

LEHRSTUHL FÜR AQUATISCHE SYSTEMBIOLOGIE
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
WISSENSCHAFTSZENTRUM WEIHENSTEPHAN

Fischökologisches Monitoring an innovativen Wasserkraftanlagen

Abschlussbericht 2020
Band 7: Eixendorf an der Schwarzach



Dr. Melanie Mueller, M.Sc. Josef Knott, Dr. Beate Bierschenk, M.Sc. Carola Suttor,
Dr. Joachim Pander, Prof. Dr. Jürgen Geist

30. JUNI 2020

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	IV
1. Methoden.....	1
1.1. Standortbeschreibung.....	1
1.2. Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen	4
1.3. Projektteil A.....	6
1.3.1. Fangeinrichtung	6
1.3.2. Hälterungssystem	8
1.3.3. Fischzahlen und Versuchsfische	8
1.3.4. Abflussbedingungen, abiotische Gewässerparameter und Turbinenlast	9
1.3.5. Standortsspezifische Untersuchungen	11
1.4. Projektteil B.....	15
2. Ergebnisse & Diskussion.....	19
2.1. Projektteil A.....	19
2.1.1. Natürlicher Fischabstieg.....	19
2.1.2. Standardisierte Fischzugaben.....	22
2.2. Projektteil B.....	49
2.2.1. Charakterisierung der abiotischen Habitateigenschaften	49
2.2.2. Charakterisierung der aquatischen Lebensgemeinschaft.....	54
2.2.3. Veränderungen nach dem Kraftwerksbau und serielle Diskontinuität am Standort Eixendorf	59
2.3. Gesamtschau und Wirkung der Anlage.....	62
Literaturverzeichnis	71
Anhang.....	VI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Speichersee Eixendorf vor dem Bau der Wasserkraftanlage	3
Abbildung 2 Speichersee Eixendorf nach dem Bau der Wasserkraftanlage	3
Abbildung 3 Schematische Lageskizze des Untersuchungsstandorts Eixendorf.....	4
Abbildung 4 Abgesenkte Hauptsperre im Winter 2016/2017 mit neu angelegtem Kieslaichplatz	6
Abbildung 5 Kronenausschnitt in der Stauklappe des beweglichen Kraftwerks mit installierter Fangeinrichtung	7
Abbildung 6 Drohnenaufnahme des Untersuchungsstandorts Eixendorf	8
Abbildung 7 Abflussganglinie der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der standardisierten Fischzugaben und der Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr und im Herbst 2017	9
Abbildung 8 Abflussganglinie der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der standardisierten Fischzugaben (Nachuntersuchung) im Frühjahr 2018	10
Abbildung 9 Schematische Darstellung des beweglichen Kraftwerks und des Versuchsdesigns der standardisierten Fischzugaben bei angehobenem Kraftwerk	12
Abbildung 10 Links: Strömungsmessungen während der Grundpassage. Rechts: Bei der Grundpassage zwischen Kraftwerksgehäuse und Betonwand eingeklemmter Aal.....	12
Abbildung 11 Schematische Darstellung des beweglichen Kraftwerks und des Versuchsdesigns der standardisierten Fischzugaben zur Untersuchung des Verletzungspotenzials des Abstiegskorridors Kronenausschnitt	13
Abbildung 12 Schematische Darstellung des beweglichen Kraftwerks und des Versuchsdesigns der standardisierten Fischzugaben bei der Nachuntersuchung zur Akzeptanz zweier Öffnungsgrößen des Kronenausschnitts als Abstiegskorridor	15
Abbildung 13 Lage der Transekte im Oberwasser des Kraftwerks Eixendorf/Schwarzach..	16
Abbildung 14 Lage der Transekte im Unterwasser des Kraftwerks Eixendorf/Schwarzach.	17
Abbildung 15 Abflussganglinie der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der Untersuchungen im Projektteil B vor und nach dem Kraftwerksbau	18
Abbildung 16 Längen-Häufigkeitsdiagramm aller im Abstiegskorridor Kronenausschnitt nachgewiesenen Fische während der Beprobung des natürlichen Fischabstieges im Frühjahr und Herbst 2017.....	21
Abbildung 17 Sofortige und verzögerte Mortalitätsraten der acht untersuchten Fischarten in den Versuchsgruppen Hamen und Turbine & Rechen bei niedriger und hoher Turbinenlast am Standort Eixendorf	26

Abbildung 18 Fischartenspezifische Mortalitätsraten bei den standardisierten Fischzugaben in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe Hamen bei niedriger und hoher Turbinenlast.....	27
Abbildung 19 Prozentualer Anteil der nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen der acht Versuchsfischarten bei den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017 ...	29
Abbildung 20 Prozentualer Anteil der nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen der Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch bei den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017	32
Abbildung 21 Prozentualer Anteil der nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen 0 der Fischarten Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen bei den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017.....	33
Abbildung 22 NMDS der äußeren Verletzungsmuster am Standort Eixendorf unterteilt nach Fischarten und den verschiedenen Versuchsgruppen.....	34
Abbildung 23 MDS der äußeren Verletzungsmuster für die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch unterteilt nach den Versuchsgruppen und Lastzuständen.....	38
Abbildung 24 MDS der äußeren Verletzungsmuster für die Fischarten Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen unterteilt nach den Versuchsgruppen und Lastzuständen.....	39
Abbildung 25 Aufsummierte Differenz der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen für die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch	40
Abbildung 26 Aufsummierte Differenz der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen für die Fischarten Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen	41
Abbildung 27 Aufsummierte Differenz der mittleren Intensitäten der inneren Verletzungen für die häufigsten Verletzungskategorien zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen	47
Abbildung 28 Lineare Regression der kumulativen Verletzungsintensität von Amputationen und Quetschungen am Körper nach der Turbinenpassage in Abhängigkeit von der Totallänge der acht untersuchten Fischarten	48
Abbildung 29 Substratkartierung des Untersuchungsgebiets am Standort Eixendorf an der Schwarzach vor dem Kraftwerksbau.....	50
Abbildung 30 Substratkartierung des Untersuchungsgebiets am Standort Eixendorf an der Schwarzach nach dem Kraftwerksbau	51
Abbildung 31 Artspezifische Längen-Häufigkeitsverteilungen für die häufigsten Fischarten am Standort Eixendorf	57

Abbildung 32 Ergebnisse der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaften zwischen vor und nach dem Kraftwerksbau für das gesamte Untersuchungsgebiet sowie zwischen Unterwasser und Oberwasser60

Abbildung 33 MDS der Taxa-Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Periphyton) am Standort Eixendorf, unterteilt nach Unter- und Oberwasser vor dem Kraftwerksbau und nach dem Kraftwerksbau61

Abbildung 34 MDS der inneren Verletzungen von sieben am Standort Eixendorf untersuchten Fischarten (Aal, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche, Huchen).VIII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht über die Untersuchungszeiträume in Projektteil A und Projektteil B..... 5

Tabelle 2 Technische Daten der verwendeten Fangeinrichtungen..... 7

Tabelle 3 Abflussbedingungen während der verschiedenen Untersuchungszeiträume bei den standardisierten Fischzugaben am Pegel Rötz/Speicherzufluss..... 9

