, Nase, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotaugen und Äsche oberhalb der Wasserkraftanlage eingesetzt und nach der Passage gefangen und untersucht (Tierversuchsgenehmigung 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 (1.606 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 Rechen und an den Hamen gemessen (siehe MUELLER ET AL. 2020f).

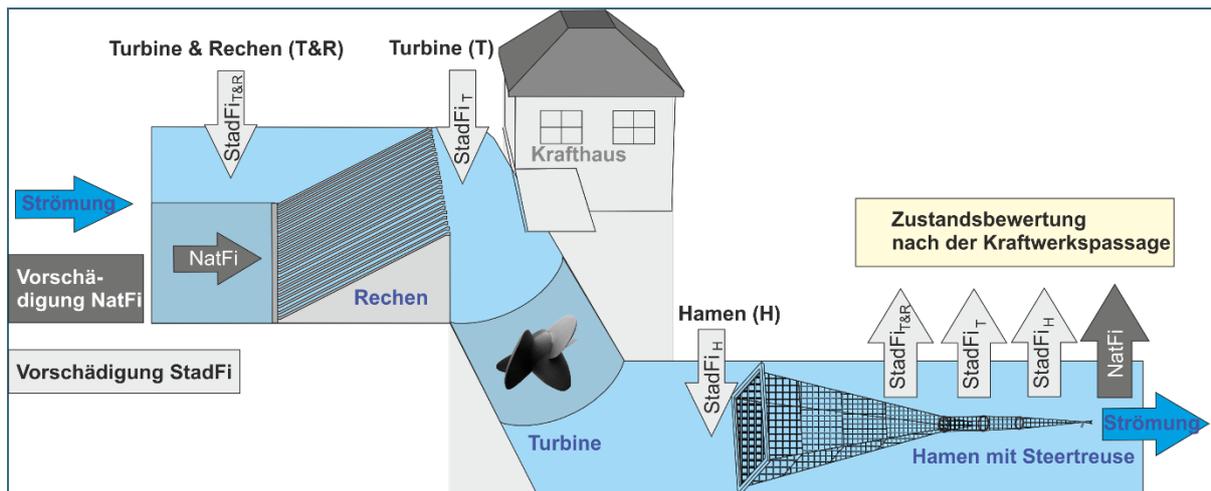


Abb. 3: Schematische Darstellung der verschiedenen Zugabe- und Entnahmestellen für Fische des natürlichen Fischbestands (NatFi) und aus den standardisierten Fischzugaben (StadFi), abgeändert nach MUELLER ET AL. (2017). T&R = Passage der Fische durch Turbine und Rechen bei Fischzugabe oberhalb des Rechens, 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 und 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 (1.082 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 Ergebnisdigramme 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). Zusammenhänge zwischen Fischlänge und Fischschädigung wurden mithilfe von Korrelationsanalysen und linearen Modellen untersucht. 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 Wasserkraftschnecke am Standort Heckerwehr an der Roth 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. Insgesamt wurden 32 Sensorfisch-Datensätze ausgewertet (17 für niedrige Turbinenlast, 15 für hohe Turbinenlast).

2.1.3 Funktionalität der Fischaufstiegsschnecke

Fischaufstiegsschnecken sind im Vergleich zu konventionellen Fischaufstiegsanlagen eine neue und bisher noch wenig untersuchte Technologie zur Verbesserung der ökologischen Durchgängigkeit. Aus diesem Grund wurde deren Funktionalität im Zuge des Projekts zusätzlich untersucht.

Um Fische, die durch die Aufstiegsschnecke aufgestiegen sind, erfassen zu können, wurde eine Holzkonstruktion, an der ein Fangnetz montiert war, bündig am Ausstieg der Aufstiegsschnecke im Oberwasser eingesetzt. Zur Untersuchung des natürlichen Fischaufstiegs wurde die Aufstiegsschnecke an elf Tagen im September 2016 und an 43 Tagen im Frühjahr 2017 beprobt. In diesem Zeitraum waren die Turbinenhamen nicht installiert. Die Effektivität der Fischaufstiegsschnecke wurde dabei nach dem BWK Methodenstandard für die biologische Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen (EBEL ET AL. 2006) bewertet.

Außerdem wurde die Fischaufstiegsschnecke auch während der Untersuchungen mit standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2016 durchgehend beprobt. Da der Einstiegsbereich der Aufstiegsschnecke im Unterwasser durch die Turbinenhamen abgesperrt war, wurden dabei ausschließlich Versuchsfische erfasst, die nach der Turbinenpassage vom Bereich des Turbinenauslaufs wieder über die Aufstiegsschnecke zurück ins Oberwasser gewandert sind.

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 nach dem Bau des Kraftwerks zu charakterisieren und zu quantifizieren. Die Gewässerabschnitte wurden zu diesem Zweck im unmittelbaren Ober- und Unterwasser jeweils vor und nach dem Kraftwerksbau 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 Heckerwehr an der Roth beprobte das Projektteam je 15 Untersuchungsstrecken in drei Längsspuren im Ober- und Unterwasser des Kraftwerks.

Um zusätzlich auch saisonale Unterschiede zu berücksichtigen, fanden die Beprobungen jeweils zweimal vor dem Bau des Kraftwerks (im Juli/August 2014 und im März/April 2015) und danach (im April 2016 und im Juli 2016) statt.