Tabelle 4 Mittelwerte der erfassten Turbinendaten des beweglichen Kraftwerks während der Versuchsblöcke zu den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017 sowie während der Nachuntersuchung im Frühjahr 2018 bei niedriger und hoher Turbinenlast.....10

Tabelle 5 Mittelwerte der erfassten abiotischen Parameter während der Versuchsblöcke zu den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017 sowie während der Nachuntersuchung im Frühjahr 201811

Tabelle 6 Abflussbedingungen am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der vier Beprobungen vor und nach dem Bau des beweglichen Kraftwerks17

Tabelle 7 Artenliste der bei der Untersuchung zum natürlichen Fischabstieg im Jahr 2017 nachgewiesenen Fischarten sortiert nach absteigender Gesamthäufigkeit und unterteilt nach den verschiedenen Abstiegskorridoren20

Tabelle 8 Artspezifische Wiederfangraten in % in den verschiedenen Versuchsgruppen des Turbinenkorridors unterteilt nach niedrigem und hohem Lastzustand sowie für den Kronenausschnitt.23

Tabelle 9 Übersicht über die bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Eixendorf eingesetzten und aus der Versuchsgruppe Turbine & Rechen wiedergefangenen Fischgrößen über alle getesteten Fischarten und für jede Versuchsfischart einzeln23

Tabelle 10 Anzahl wiedergefangener Fische in den Versuchsgruppen Turbine & Rechen und Kronenausschnitt sowie Anteil wiedergefangener Fische im Kronenausschnitt und

Gesamtwiederfangrate in % für die Fischarten Äsche, Bachforelle und Barbe bei zwei unterschiedlichen Öffnungsgrößen im Frühjahr 2018	24
Tabelle 11 Übersicht der in den verschiedenen Versuchsgruppen ermittelten Mortalitätsraten unmittelbar nach dem Fang und nach 96 h in der Hälterung der Fischarten Aal, Nase, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen bei Niedriglast und bei Hochlast	28
Tabelle 12 Anzahl der in den Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine & Rechen, Grundpassage und Hamen Grundpassage konservierten und ausgewerteten Individuen der Fischarten Aal, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen	42
Tabelle 13 Durchschnittliche Verletzungsanzahl und -intensität der sieben auf innere Verletzungen untersuchten Fischarten	43
Tabelle 14 Prozentuale Flächenanteile der verschiedenen, mittels Side Sonar Kartierung ermittelten Sohlsubstrattypen am Untersuchungsstandort Eixendorf an der Schwarzach ...	49
Tabelle 15 Mittelwerte \pm Standardabweichung der physikalisch-chemischen und hydromorphologischen Habitatparameter im Ober- und Unterwasser der Vorsperre Eixendorf vor und nach dem Bau des beweglichen Kraftwerks.....	53
Tabelle 16 Gesamtindividuenzahl aller am Standort Eixendorf im Ober- und Unterwasser mittels Elektrobefischung und Kiemennetzbefischung gefangenen Arten vor dem Kraftwerksbau und nach dem Kraftwerksbau	55
Tabelle 17 Mittelwerte \pm Standardabweichung für die Anzahl der Taxa, die normalisierte Individuenzahl sowie die Evenness und den Shannon-Index über alle Transekte vor und nach dem Kraftwerksbau	61
Tabelle 18 Fischreferenzzönose (prozentuale Anteile der potenziell vorkommenden Fischarten) der Schwarzach am Standort Eixendorf.....	VI
Tabelle 19 Mittelwerte der erfassten Turbinendaten des beweglichen Kraftwerks am Standort Eixendorf während der Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr und Herbst 2017	VII
Tabelle 20 Mittelwerte der erfassten abiotischen Parameter während der Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr und Herbst 2017 am Standort Eixendorf	VII
Tabelle 21 Gesamt-Taxaliste aller am Standort Eixendorf mittels Surber-Sampler entnommenen Makroinvertebraten zusammengefasst nach dem Gewässerbereich und dem Zeitpunkt der Probenahme.....	IX
Tabelle 22 Durchschnittliche Zellzahlen pro mm ² aller am Standort Eixendorf entnommenen Periphyton-Taxa zusammengefasst nach dem Gewässerbereich und dem Zeitpunkt der Probenahme.....	XIII

1. Methoden

1.1. Standortbeschreibung

Der Untersuchungsstandort Eixendorf (Abbildung 1, Abbildung 2, WGS 84: 49°20'22" N, 12°28'47" E, 445 m NN) befindet sich im Landkreis Schwandorf im Regierungsbezirk Oberpfalz. Naturräumlich zählt dieses Gebiet zum Vorderen Oberpfälzer Wald im Großraum Östliche Mittelgebirge. Die Jahresniederschlagssummen bewegen sich zwischen 750 mm und 850 mm, die Jahresmitteltemperatur zwischen 6°C und 7°C (LfU 2014, Bodeninformationssystem Bayern).

Beim Standort Eixendorf handelt es sich um einen künstlichen Speichersee mit einer Größe von ca. 100 ha, der durch eine 4,8 m hohe Staumauer in einen Vor- und einen Hauptspeicher getrennt ist (Abbildung 1). Das Stauvolumen des Vorspeichers beträgt ca. 0,3 Mio. m³, das des Hauptspeichers ca. 21 Mio. m³. Der Stausee wird durch die Schwarzach gespeist, die von ihrem Ursprung in der Tschechischen Republik bis zur Mündung in die Naab eine Gesamtlänge von 95,0 km und ein Einzugsgebiet von 841,5 km² hat.

Die Schwarzach gehört zur Flussgebietseinheit Donau (LfU 2019, Kartendienst Gewässerbewirtschaftung Bayern) und wird nach Pottgießer & Sommerhäuser (2004) dem Fließgewässertyp 9: Silikatische, fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse zugerechnet. Der mittlere Abfluss (MQ) am Pegel Rötz Speicherzufluss, ca. 4,2 Fl.km oberhalb des Kraftwerks gelegen, beträgt 4,32 m³/s (<http://www.hnd.bayern.de/>).

Im Bereich des Untersuchungsstandorts zählt die Schwarzach zum Cypriniden-Rhithral (Übergangsbereich zwischen Äschen- und Barbenregion). In der Schwarzach sind laut der Fischreferenzzönose (Schubert 2007) potenziell 19 Fischarten beheimatet, von denen die häufigsten Arten (Gründling, Hasel, Bachschmerle, Barbe, Nase, Elritze) rheophil sind (Tabelle 18 im Anhang). Da die Schwarzach bei Eixendorf künstlich aufgestaut wurde und der Stausee nur eine sehr geringe bis keine Strömung hat, sind hier eher stagnophile oder indifferente Arten als dominante Arten zu erwarten (z.B. Laube, Brachse, Rotaugen, Rotfeder).

Im Herbst 2016 wurde mit dem Bau der innovativen Wasserkraftanlage des Typs „Bewegliches Kraftwerk“ begonnen. Das Kraftwerk wurde in die Staumauer der Vorsperre in Fließrichtung auf der linken Seeseite eingebaut (Abbildung 2, Abbildung 3) und im Frühjahr 2017 in Betrieb genommen. Im Kraftwerk befindet sich eine doppelt regulierte, vierflügelige Kaplan-Rohrturbine mit 1,0 m Laufraddurchmesser und 190 kW installierter Leistung, die für einen maximalen Durchfluss von 4,5 m³/s bei einer Fallhöhe von 5,0 m ausgelegt ist. Die

Drehzahl wird unabhängig von der Wassermenge konstant auf 333 U/min gehalten. Die axial durchströmte Kaplan-Rohrturbine sitzt in einem mittels hydraulischer Hubvorrichtung schwenkbaren Stahlgehäuse, welches sowohl über- (Kronenausschnitt) als auch unterströmbar ist. Mit dieser Technologie soll, neben der biologischen Durchgängigkeit flussabwärts, ein Geschiebetransport im Gewässer und ein verbesserter Hochwasserabfluss ohne zusätzliche Bauwerke ermöglicht werden. Wird das Kraftwerk im Hochwasserfall angehoben, kann durch vollständige Umströmung des Saugrohres der Ejektoreffekt genutzt werden. Dadurch kann laut Hersteller ein 5% bis 7% höherer Jahresertrag gegenüber herkömmlichen Anlagen erzielt werden. Im Zuge des Kraftwerkbaus wurde als habitatverbessernde Maßnahme ein Kieslaichplatz im Unterwasser angelegt (Abbildung 4).

Als Fischschutzeinrichtung ist vor dem Einlauftrichter der Turbine ein vertikaler Rundbogenrechen mit einem Stababstand von 20 mm und integriertem Rechenreiniger installiert. Um das Kraftwerk flussabwärts zu passieren, können oberflächennah wandernde Fischarten durch einen permanent geöffneten Kronenausschnitt in der Abschwemmklappe auf einem Wasserfilm über das Stahlgehäuse ins Unterwasser gelangen. Bei höheren Abflüssen kann die Abschwemmklappe dauerhaft abgesenkt werden, so dass die Fische über den gesamten Querschnitt des Stahlgehäuses der Turbineneinheit ins Unterwasser gelangen können. Während des Rechenreinigungsvorganges wird die Abschwemmklappe ebenfalls gelegt und gibt so periodisch einen größeren Querschnitt frei. Sohl nah wandernden Arten kann durch periodisches Anheben des Kraftwerks die Passage ins Unterwasser ermöglicht werden.



Abbildung 1 Speichersee Eixendorf vor dem Bau der Wasserkraftanlage, Blick auf das Stauwehr vom orografisch linken Ufer.



Abbildung 2 Speichersee Eixendorf nach dem Bau der Wasserkraftanlage, Blick auf das Stauwehr vom orografisch linken Ufer.

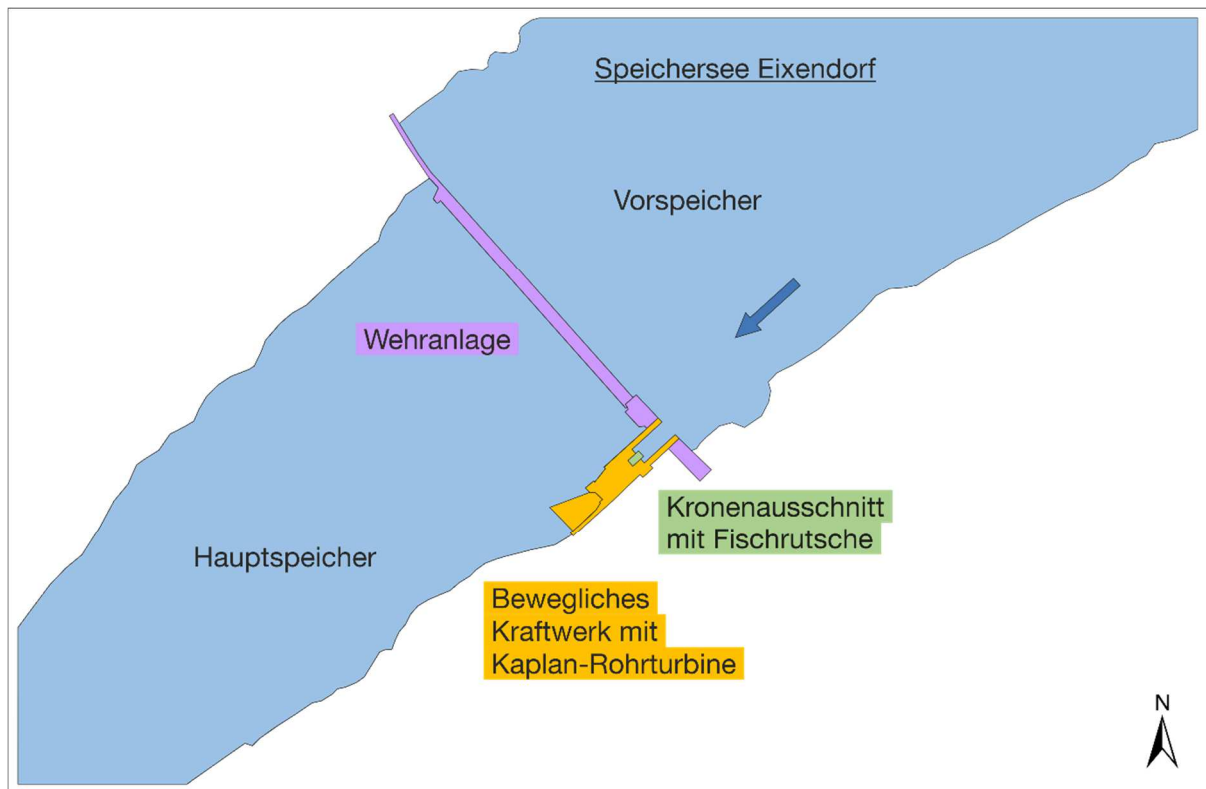


Abbildung 3 Schematische Lageskizze des Untersuchungsstandorts Eixendorf.

1.2. Zeitlicher Ablauf der Untersuchungen

Am 06.03.2017 wurden alle potenziellen Fischabstiegskorridore (Turbinenauslauf, Kronenausschnitt in der Wehrklappe) für den späteren Einbau von Fangeinrichtungen exakt vermessen und die baulichen Details der Anlage gesichtet sowie der Versuchsablauf und die dafür notwendige Kraftwerkssteuerung mit dem WWA Weiden besprochen. Ab Kalenderwoche 15 im Jahr 2017 wurde an der Vorsperre des Eixendorfer Sees der Standort eingerichtet. Aus Gründen der Arbeitssicherheit und für einen effektiven Arbeitsablauf wurde ein Schwimmponton (3 m x 2 m) als Arbeitsplattform im Unterwasser verankert sowie eine Holztreppe zum Überwinden der steilen Uferböschung gebaut und installiert. Durch das WWA Weiden wurde die Fläche im Umfeld der Hälterungssysteme eingeebnet sowie standsicher geschottert. Die Fangeinrichtungen am Standort Eixendorf wurden erstmals am 24.04.2017 in Betrieb genommen. Die Untersuchungen zum natürlichen Fischabstieg im Frühjahr und die standardisierten Fischzugaben mit den Arten Äsche, Bachforelle, Huchen, Rotauge, Nase und Barbe erfolgten im April und Mai 2017 (Tabelle 1). Zusätzlich wurde mit dem ARIS-Sonar im Frühjahr 2017 in einem Testlauf das Verhalten der Versuchsfische bei angehobenem Kraftwerk (Grundpassage) im Oberwasser der Anlage beobachtet. Anschließend wurde die Versuchsanlage über den Sommer vollständig zurückgebaut und ab KW 36 wieder für die