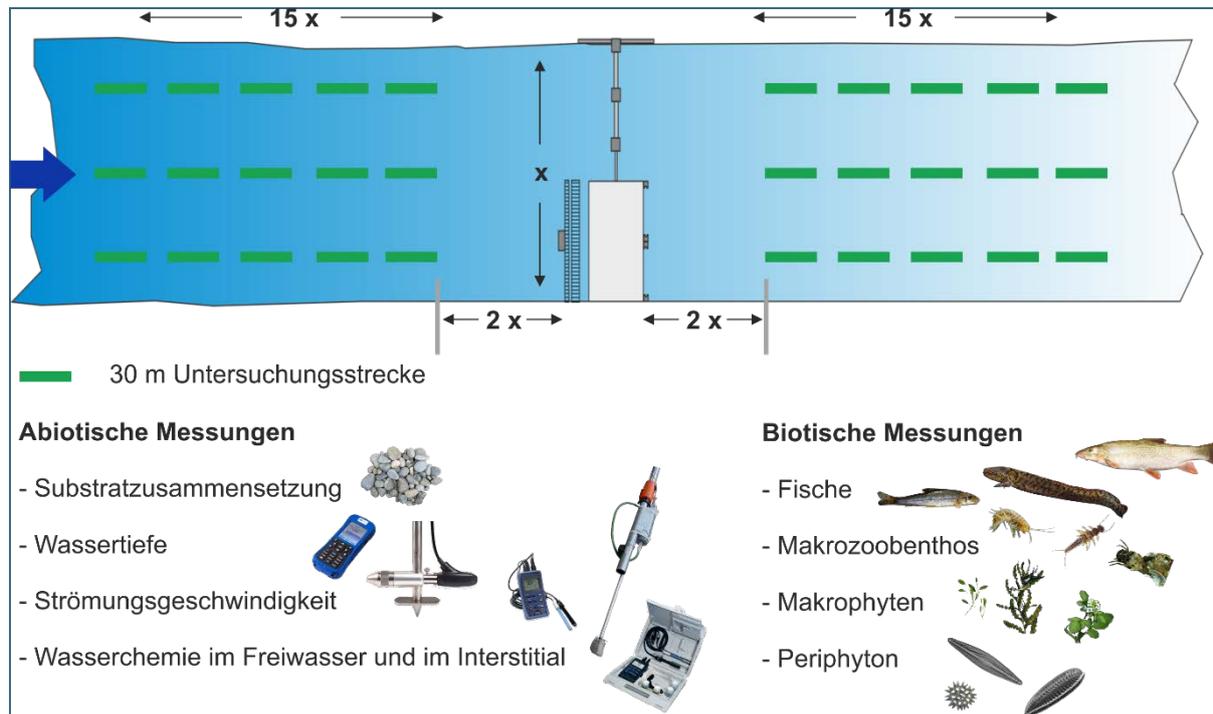


Abb. 4: Schema der Habitatuntersuchungen in Projektteil B, hier dargestellt für je drei Längsspuren im Ober- und Unterwasser. Die genannten abiotischen und biotischen Messungen werden in jeder der 30 m langen Untersuchungsstrecken durchgeführt (x = Gewässerbreite, $2x$ = Sicherheitsabstand zum Wehr, 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 cm² (insgesamt 20 cm²) 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 m²) 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 Elektrobefischung 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 und Diskussion

3.1 Erkenntnisse zu Fischabstieg und Fischschäden sowie physikalischen Bedingungen bei der Turbinenpassage (Projektteil A)

3.1.1 Artenspektrum sowie Muster des natürlichen Fischabstiegs

Am Standort Heckerwehr an der Roth wandern oder verdriften Fische wie auch in anderen Fließgewässern nach flussabwärts. Dies betrifft einen Großteil der Arten, die bei den Elektrofischungen im Oberwasser erfasst wurden. Die Arten Bachschmerle, Hecht, Laube und Karpfen wurden nur bei den Elektrofischungen im Oberwasser nachgewiesen, während der Dreistachlige Stichling (3 Individuen) nur bei den Untersuchungen zum natürlichen Fischabstieg, aber nicht bei den Elektrofischungen erfasst wurde. Bei den Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs 2016 wurden in den beiden Fangeinrichtungen am Turbinenauslauf insgesamt 579 Fische gefangen (durchschnittlich ein Fisch pro Untersuchungsstunde; 0,15 Fische/1.000 m³ Wasservolumen). Die häufigsten der 21 dabei festgestellten Arten waren Rotauge, Blaubandbärbling, Rotfeder und Schleie. Der Anteil gebietsfremder Arten (insbesondere Blaubandbärbling und Schwarzmundgrundel) am Gesamtfang war mit ca. 18 % (91 Individuen) bemerkenswert hoch. Strömungsliebende Arten (vor allem Gründling) hatten einen Anteil von insgesamt 8 % (45 Individuen) am Gesamtfang. Den größten Anteil am Gesamtfang hatten kleinstwüchsige Fischarten, 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. Von klassischen Lang- bzw. Mitteldistanzwanderfischarten wie Aal, Barbe oder Nase wurden während des Untersuchungszeitraums nur wenige Individuen in den Turbinenhamen gefangen. Insgesamt war die Zahl der gefangenen Fische nachts etwas höher als tagsüber; zwischen erster und zweiter Tageshälfte bzw. erster und zweiter Nachthälfte wurden dagegen keine Unterschiede festgestellt. Im Herbst war die Anzahl gefangener Fische im Schnitt nur geringfügig höher als im Frühjahr. Zudem bevorzugten die einzelnen Fischarten unterschiedliche Tages- und Jahreszeiten für den Abstieg (KNOTT ET AL. 2020, MUELLER ET AL. 2020f). Die Arten Blaubandbärbling, Zander und Schleie wurden nachts häufiger gefangen als tagsüber, wohingegen die Arten Rotauge und Rotfeder häufiger am Tag gefangen wurden. Vor allem Rotaugen wurden im Herbst häufiger als im Frühjahr in den Fangeinrichtungen am Turbinenauslauf nachgewiesen. Die Arten Blaubandbärbling und Rotfeder wurden hingegen im Frühjahr häufiger gefangen als im Herbst (vergleiche Abb. 5).

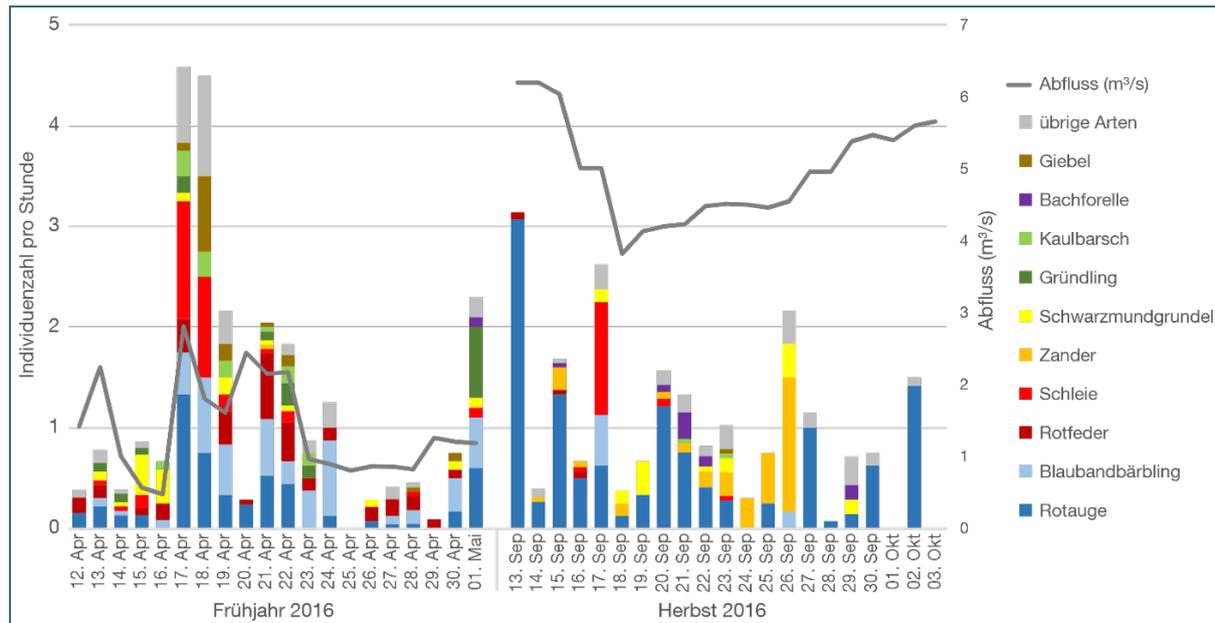


Abb. 5: Zusammensetzung der Fischarten beim natürlichen Fischabstieg: Die Abbildung zeigt die mittlere Individuenzahl jeder Art pro Stunde (y-Achse links) und den mittleren Tagesabfluss der Roth am Pegel Roth Bleiche (y-Achse rechts) aufgeschlüsselt nach den einzelnen Untersuchungstagen im Frühjahr und Herbst 2016. Einzeln dargestellt sind die zehn 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** an der Wasserkraftschnecke Heckerwehr an der Roth lagen die Mortalitätsraten der Fische, die Turbine und Rechen passiert haben, über alle getesteten Arten je nach Berechnungsweg zwischen 4,3 % und 12,8 % (vergleiche Abb. 6). Bei der Berechnung wurden die fangbedingte Mortalität und die verzögerte Mortalität berücksichtigt (siehe Band 1:

MUELLER ET AL. 2020a). Über alle Versuchsgruppen („Turbine & Rechen“, „Turbine“ und „Hamen“) konnten 41 % (6.206 Individuen) der eingesetzten Versuchsfische wiedergefangen und für die Ermittlung der Mortalität verwendet werden. Ein großer Teil der Fische (37–63 % je nach Berechnungsweg; Anteil an der Summe aller verstorbenen Individuen über alle Fischarten) verstarb nicht unmittelbar nach der Turbinenpassage, sondern verzögert innerhalb der 96 h Beobachtungsphase.

Aal, Bachforelle und Barbe wiesen eine sehr niedrige Mortalität von kleiner 2 % auf. Für die Arten Nase und Rotauge wurden je nach Berechnungsweg höhere Mortalitätsraten zwischen 9 % bis 13 % bzw. 1 % bis 21 % ermittelt. Bei der Äsche lag die Mortalität zwischen 0,6 % und 12 %. Die Unterschiede zwischen kraftwerksbedingten und fangbedingten Effekten waren dabei teilweise so gering, dass es zufallsbedingt in einzelnen Fällen zu höheren Mortalitätsraten in der Kontrollgruppe „Hamen“ als in den Versuchsgruppen mit Turbinenpassage kam (siehe Aal, Bachforelle und Rotauge, Abb. 6). Von allen Fischarten war die Mortalität nach Passage der Wasserkraftschnecke mit 23 % bis 50 % beim Flussbarsch am höchsten.

Auffällig war dabei, dass bei den Flussbarschen in allen Versuchsgruppen einschließlich der Kontrollgruppe „Vorschädigung“ sehr hohe verzögerte Mortalitätsraten innerhalb der 96 h Beobachtungsphase auftraten (7 % in der Kontrollgruppe „Vorschädigung“ bis 50 % in der Versuchsgruppe „Turbine & Rechen“ bei Niedriglast). Dies deutet darauf hin, dass die Flussbarsche bereits bei der Anlieferung in geschwächter Kondition waren, was vermutlich in allen Versuchsgruppen zu erhöhten Mortalitätsraten führte. Dennoch ergab sich eine sehr klare Trennung zwischen Turbineneffekten und fangbedingten

Effekten (deutlich höhere Mortalitätsraten in den Versuchsgruppen mit Turbinenpassage als in der Kontrollgruppe „Hamen“). Es ist daher davon auszugehen, dass auch eine ansonsten relativ wenig fischschädliche Turbinentechnik auf bereits vorgeschädigte Fische einen starken negativen Einfluss haben kann.

Bei einigen der untersuchten Arten unterschied sich die Mortalität deutlich zwischen den Lastzuständen: Die Mortalität der Arten Flussbarsch und Rotaugen war bei niedriger Turbinenlast höher als bei hoher Turbinenlast, während sie bei der Äsche bei Hochlast höher war.

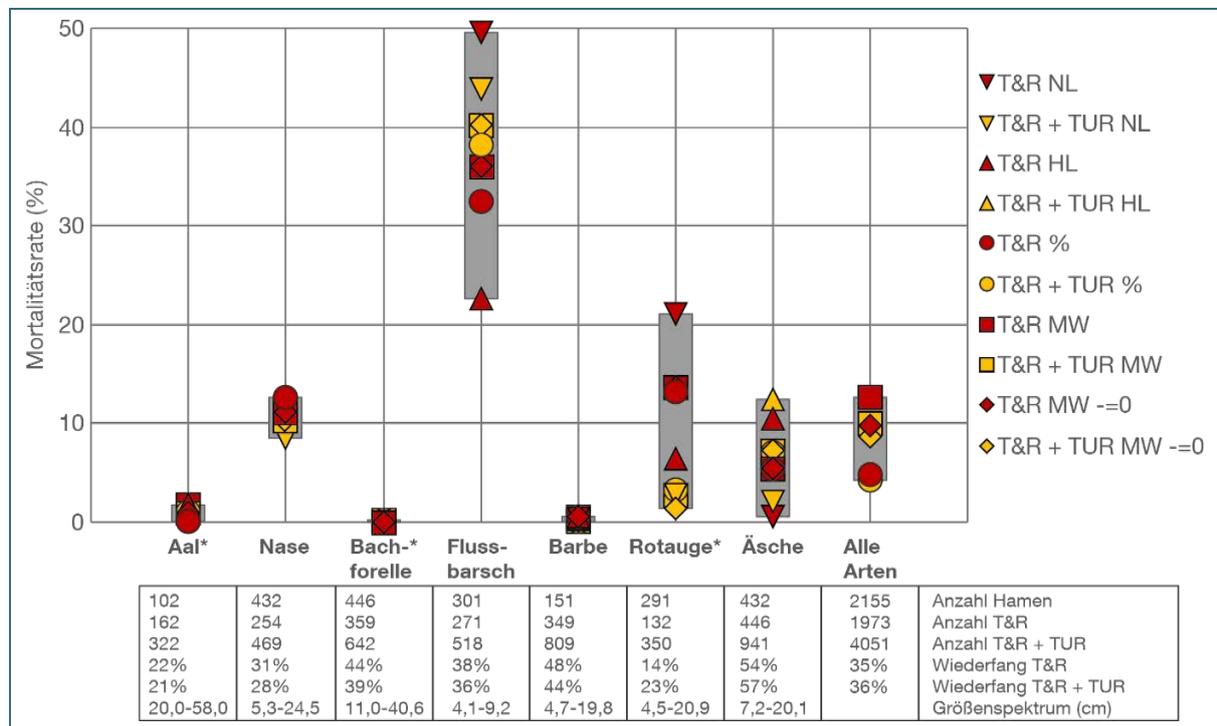


Abb. 6: Fischartenspezifische **Mortalitätsraten bei den standardisierten Fischzugaben** in der Versuchsgruppe „Turbine & Rechen“ (T&R) und zusammengefasst für die Versuchsgruppen „Turbine & Rechen“ und „Turbine“ (T&R + TUR) nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe „Hamen“ bei niedriger (NL) und hoher (HL) Turbinenlast. 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. über niedrige und hohe Turbinenlast gemittelte Raten (MW) an der Wasserkraftschnecke am Standort Heckerwehr an der Roth. Im Falle von höheren Mortalitäten in der Kontrollgruppe „Hamen“ ergaben sich negative kraftwerksbedingte Mortalitätsraten. Diese wurden entweder aus der Berechnung ausgeschlossen oder gleich 0 gesetzt (=0). Fischarten, bei denen in den verschiedenen Berechnungswegen negative Mortalitätsraten auftraten, sind mit * gekennzeichnet. Der graue Balken symbolisiert den Wertebereich der ermittelten Mortalitätsraten. Zur Berechnung der Mortalitätsraten siehe MUELLER ET AL. 2020a

Insgesamt fielen die berechneten Mortalitätsraten aber deutlich niedriger aus, als es für konventionelle Kraftwerke mit Kaplan- oder Francis-Turbinen bekannt ist (vergleiche EBEL 2013). Insbesondere beim Aal lagen die Mortalitätsraten (kleiner 2 %) deutlich unter den in der Literatur angegebenen Werten zwischen 30 % und 67 % (z. B. CALLES ET AL. 2010: 30 %, CALLES ET AL. 2012: 67 %, SCHNEIDER & HÜBNER 2017: 32 %).