Herbstbeprobung eingerichtet. Die Fortsetzung der Untersuchungen zum natürlichen Fischabstieg im Herbst erfolgte im September 2017, gleichzeitig fanden die standardisierten Fischzugaben mit den Fischarten Aal und Flussbarsch statt (Tabelle 1). Weiterhin wurden in diesem Zeitraum dreisömmrige Nasen eingesetzt, die im Frühjahr in dieser Größenklasse nicht verfügbar waren. Im Winter 2017/2018 wurden basierend auf den ersten Ergebnissen durch die Bayerische Landeskraftwerke GmbH Nachbesserungen am Kronenauschnitt durchgeführt (Verschiebung in die Mitte, Vergrößerung und Anbringung einer Borstendichtung am Anschluss des Rechens an die Kraftwerksmauern). Um die Effektivität dieser Maßnahmen zu überprüfen, fanden im Rahmen einer Nachuntersuchung im April 2018 erneut standardisierte Fischzugaben mit den Arten Bachforelle, Barbe und Äsche statt.

Die saisonalen Beprobungen für den Projektteil B wurden vor dem Bau des Kraftwerks im Mai 2015 und im August 2015 nach der in Band 1 beschriebenen Methodik durchgeführt. Nach dem Einbau des beweglichen Kraftwerks und der zeitgleichen Absenkung von Haupt- und Vorsperre im Winter 2016/2017 (Abbildung 4) fanden die saisonalen Beprobungen im Mai 2017 und im August 2017 statt (Tabelle 1).

Tabelle 1 Übersicht über die Untersuchungszeiträume in Projektteil A und Projektteil B.

		2015		2017		2018	
Projektteil A	Standardisierte Fischzugaben	Frühjahr		24.04.2017 - 28.04.2017	10.04.2018 - 12.04.2018		
				(Äsche, Rotaugen)			
		09.05.2017 - 12.05.2017					
		Herbst		16.05.2017 - 19.05.2017			
			19.09.2017 - 22.09.2017				
			(Aal, Nase, Flussbarsch)				
	Natürlicher Fischabstieg ARIS	Frühjahr		24.04.2017 - 23.05.2017			
Herbst			08.09.2017 - 02.10.2017				
				24.04.2017 - 23.05.2017			
				(Grundpassage)			
Projektteil B	Vor Bau des Kraftwerks	Mai	18.05.2015 - 20.05.2015				
		August	04.08.2015 - 07.08.2015				
	Nach Bau des Kraftwerks	Mai		02.05.2017 - 05.05.2017			
		August		07.08.2017 - 10.08.2017			



Abbildung 4 Abgesenkte Hauptsperre im Winter 2016/2017 mit neu angelegtem Kieslaichplatz.

1.3. Projektteil A

1.3.1. Fangeinrichtung

Die Kraftwerksanlage Eixendorf verfügt über zwei mögliche Abstiegskorridore für Fische: eine Turbine und einen oberhalb des Turbineneinlaufs angeordneten Kronenausschnitt in der Abschwemmklappe. Der Abstieg unter dem Kraftwerk hindurch (Grundpassage) kann nur erfolgen, wenn dieses angehoben wird. 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. Im Unterwasser des beweglichen Kraftwerks wurde ein Haupthamen bodengleich in die vorhandenen Revisionsverschlüsse eingesetzt, der den Turbinenauslauf des Kraftwerks vollständig absperre (2,76 m x 2,60 m; Tabelle 2Tabelle 2). Der Turbinenhamen hatte eine Gesamtlänge von 9,0 m (inkl. Steertreuse). Aufgrund der stark nach orografisch rechts abknickenden Strömung am Turbinenauslauf musste die rechte Wand am Turbinenauslauf mit Holzbalken erhöht werden, um ein gerades Ausschwimmen und damit eine gute Fängigkeit des Hamens zu gewährleisten. Im Kronenausschnitt (Abbildung 5) in der Stauklappe des beweglichen Kraftwerks wurde ein Fangnetz an einem passend angefertigten Metallrahmen befestigt

(Tabelle 2). Der Turbinenhamen wurde wie in Band 1, Kapitel 6.1 beschrieben vom Schlauchboot aus geleert. Zur Leerung des Fangnetzes am Kronenausschnitt wurde der Netzsack über das Geländer gehoben und der Inhalt in eine mit Wasser gefüllte Fischwanne geleert. Somit war auch diese Fangeinrichtung permanent fängig und es konnten auch während der Leerungszeiten keine Fische über diesen Korridor ins Unterwasser gelangen.

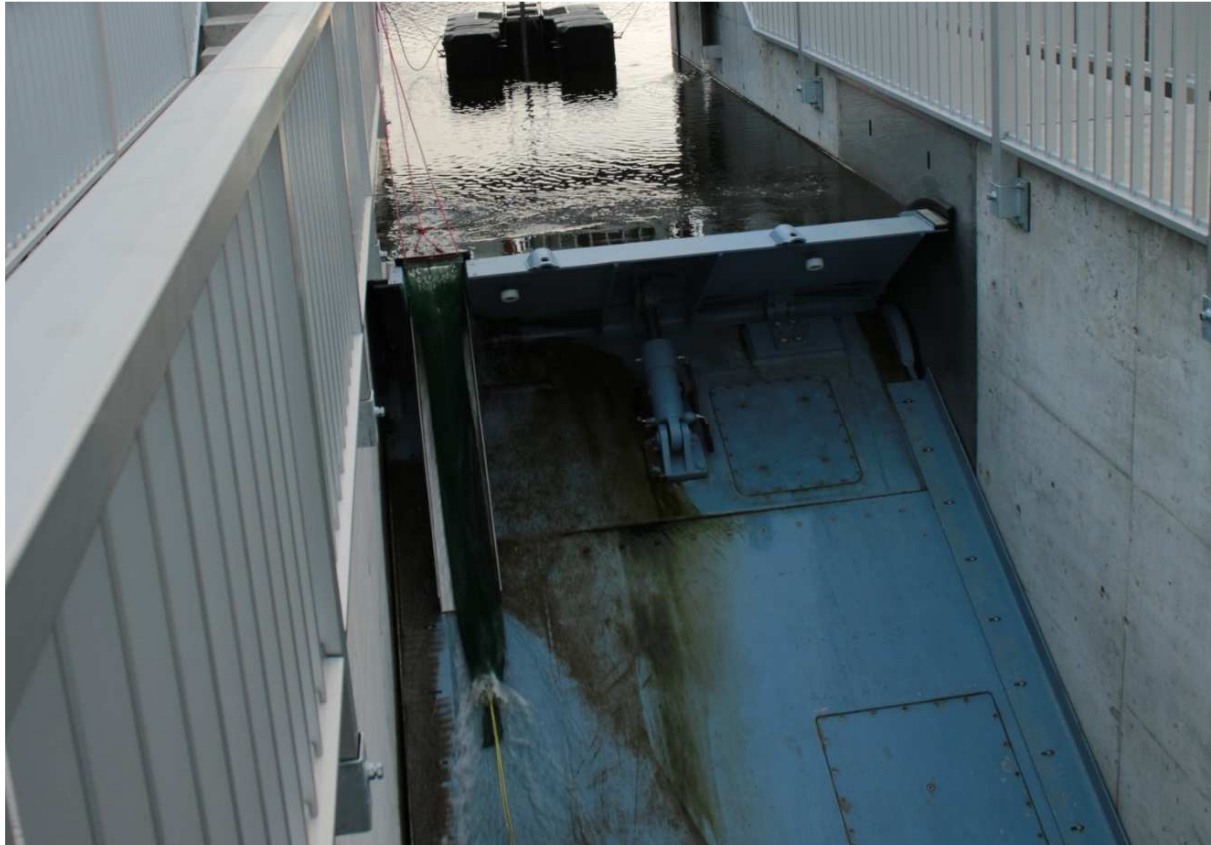


Abbildung 5 Kronenausschnitt in der Stauklappe des beweglichen Kraftwerks mit installierter Fangeinrichtung.

Tabelle 2 Technische Daten der verwendeten Fangeinrichtungen.

Abstiegskorridor	Fangeinrichtung	Abmessungen/ Materialeigenschaften
Turbine	1 Hamen	Metallrahmenkonstruktion Rahmen: L x H: 2,76 m x 2,60 m, Vierkanrohr: 100/40/3 mm, umlaufende Relling: Ø 18 mm, Fanghamen: Länge 5,0 m, Endring: Ø 60 cm, Maschenweiten: 30 mm, 20 mm, 15 mm, 10 mm, Steertreuse: Länge 4,0 m, Maschenweite 8 mm, 3 Niro Ringe Ø 60-50 cm
Kronenausschnitt	1 Hamen	Metallrahmenkonstruktion Rahmen: L x H: 0,35 m x 0,44 m, L-Stahl: 40/40/5 mm, Fanghamen: Länge 2,0 m, Maschenweiten: 6 mm

1.3.2. Hälterungssystem

Das Hälterungssystem an diesem Standort bestand im Frühjahr 2017 und im Herbst 2017 aus 20 Langstromrinnen (siehe Beschreibung in Band 1, Kapitel 6.4; Abbildung 6). Eine Übersicht mit den erforderlichen Genehmigungen für die Durchführung findet sich in Band 1.



Abbildung 6 Drohnenaufnahme des Untersuchungsstandorts Eixendorf. Quelle: Jochen Zehender, Bayerische Landeskraftwerke GmbH.

1.3.3. Fischzahlen und Versuchsfische

Am beweglichen Kraftwerk in Eixendorf wurden bei den standardisierten Fischzugaben im Rahmen eines genehmigten Tierversuches (ROB-55.2-2532.Vet_02-15-31) insgesamt 22.893 Fische der Arten Aal, Nase, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotaugen, Äsche und Huchen verwendet. Davon wurden 20.647 Fische in das Gewässer eingesetzt. Zusätzlich wurden 2.246 Fische verwendet, um die Vorschädigung zu ermitteln.

Um möglichst natürliche Bedingungen für die Fische beim Abstieg durch die Turbine zu ermöglichen, wurden die Versuchsfische im Oberwasser der jeweiligen Korridore ausgesetzt und bewusst keine weiteren Maßnahmen unternommen, die Fische zu einer Abwanderung zu

zwingen. Dadurch wird einerseits ein naturnahes Verhalten der Fische beim Abstieg ermöglicht, andererseits kann dies natürlich dazu führen, dass ein großer Teil der Fische nicht absteigt. Am Standort Eixendorf war baulich bedingt keine direkte Zugabe der Fische hinter dem Rechen (in den Turbinenschacht) möglich, daher entfällt an diesem Standort die Versuchsgruppe Turbine.

Von den bei der standardisierten Fischzugabe wiedergefangenen Fischen und den Fischen der Vorschädigung wurden 1.239 Fische eingefroren, geröntgt und mit dem standardisierten Protokoll zur Erfassung der inneren Verletzungen (Band 1, Kapitel 6.3.1) ausgewertet.

1.3.4. Abflussbedingungen, abiotische Gewässerparameter und Turbinenlast

Die Abflussbedingungen unterschieden sich zwischen den Beprobungsphasen, wobei der mittlere Abfluss der Schwarzach am oberhalb gelegenen Pegel Rötz/Speicherzufluss im Herbst 2017 deutlich niedriger war als während der Beprobungsphasen im Frühjahr 2017 und 2018 (Tabelle 3, Abbildung 7, Abbildung 8).

Tabelle 3 Abflussbedingungen während der verschiedenen Untersuchungszeiträume bei den standardisierten Fischzugaben am Pegel Rötz/Speicherzufluss. Q = Abfluss im m³/s, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, Min = Minimum, Max = Maximum.

Untersuchungszeitraum	Q MW ± SD	Q Min	Q Max
24.04.2017 - 23.05.2017	3,7 ± 1,3	2,0	7,6
08.09.2017 - 02.10.2017	1,9 ± 0,3	1,3	3,1
10.04.2018 - 12.04.2018	3,0 ± 0,2	2,8	3,3

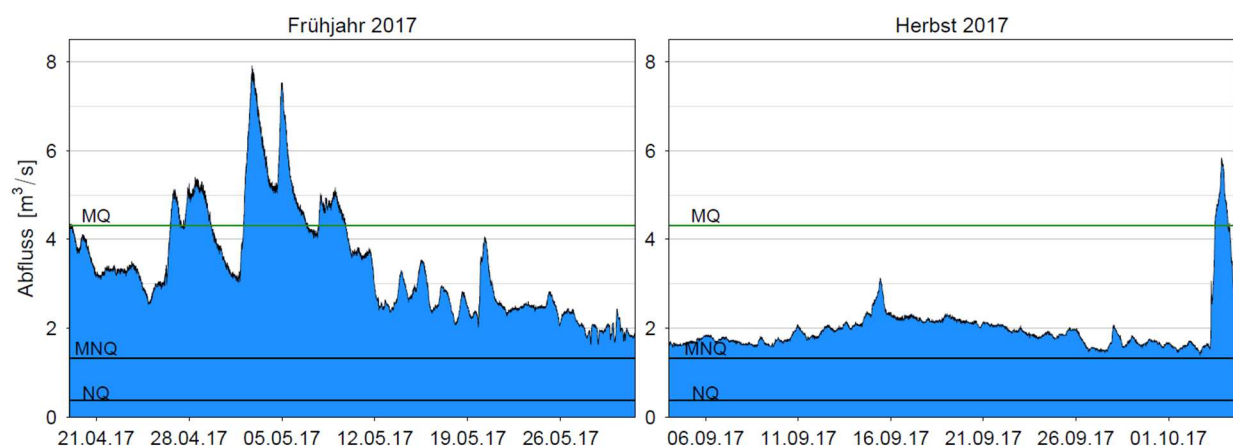


Abbildung 7 Abflussganglinie der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der standardisierten Fischzugaben und der Untersuchung des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr 2017 (links) und im Herbst 2017 (rechts). Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.gkd.bayern.de; ungeprüfte Rohdaten.