In früheren Studien an Wasserkraftschnecken wurden sehr variable Mortalitätsraten zwischen 5 % und 81 % ermittelt (TOMBEEK & HOLZNER 2008, SCHMALZ 2010, EDLER ET AL. 2011 SCHNELL & ACHE 2012). Es ist zu beachten, dass in den hier genannten Studien der natürliche Fischabstieg untersucht wurde und daher keine fangbedingten Effekte oder Vorschäden differenziert werden konnten. Dies könnte zu einer Überschätzung der tatsächlichen Mortalität geführt haben. Aber

auch in einer Studie mit standardisierten Fischzugaben an einer 28 m langen Wasserkraftschnecke (Fallhöhe 10 m) wurden zum Teil erhebliche Schädigungsraten festgestellt: Zwischen 17 % und 55 % der Versuchsfische waren nach Passage der Wasserkraftschnecke sofort tot oder schwer verletzt und nicht mehr überlebensfähig (BAEYENS ET AL. 2019). In weiteren Studien an Wasserkraftschnecken lagen die Mortalitätsraten bei besenderten Lachssmolts unter 10 % (HAVN ET AL. 2017) und bei absteigenden Aalen an einer Pump-Wasserkraftschnecke unter Berücksichtigung von verzögerter Mortalität zwischen 14 % bis 19 % (BUYSSE ET AL. 2015).

Zusätzlich zu der oft unterschiedlichen Methodik bei der Ermittlung von Mortalitätsraten müssten bei einem Vergleich von Literaturwerten auch das eingesetzte Größenspektrum der Versuchsfische sowie weitere standortspezifische Unterschiede beachtet werden. Dazu zählen etwa die Fallhöhe, die untersuchten Lastzustände und die Wiederfangraten, aber auch turbinenbedingte Faktoren wie etwa die Drehzahl, der Durchmesser und die Anzahl der Windungen bei der Wasserkraftschnecke. Ein Vergleich mit Literaturdaten ist deshalb nur bedingt aussagekräftig, erlaubt aber dennoch eine grobe Einordnung der Ergebnisse zu unterschiedlichen Wasserkraftanlagen.

Die Analyse der **äußeren und inneren Verletzungen** lässt darauf schließen, dass durch die Passage der Wasserkraftschnecke überwiegend Verletzungen entstehen, die nicht unmittelbar tödlich sind. Dazu zählen etwa Schuppenverluste, Einrisse in den Flossen, Pigmentveränderungen und Gasblasen in den Augen oder anderen Körperbereichen. Bei der Analyse der inneren Verletzungen fielen insbesondere nach der Turbinenpassage verstorbene Bachforellen auf, da diese im Vergleich zu den Fischen, die die Turbinenpassage überlebt hatten, eine deutlich höhere Intensität verschiedener Verletzungen (insbesondere Verformungen knöcherner Strukturen und Gasblasen) aufwiesen. Auch wenn es sich dabei nur um eine geringe Anzahl an verstorbenen Bachforellen handelt (7 Individuen, Größenspektrum 15–26 cm), zeigt dieses Ergebnis, dass die Passage der Wasserkraftschnecke auch tödliche Verletzungen verursachen kann. Der nach eigenen Messungen zum Zeitpunkt der Untersuchungen etwa 10 mm breite Spalt zwischen Schnecke und Trog kann dabei möglicherweise eine Ursache von Verformungen knöcherner Strukturen sein, während starke Turbulenzen im Turbinenauslauf wahrscheinlich für die erhöhte Intensität von Gasblasen bei den Versuchsfischen verantwortlich waren. Darüber hinaus wurden bei den Sensorfischuntersuchungen während der Turbinenpassage (insbesondere an den Eintrittskanten der Wasserkraftschnecke und an der Schützttafel am Turbinenauslauf bzw. beim Eintritt ins Unterwasser) Kollisionen in einer Stärke beobachtet, die ebenfalls als Ursache von Verformungen der knöchernen Strukturen in Frage kommen können (BOYS ET AL. 2018). Zudem sind auch Fische nach der Kraftwerkspassage verstorben (insbesondere Flussbarsch und Rotaugen), die keine äußerlich oder innerlich sichtbaren, eindeutig tödlichen, Verletzungen aufwiesen. Dies ist vermutlich auf Stress zurückzuführen. Bei den Fischarten Flussbarsch, Rotaugen und Äsche zeigte sich weiter, dass die Mortalität mit zunehmender Totallänge abnahm. Die erhöhte Mortalität bei kleineren Fischen dieser Arten könnte durch den Spalt zwischen Schnecke und Trog oder wie bereits erwähnt durch eine höhere Stressanfälligkeit verursacht worden sein.

Für den **natürlichen Fischabstieg** lag die Mortalitätsrate (sofortige und verzögerte Mortalität nach 72 h Hälterung) durch Turbine und Rechen bei 28 % (berechnet als Anteil toter Individuen am Gesamtfang). Unter den am häufigsten gefangenen Fischarten (Arten mit mehr als zehn gefangenen Fischen) war die Mortalität bei Rotfeder und Zander mit 69 % (32 Fische) bzw. 60 % (20 Fische) am höchsten. Gründling und Bachforelle wiesen die geringste Mortalität mit 0 % (12 Fische) bzw. 8 % (12 Fische) auf. 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 0 % und 73 % (Minimum und Maximum der getesteten Fischarten; Maximum: Flussbarsch bei Hochlast; Mittelwert über alle Fischarten: 12 %). Von den Fischen, die mittels Elektrofischung im Oberwasser der Kraftwerksanlage zur Abschätzung der Vorschädigung gefangen wurden, sind 3 % 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 (Anteil toter Fische am Gesamtfang über alle Fischarten) beim natürlichen Fischabstieg im Vergleich zu den standardisierten Fischzugaben deutlich höher war.