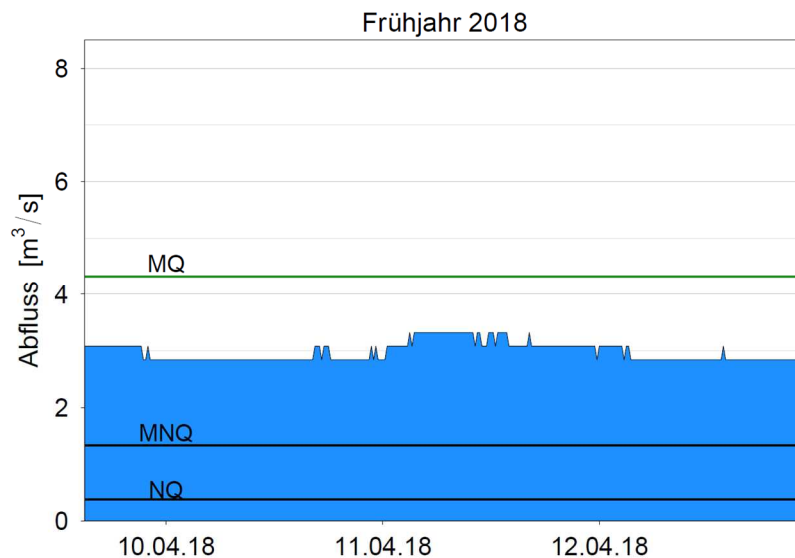


Abbildung 8 Abflussganglinie der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der standardisierten Fischzugaben (Nachuntersuchung) im Frühjahr 2018. Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.gkd.bayern.de; ungeprüfte Rohdaten.

Die standardisierten Fischzugaben wurden bei zwei verschiedenen Lastzuständen durchgeführt: niedrige und hohe Turbinenlast. Die technischen Daten der Kaplan-Turbine sowie die Fallhöhe wurden während der Versuchsdauer protokolliert (Tabelle 4). Die Turbinendaten während der Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs sind in Tabelle 19 im Anhang dargestellt.

Tabelle 4 Mittelwerte der erfassten Turbinendaten des beweglichen Kraftwerks am Standort Eixendorf während der Versuchsblöcke zu den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017 sowie während der Nachuntersuchung im Frühjahr 2018 bei niedriger und hoher Turbinenlast.

	Last	Läufer [%]	Leitapparat [%]	Leistung [kW]	Durchfluss [m³/s]	Fallhöhe [m]
Frühjahr 2017	niedrig	15,1	35,2	51	3,4	4,75
	hoch	55,2	60,8	126	3,2	4,64
Herbst 2017	niedrig	16,8	37,0	51	2,0	4,72
	hoch	31,4	48,5	79	2,1	4,68
Frühjahr 2018	hoch	47,0	56,8	112	3	4,62

Bei den standardisierten Fischzugaben wurden zusätzlich abiotische Standortparameter gemessen (Tabelle 5). Die gemessenen abiotischen Standortparameter während der Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs sind in Tabelle 20 im Anhang dargestellt.

Tabelle 5 Mittelwerte der erfassten abiotischen Parameter während der Versuchsblöcke zu den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr und Herbst 2017 sowie während der Nachuntersuchung im Frühjahr 2018 am Standort Eixendorf aufgetrennt nach den unterschiedlichen Reusen: SADT = Turbinenhamen, SADKA = Fangnetz Kronenausschnitt; v Rechen = Strömungsgeschwindigkeit unmittelbar am Rechen in m/s, v Hameneingang = Strömungsgeschwindigkeit am Hameneingang in m/s, v Hamen = Strömungsgeschwindigkeit entlang des Fanghamens und der Steertreuse in m/s, Treibgut = aufgefangenes Treibgut pro Hamenleerung in Liter [l], Trüb = Trübung in NTU, O₂ = Sauerstoffkonzentration in mg/l, T = Temperatur in °C, pH = pH-Wert, Lf = Leitfähigkeit in µS/cm.

	Reuse	v Rechen [m/s]	v Hamen- eingang [m/s]	v Steert [m/s]	Treibgut [l]	Trüb [NTU]	O ₂ [mg/l]	T [°C]	pH	Lf [µS/cm]
Frühjahr 2017	SADT	0,28	0,54	0,26	0,9	8,0	10,0	11,7	8,6	136
	SADKA		0,31		0,4					
Herbst 2017	SADT	0,23	0,50	0,24	0,7	4,5	9,7	11,5	7,8	173
	SADKA		0,28		0,0					
Frühjahr 2018	SADT	0,38	0,73	0,34	0,0	3,3	10,0	11,6	7,6	176
	SADKA		0,25		0,0					

1.3.5. Standortspezifische Untersuchungen

Verletzungspotenzial beim Abstieg unter dem angehobenen Kraftwerk (Grundpassage)

Um potenzielle Verletzungen von Fischen bei der sohnahen Passage unter dem angehobenen Kraftwerk zu untersuchen, wurde während der standardisierten Fischzugaben in jeder Versuchswoche (Tabelle 1), jeweils nach den Versuchsblöcken zu niedriger und hoher Turbinenlast, das schwenkbare Stahlgehäuse des beweglichen Kraftwerks angehoben. Aufgrund mangelnder Wasserverfügbarkeit konnte das bewegliche Kraftwerk in Eixendorf nur bei ausgeschalteter Turbine für wenige Minuten (ca. 5–10 min) zwischen 7–14 cm angehoben werden. In diesem Zeitraum erfolgten die standardisierten Fischzugaben für die Versuchsgruppen Grundpassage (Zugabe im Oberwasser unmittelbar vor der Rechenanlage der Turbine) und Hamen Grundpassage (Zugabe unmittelbar vor Fangeinrichtung, Abbildung 9). Ein Abstieg der Fische ins Unterwasser über den Turbinenkorridor oder den Kronenausschnitt war während dieser Zeit nicht möglich. Fische, die das Kraftwerk in angehobenem Zustand passierten, wurden ebenso wie Fische, die bei eingeschalteter Turbine über den Turbinenkorridor ins Unterwasser gelangten, im Turbinenhamen gefangen. Während der Grundpassage wurden zudem Strömungsmessungen im Bereich der Steertreuse durchgeführt (Abbildung 10). Die Strömungsgeschwindigkeit war dabei mit bis zu 1,2 m/s deutlich höher als die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit in diesem Bereich während des Turbinenbetriebs (vgl. Tabelle 5).