3.1.3 Funktionalität der Fischaufstiegsschnecke

Während der standardisierten Fischzugaben wurden insgesamt 191 Fische (101 Aale, 38 Bachforellen, 29 Barben, 14 Äschen, 8 Nasen, 1 Flussbarsch) in der Fangeinrichtung oberhalb der Fischaufstiegsschnecke gefangen. Die gefangenen Fische stammten überwiegend aus der Versuchsgruppe „Hamen“ (73 Individuen), in welcher die Fische direkt vor dem Fanghamen der Wasserkraftschnecke im Unterwasser ausgesetzt wurden. Es wurden aber außerdem regelmäßig Fische aus den Versuchsgruppen „Turbine & Rechen“ (56 Individuen) und „Turbine“ (62 Individuen) gefangen. Dies bedeutet, dass die Fische zunächst durch die Wasserkraftschnecke abgestiegen sind und anschließend wieder über die Fischaufstiegsschnecke ins Oberwasser transportiert wurden. Bei diesen Ergebnissen zum Fischaufstieg ist zu berücksichtigen, dass der Abstiegskorridor durch die Turbinenhamen blockiert war und nur Fische aufsteigen konnten, die sich entweder im Zwischenraum zwischen Schneckenauslauf und Hameneingang aufgehalten haben oder zuvor über die Wasserkraftschnecke abgestiegen waren.

Während der elftägigen Beprobung des natürlichen Fischaufstiegs im September 2016 (ohne eingebaute Turbinenhamen) wurden an drei von elf Tagen insgesamt elf aufgestiegene Fische (9 Rotaugen, 1 Aal, 1 Bachforelle) in der Fangeinheit der Fischaufstiegsschnecke nachgewiesen. Bei der weiteren Beprobung im Frühjahr 2017 wurden an 20 Untersuchungstagen 47 Fische (28 Aale, 10 Rotaugen, 7 Barben, 1 Mühlkoppe, 1 Zander) in der Fangeinheit der Fischaufstiegsschnecke nachgewiesen, an 23 Tagen war die Fangeinheit leer (Abb. 7). Der kleinste Fisch war der Zander mit 6 cm Länge und der größte ein Aal mit 50 cm Körperlänge. Die Arten Rotauge und Mühlkoppe wurden ausschließlich in der ersten Untersuchungsperiode Ende März gefangen. Aale hingegen nutzten die Aufstiegsschnecke erstmals Ende April und dann verstärkt ab Anfang Juni. Ein Grund dafür könnte der starke Anstieg der Wassertemperaturen auf durchschnittlich 20°C in der Untersuchungsperiode von Ende Mai bis Mitte Juni sein, wodurch vermutlich auch die Aalaktivität zunahm.

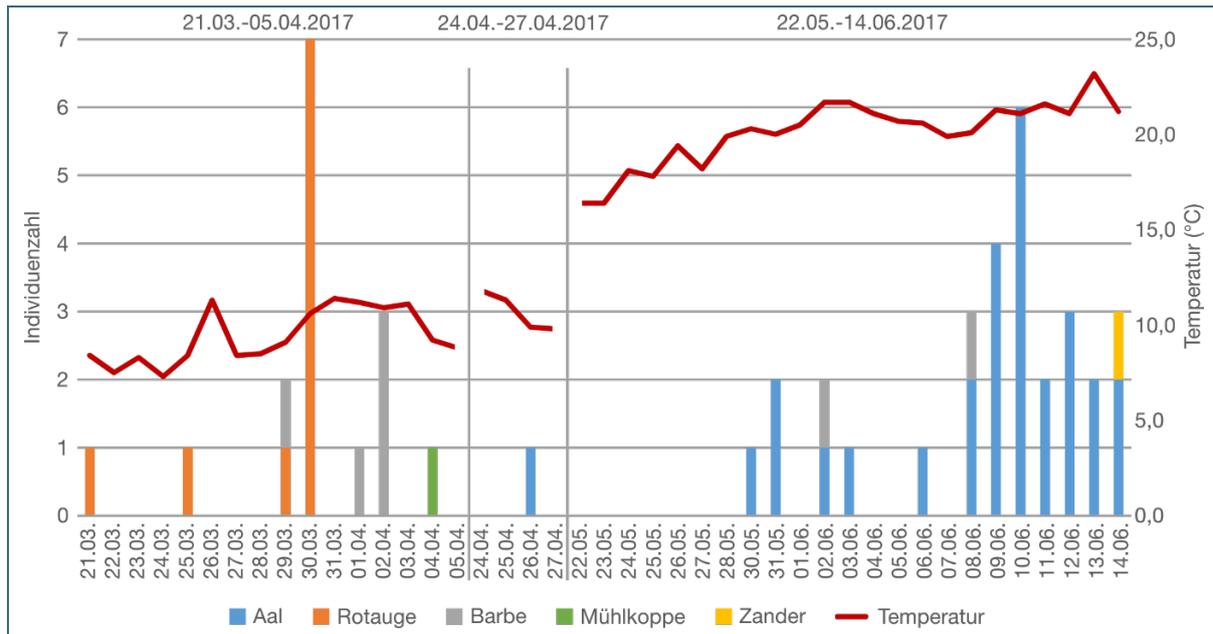


Abb. 7: Individuenzahlen der in der Fangeneinheit der Fischaufstiegsschnecke nachgewiesenen Fischarten (y-Achse links) und Verlauf der Wassertemperatur (y-Achse rechts) aufgeschlüsselt nach den einzelnen Untersuchungstagen im Frühjahr 2017

Insgesamt sind 58 Individuen verteilt auf sechs Fischarten während der Beprobung des natürlichen Fischaufstiegs und weitere 191 Individuen verteilt auf ebenfalls sechs Fischarten während der standardisierten Fischzugaben über die Fischaufstiegsschnecke aufgestiegen. Dieses Ergebnis zeigt, dass Fische generell von der Fischaufstiegsschnecke nach oben transportiert werden können. Die Analyse der Verletzungsmuster der aufgestiegenen Fische lässt weiterhin darauf schließen, dass der Transport durch die Fischaufstiegsschnecke für die Fische verletzungsfrei erfolgt.

Die Funktionalität der Fischaufstiegsschnecke wurde nach den Kriterien des BWK-Methodenstandards für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen (EBEL ET AL. 2006) bewertet. Damit erfolgte die Beprobung nach dem derzeitigen Stand des Wissens zum Monitoring von Fischaufstiegsanlagen (EBEL ET AL. 2006), in welchem sowohl die Art der Probenahme, der Zeitpunkt der Probenahme sowie der Umfang der Probenahme festgelegt sind. Für den Fischaufstieg ergab sich dabei eine Gesamteinstufung in die Qualitätsklasse „unbefriedigend“. Dieses Ergebnis kann zum einen von gewässerspezifischen Faktoren wie dem vorhandenen Fischbestand beeinflusst worden sein, zum anderen aber auch an einer mangelhaften Funktion der Aufstiegsschnecke liegen. Bei den Elektrobefischungen des Unterwassers wurden jedenfalls sehr geringe Fischdichten vor allem von bewertungsrelevanten Arten bzw. Altersstadien festgestellt. Da der BWK-Methodenstandard keine Mindestanzahl an gefangenen bewertungsrelevanten Fischen vorsieht, lässt sich nicht genau abschätzen, wie zuverlässig diese Methode bei einer sehr geringen Anzahl von bewertungsrelevanten nachgewiesenen Fischen ist.

Darüber hinaus wies die Konstruktion und die bauliche Ausführung der Fischaufstiegsschnecke zum Zeitpunkt der Untersuchung einige potenzielle Mängel auf, welche für die unbefriedigende Effektivität der Anlage verantwortlich sein können. Der sohlnahe Anschluss der Fischaufstiegsschnecke mit einer zu schmalen, steilen und glatten Rampe war nicht optimal gelöst. Außerdem waren die Verhältnisse im Vorbecken mit Schlitzöffnung im Eintrittsbereich sehr turbulent. Hier floss durch eine seitlich angebrachte, rechenförmige Abtrennung Wasser vom Auslauf der Wasserkraftschnecke ein und verursachte eine Querströmung im Einstiegsbereich der Fischaufstiegsschnecke. Diese Zusatzdotation, die

ursprünglich als Lockströmung für den Fischaufstieg vorgesehen war, führte darüber hinaus auch zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten am Eingangsschlitz des Vorbeckens.

3.2 Bewertung des Lebensraums (Projektteil B)

Die Untersuchungen der abiotischen und biotischen Parameter zeigten, dass die untersuchten Streckenabschnitte am Standort Heckerwehr anthropogen stark überprägt sind. Die Untersuchungen der abiotischen Habitateigenschaften ergaben dabei folgende Ergebnisse: Bei der flächigen Kartierung der Sohlsubstrattypen wurde im gesamten Untersuchungsgebiet ein hoher Flächenanteil an Feinsediment in den Korngrößen kleiner 2 mm festgestellt (vergleiche Abb. 8). Sowohl vor als auch nach dem Kraftwerksbau waren der Gewichtsanteil an Feinsediment in den Korngrößen kleiner 2 mm im Substrat im Oberwasser höher und die Sauerstoffversorgung im Interstitial (Kieslückensystem) schlechter als im Unterwasser, was auf einen großen Einfluss des Wehres hinweist: Durch den Aufstau und die dadurch verringerte Schleppkraft des Wassers kommt es zu einer erhöhten Sedimentation von Feinsediment im Oberwasser. Dies führt zu einer verstärkten Kolmation des Interstitials (Verstopfung der Poren durch Feinsediment), wodurch sich der Austausch zwischen Oberflächen- und Interstitialwasser verringert und die Sauerstoffversorgung im Interstitial verschlechtert. Der Kraftwerksbau hatte auf die abiotischen Parameter im Ober- und Unterwasser am Heckerwehr keine deutlichen Auswirkungen.



Abb. 8: Substratkartierung der Untersuchungsstrecken am Standort Heckerwehr an der Roth vor (links, August 2014) und nach (rechts, April 2015) dem Kraftwerksbau. Das hinterlegte Luftbild ist jeweils identisch und entstand vor dem Kraftwerksbau im Mai 2014

Die Untersuchung der aquatischen Lebensgemeinschaft am Standort Heckerwehr an der Roth ergab folgendes Bild: Bei den Elektrofischungen wurden 23 **Fischarten** gefangen, wobei die mit Abstand häufigste Art das Rotauge mit einem zahlenmäßigen Anteil von 73 % war. Gemeinsam mit den Arten Schwarzmundgrundel, Gründling und Rotfeder machten diese Fischarten 91 % des Fangs aus. Der Anteil gebietsfremder Arten (vor allem Schwarzmundgrundel und Marmorierter Grundel) am Gesamtfang war mit 16 % relativ hoch. Strömungsliebende Fischarten hatten einen Anteil von 4 % am Gesamtfang, wovon der Gründling die häufigste strömungsliebende Art war. Bei den Arten Nase, Barbe und Bachforelle wurden deutliche Defizite im Populationsaufbau festgestellt (Abb. 9). Die Mehrzahl der gefangenen Bachforellen und Nasen waren wahrscheinlich Versuchsfische, die im Zuge der standardisierten Fischzugaben in die Roth eingesetzt wurden. Die strömungsliebenden Leitarten Gründling, Bachschmerle, Hasel, Barbe und Nase waren im Vergleich zur Referenzzönose stark unterrepräsentiert. Die Leitart Aitel wurde überhaupt nicht nachgewiesen.

Die **Makrozoobenthosgemeinschaft** zeichnete sich durch einen sehr hohen Anteil anspruchsloser Taxa aus, die tolerant gegenüber einem hohen Anteil von Feinsediment und Sauerstoffmangel im Substrat sind. Darunter waren vor allem Wenigborster (Oligochaeta) und Zuckmückenlarven (Chironomidae) mit einem Anteil an der Gesamtindividuenzahl von insgesamt über 70 %. Außerdem war der Anteil an gebietsfremden Arten (vor allem invasive Flohkrebse der Art *Dikerogammarus villosus*) an der Gesamtindividuenzahl mit insgesamt 14 % relativ 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 6: Feinmaterialreiche, karbonatische Mittelgebirgsbäche, EPT-Anteil bis zu 65 %; MEIER ET AL. 2006) nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtindividuenzahl von insgesamt 6 %.