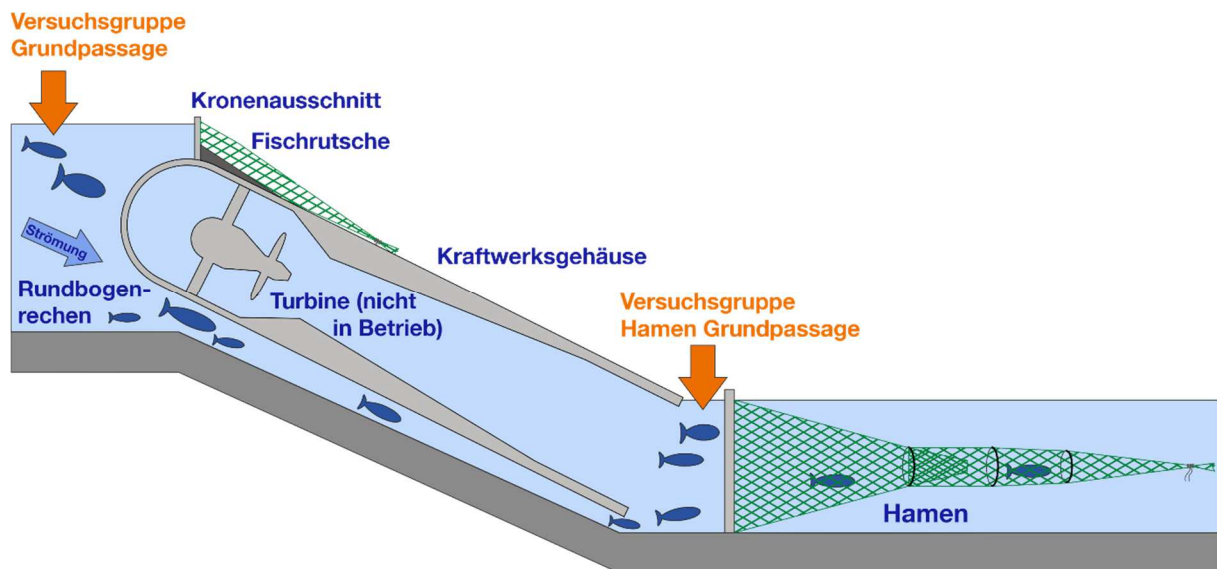


Abbildung 9 Schematische Darstellung des beweglichen Kraftwerks am Standort Eixendorf und des Versuchsdesigns der standardisierten Fischzugaben bei angehobenem Kraftwerk (Grundpassage). Orange Pfeile symbolisieren die Zugabestellen der Versuchsfische in den Versuchsgruppen Grundpassage und Hamen Grundpassage.



Abbildung 10 Links: Strömungsmessungen während der Grundpassage. Rechts: Bei der Grundpassage zwischen Kraftwerksgehäuse und Betonwand eingeklemmter Aal.

Verletzungspotenzial beim Abstieg über den oberflächennahen Kronenausschnitt

Um das Verletzungspotenzial für Fische bei der Passage des Kronenausschnitts zu untersuchen, wurden die acht Versuchsfischarten während der Versuchswochen bei den standardisierten Fischzugaben im Jahr 2017 (Tabelle 1) in zwei Versuchsgruppen getestet (Tabelle 11). In der Versuchsgruppe Kronenausschnitt wurde jeder einzelne Fisch auf seine Vorschädigung untersucht und im Anschluss daran unmittelbar vor der Öffnung des Kronenausschnitts ins Oberwasser eingesetzt. Nach der Passage des Kronenausschnitts wurde jeder Fisch am Ende des Kraftwerksgehäuses vor dem Eintauchen ins Unterwasser mit einem großen Kescher aufgefangen und wieder vom gleichen Auswerteteam auf seine Verletzungen untersucht. In der Versuchsgruppe Hamen Kronenausschnitt wurde jeder einzelne Fisch ebenfalls auf seine Vorschädigung untersucht. Anschließend wurde er unmittelbar vor dem Kescher freigelassen, um die Auswirkungen des Fangs zu simulieren und erneut vom gleichen Auswerteteam auf seine Verletzungen untersucht (Abbildung 11, Knott et al. 2019). Der Versuch wurde für jede Fischart sowohl bei niedriger als auch bei hoher Turbinenlast durchgeführt.

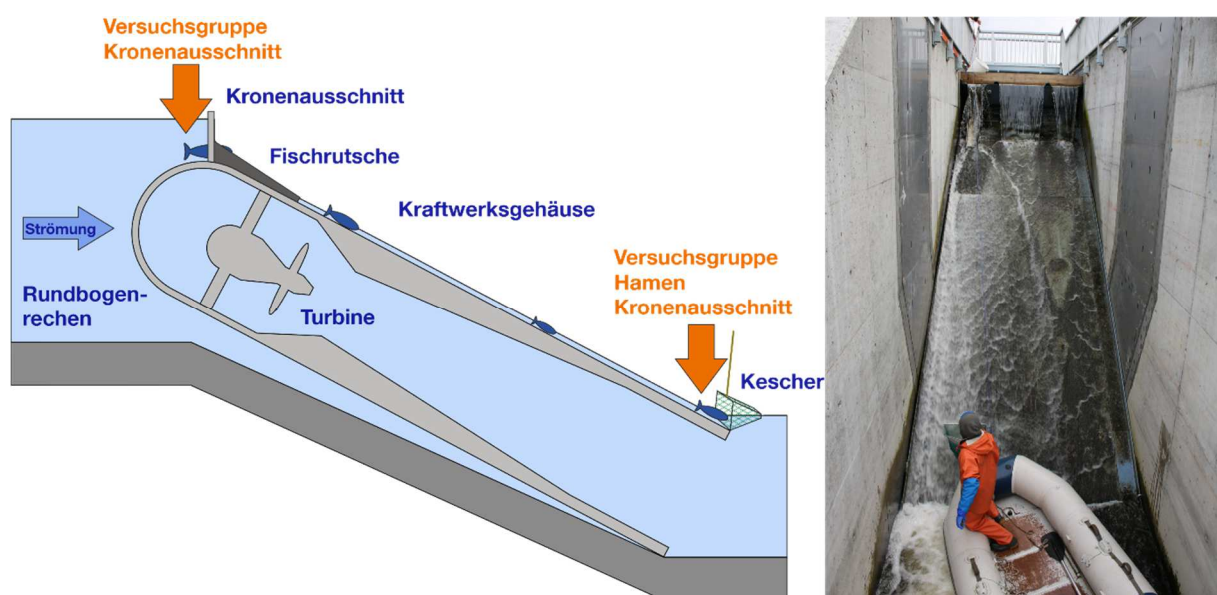


Abbildung 11 Links: Schematische Darstellung des beweglichen Kraftwerks am Standort Eixendorf und des Versuchsdesigns der standardisierten Fischzugaben zur Untersuchung des Verletzungspotenzials des Abstiegskorridors Kronenausschnitt. Orange Pfeile symbolisieren die Zugabestellen der Versuchsfische in den Versuchsgruppen Kronenausschnitt und Hamen Kronenausschnitt. Abgeändert nach Knott et al. (2019). Rechts: Foto der Versuchsdurchführung.