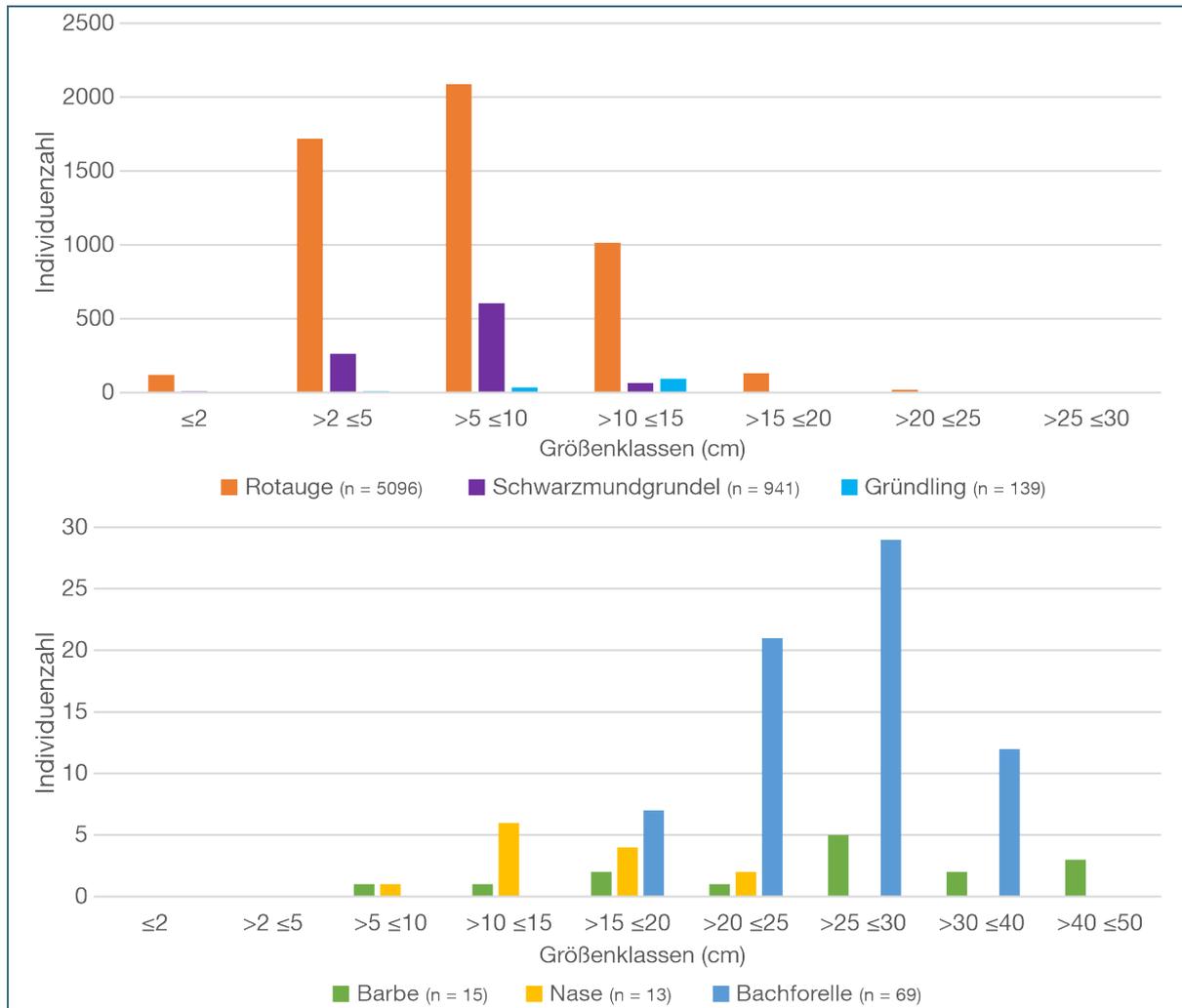


Abb. 9: Artsspezifische Längen-Häufigkeitsverteilungen am Standort Heckerwehr an der Roth für die drei häufigsten im Oberwasser und Unterwasser gefangenen Fischarten Rotaugen, Schwarzmundgrundel und Gründling sowie für die drei strömungsliebenden Arten Barbe, Nase und Bachforelle (n = Gesamtindividuenzahl). Die Einteilung der Größenklassen (x-Achse, Angabe 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 mit in die Auswertung ein) unterschied sich deutlich zwischen **Ober- und Unterwasser** (vergleiche Abb. 10). Sowohl vor als auch nach dem Kraftwerksbau war der Anteil der gebietsfremden Fischart Schwarzmundgrundel an der aquatischen Lebensgemeinschaft im Unterwasser höher als im Oberwasser, während im staubeinflussten Oberwasser vor allem der Anteil der strömungsindifferenten Fischart Rotaugen höher war. Von den nachgewiesenen Makrozoobenthos-Taxa hatten vor allem Wenigborster (Oligochaeta) im Oberwasser sowohl vor als auch nach Kraftwerksbau einen höheren Anteil an der aquatischen Lebensgemeinschaft als im Unterwasser. Außerdem wurden im Unterwasser vor dem Kraftwerksbau höhere Anteile von Kieselalgen der Gattung *Navicula* sowie Blaualgen der Gattung *Aphanocapsa* erfasst als im Oberwasser.

Sowohl im Ober- als auch im Unterwasser war der Anteil an relativ anspruchslosen Pionierbesiedlern wie Wenigborstern und verschiedenen Unterfamilien der Zuckmücken (Orthocladiinae, Podonominae, Diamesinae, Buchonomyiinae) nach dem Kraftwerksbau höher als vor dem Kraftwerksbau. Insgesamt

hat sich das Ausmaß des Unterschieds in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen Ober- und Unterwasser nach dem Kraftwerksbau nicht wesentlich verändert.

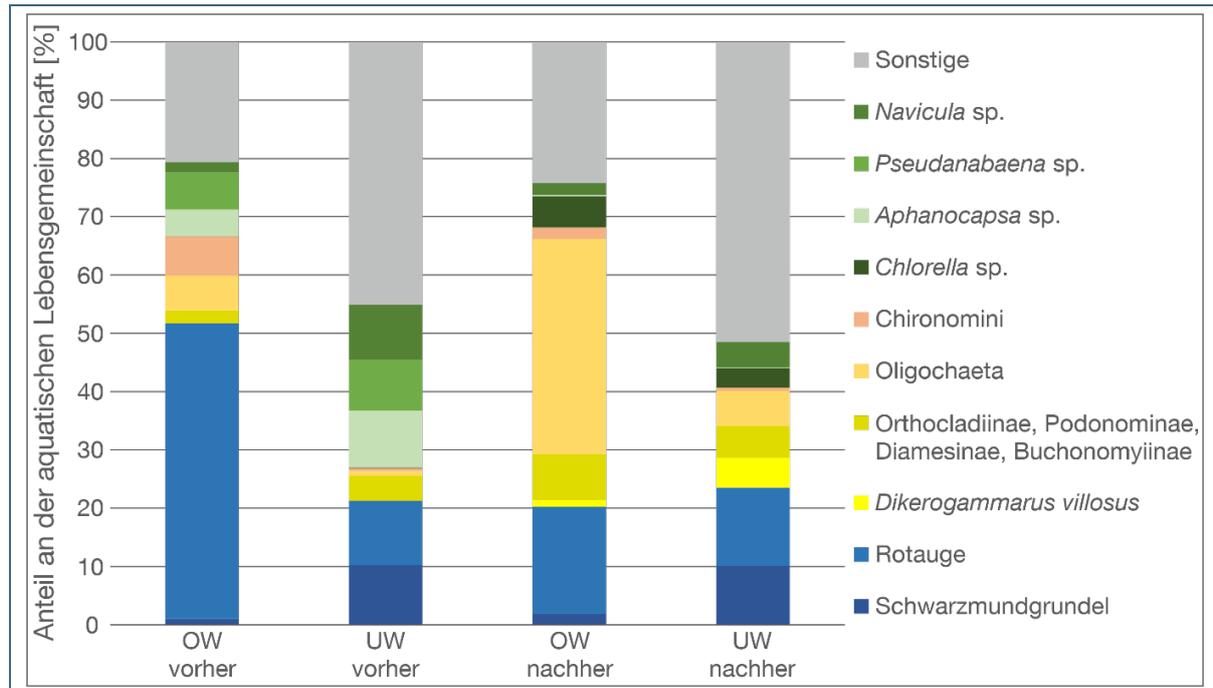


Abb. 10: Prozentuale Zusammensetzung der Taxa der aquatischen Lebensgemeinschaft. Einzel dargestellt sind die Arten, die in mindestens einem Gewässerbereich einen Anteil von mehr als 5 % an der Gesamtindividuenzahl hatten, alle übrigen Arten wurden zusammengefasst. (OW = Oberwasser, UW = Unterwasser, vorher = vor Bau der Wasserkraftschnecke, nachher = nach Bau der Wasserkraftschnecke). Farblich abgebildet sind die Fischarten: Schwarzmundgrundel und Rotaugen; Makrozoobenthos: *Dikerogammarus villosus* (Großer Höckerflohkrebs), Orthoclaadiinae, Podonominae, Diamesinae, Buchonomyiinae (Unterfamilien der Zuckmücken), Oligochaeta (Wenigborster) und Chironomini (Tribus der Zuckmücken); Periphyton: *Chlorella* sp. (Grünalgenart), *Aphanocapsa* sp., *Pseudanabaena* sp. (Blaualgenarten) und *Navicula* sp. (Kieselalgenart); sp. = nicht näher bezeichnete Art einer Gattung

3.3 Gesamtwirkung der Anlage

Die Wasserkraftschnecke am Standort Heckerwehr verursacht unter den standörtlichen Gegebenheiten (Fallhöhe 1,60–3,45 m, Schneckendurchmesser 3,2 m, Drehzahl 3–26 U/min) eine gewisse Mortalität bei den untersuchten Fischen, die zwischen den verschiedenen Fischarten variiert. Durch die Sensorfischmessungen wurde deutlich, dass ein hohes Kollisionsrisiko bei der Turbinenpassage, insbesondere beim Eintritt in die Wasserkraftschnecke und an der Schütztafel am Turbinenauslauf, besteht. Die ermittelten Mortalitätsraten nach der Turbinenpassage an der Wasserkraftanlage Heckerwehr liegen allerdings im Vergleich zu Literaturwerten deutlich unter denen, die bisher von konventionellen Kraftwerksanlagen bekannt sind.

Durch die Passage der Wasserkraftschnecke am Heckerwehr entstanden überwiegend Verletzungen, die nicht sofort tödlich waren. Dazu zählen etwa Schuppenverluste, Einrisse in den Flossen, Pigmentveränderungen und Gasblasen in den Augen oder anderen Körperbereichen. Allerdings haben diese subletalen Verletzungen wahrscheinlich erheblich zur aufgetretenen verzögerten Mortalität beigetragen. Bei einzelnen Fischen wurden zudem Verformungen knöcherner Strukturen nach der Turbinenpassage festgestellt. Ursächlich dafür sind möglicherweise der Spalt zwischen Schnecke und Trog sowie Kollisionen der Fische mit den Eintrittskanten der Wasserkraftschnecke und der Schütztafel am Turbinenauslauf. Über alle Arten hinweg kamen Amputationen von Körperteilen nach Passage der Wasserkraftschnecke am Heckerwehr bei weniger als 1 % der Fische vor.

Bereits vor dem Einbau der Wasserkraftschnecke war die Roth im Bereich des Heckerwehrs ein stark anthropogen verändertes und reguliertes Gewässer. Das schon länger bestehende Wehr unterbricht das Fließgewässerkontinuum, wodurch sich wiederum der Lebensraum für die aquatische Lebensgemeinschaft verändert hat. Nach dem Kraftwerksbau konnten keine deutlichen Veränderungen in den abiotischen Habitategenschaften im Ober- und Unterwasserbereich des Heckerwehrs nachgewiesen werden. Auch der Unterschied in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen Ober- und Unterwasser hat sich nach dem Kraftwerksbau nicht wesentlich verändert.

Die Funktion der Fischaufstiegsschnecke am Standort Heckerwehr wurde im Rahmen des Projekts nach BWK-Methodenstandard (EBEL ET AL. 2006) bewertet. Auf Basis der Ergebnisse wurden zur Verbesserung ihrer Funktionalität verschiedene Maßnahmenvorschläge für die Gestaltung des Einstiegsbereichs (Vorbecken) gemacht. Diese sind inzwischen umgesetzt worden. Dazu zählt eine flachere und breitere Anrampung durch Aufkiesung im Einstiegsbereich der Fischaufstiegsschnecke, um den sohlnahen Anschluss zu verbessern. Außerdem konnten dort die Strömungsverhältnisse durch eine Teilabschirmung der seitlichen Dotation aus dem Turbinenauslauf der Wasserkraftschnecke verbessert werden. Dies führte zu einer Reduktion der Turbulenzen im Vorbecken und der Strömungsgeschwindigkeit am Eingangsschlitz des Vorbeckens.

Über die vorab zusammengefassten Ergebnisse am Standort Heckerwehr 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- bzw. 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

Baeyens, R., Pauwels, I. S., Buysse, D., Mouton, A. M., Vergeynst, J., Papadopoulos, I., De Maerteleire, N., Pieters, S., Gelaude, E., Robberechts, K., Verhelst, P., Vermeersch, S., Vandamme, L. & Coeck, J. (2019): Monitoring van de effecten van de pompinstallatie en waterkrachtcentrale te Ham op het visbestand in het Albertkanaal. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2019 (53). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.

BUYSSE, D., MOUTON, A. M., BAEYENS, R. & COECK, J. (2015): Evaluation of downstream migration mitigation actions for eel at an Archimedes screw pump pumping station. *Fisheries management and ecology* 22(4), 286–294.

BOYS, C., PFLUGRATH, B., MUELLER, M., PANDER, J., DENG ZHIQUN, D. & 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. DOI: 10.1071/MF18100.

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., FREDRICH, F., GLUCH, A., LECOUR, C. & WAGNER, F. (2006): BWK – Fachinformation 1/2006. Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. Fraunhofer – IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.

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).

EDLER, C., DIESTELHORST, O. & KOCK, M. (2011): Untersuchungen zur Abwanderung und Schädigung von Fischen an der Wasserkraftschnecke Rhede-Krechting (Bocholter Aa, Kreis Borken) im Sommer und Herbst 2010. Abschlussbericht im Auftrag des Landesfischereiverbandes Westfalen und Lippe e.V., Münster.

HAVN, T. B., SÆTHER, S. A., THORSTAD, E. B., TEICHERT, M. A. K., HEERMANN, L., DISERUD, O. H., BORCHERDING, J., TAMBETS, M. & ØKLAND, F. (2017): Downstream migration of Atlantic salmon smolts past a low head hydropower station equipped with Archimedes screw and Francis turbines. *Ecological Engineering* 105, 262–275.

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.

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. DOI: 10.1111/fme.12229
- MUELLER, M., KNOTT, J., EGG, L., BIRSCHENK, 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., SUTTOR, C., PANDER, J. & GEIST, J. (2020f): Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen: Band 6 Heckerwehr an der Roth. Abschlussbericht. Lehrstuhl für Aquatische Systembiologie, Technische Universität München, Freising. 102 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.
- SCHMALZ, W. (2010): Untersuchungen zum Fischabstieg und Kontrolle möglicher Fischschäden durch die Wasserkraftschnecke an der Wasserkraftanlage Walkmühle an der Werra in Meiningen. Abschlussbericht. Fischökologische & Limnologische Untersuchungsstelle Südthüringen, Breitenbach.
- SCHNEIDER, J. & HÜBNER, D. (2017): Funktionskontrolle der Fischwechsellanlagen am Main-Kraftwerk Kostheim. *Biologische Durchgängigkeit von Fließgewässern: Ausgewählte Beiträge aus der Fachzeitschrift WasserWirtschaft*, 244.
- SCHNELL, J. & ACHE, M. (2012): Untersuchungen zur Effizienz von nachträglich errichteten Fischaufstiegs-, Fischschutz und Fischableitanlagen an einer Wasserkraftanlage. 23. SVK-Fischereitagung, 05.03.2012, Fulda.
- TOMBEK, B. & HOLZNER, M. (2008): Untersuchungen zur Effektivität alternativer Triebwerkstechniken und Schutzkonzepte für abwandernde Fische beim Betrieb von Kleinwasserkraftanlagen. Studie im Auftrag des Landesfischereiverbandes Bayern.



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