Nachuntersuchung Kronenausschnitt

Im April 2018 wurden zwei unterschiedliche Öffnungsgrößen des in die Mitte der Abschwemmklappe eingebauten Kronenausschnitts hinsichtlich ihrer Akzeptanz als Abstiegskorridor vergleichend untersucht (Abbildung 12). Der mittlere Durchfluss über den kleinen Kronenausschnitt (Breite x Höhe: 27,6 cm x 36,0 cm) beträgt bei einem maximalen Turbinendurchfluss von 4,5 m³/s und einer Wassertiefe im Kronenausschnitt von 9,0 cm ca. 26 L/s (ca. 0,6% des Turbinendurchflusses). Über den großen Kronenausschnitt (Breite x Höhe: 59,0 cm x 71,0 cm) fließen bei einem maximalen Turbinendurchfluss von 4,5 m³/s und einer Wassertiefe im Kronenausschnitt von 18,5 cm ca. 160 L/s (ca. 3,6% des Turbinendurchflusses) ins Unterwasser.

Zur Ermittlung der Abstiegsraten über den Turbinenkorridor und über den Kronenausschnitt wurden bei der Nachuntersuchung 2018 insgesamt 6.888 Individuen der Fischarten Äsche, Bachforelle und Barbe in das unmittelbare Oberwasser der Kraftwerksanlage eingesetzt. An beiden Abstiegskorridoren wurden Netzfangeinrichtungen installiert (Kapitel 1.3.1).

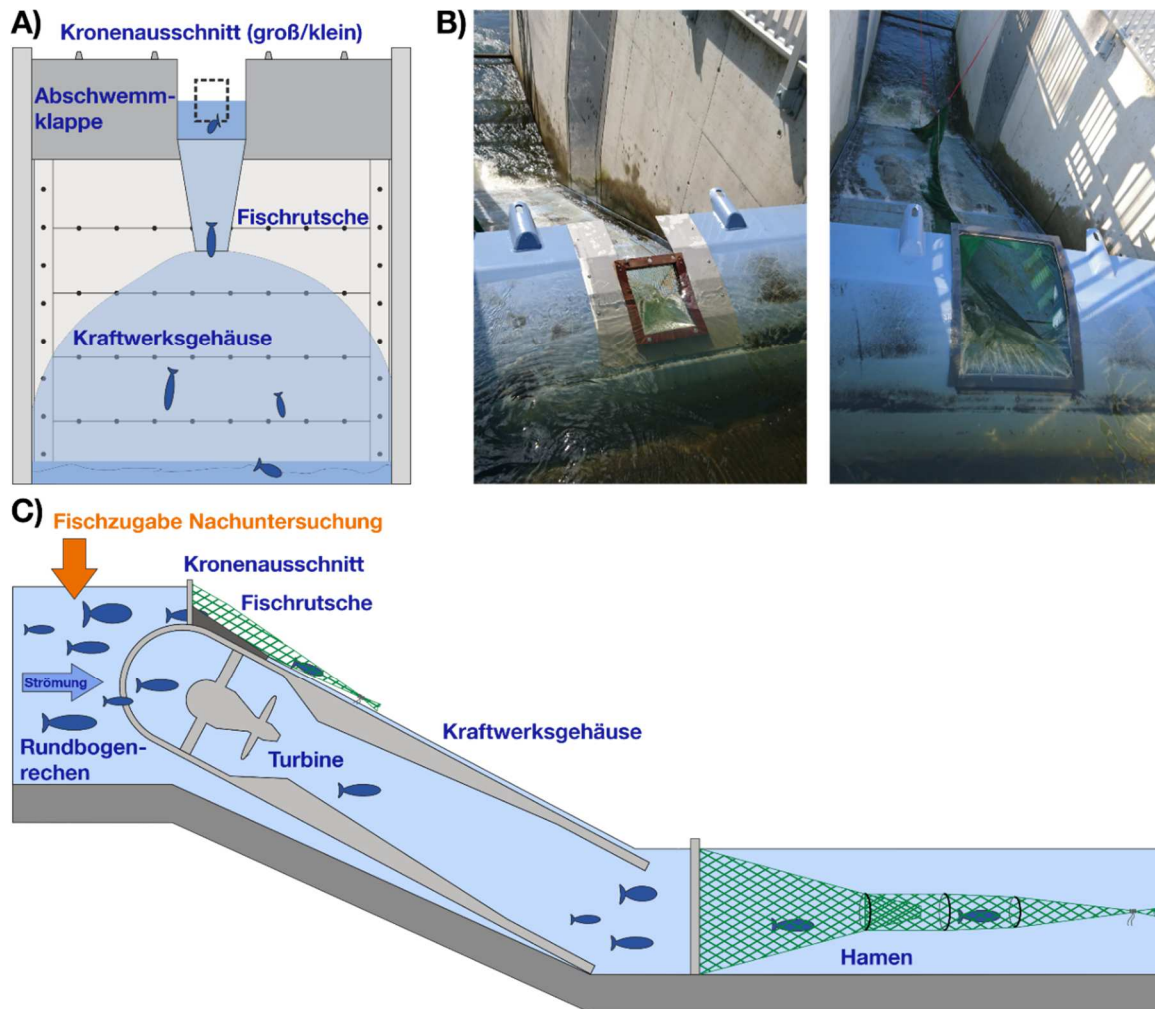


Abbildung 12 Schematische Darstellung des beweglichen Kraftwerks am Standort Eixendorf und des Versuchsdesigns der standardisierten Fischzugaben bei der Nachuntersuchung zur Akzeptanz zweier Öffnungsgrößen des Kronenausschnitts als Abstiegskorridor. A) Ansicht des beweglichen Kraftwerks vom Unterwasser aus. Die gestrichelte Linie symbolisiert den kleinen Kronenausschnitt. B) Detailaufnahme des kleinen (links) und großen Kronenausschnitts (rechts) in der Abschwemmklappe. C) Schematischer Längsschnitt durch das bewegliche Kraftwerk. Die Zugabe der Versuchsfische erfolgte an der gleichen Stelle wie in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen (oranger Pfeil). Abgeändert nach Knott et al. (2019).

1.4. Projektteil B

Vor Beginn der Habitatuntersuchungen wurden die durchschnittlichen Gewässerbreiten ermittelt und darauf aufbauend mit einem Laserentfernungsmessgerät die einzelnen Transekte voneinander abgegrenzt und vor Ort markiert. Mit einem GPS-Gerät (Garmin GPS Map 76 CSx) wurden die exakten Koordinaten jedes einzelnen Transektes abgespeichert, um diese im Nachgang in Luftbildern verorten und digitalisieren zu können (Abbildung 13, Abbildung 14). Es wurden 20 Transekte im Oberwasser und 20 Transekte im Unterwasser festgelegt (Abbildung 13, Abbildung 14). Die Erhebung der abiotischen und biotischen

Parameter erfolgte wie in Band 1, Kapitel 7 beschrieben. Da in manchen Transekten die Wassertiefen sehr hoch (> 3 m) waren, war dort die Erfassung des Fischbestands mittels Elektrofischerei erschwert. Deshalb wurde der Fischbestand zusätzlich zur standardmäßig angewandten Methode Elektrofischerei mit Multi-Maschen-Kiemennetzen (Länge x Höhe: 30 m x 1,5 m) an jeweils drei Transekten im Ober- und Unterwasser der Kraftwerksanlage erfasst.

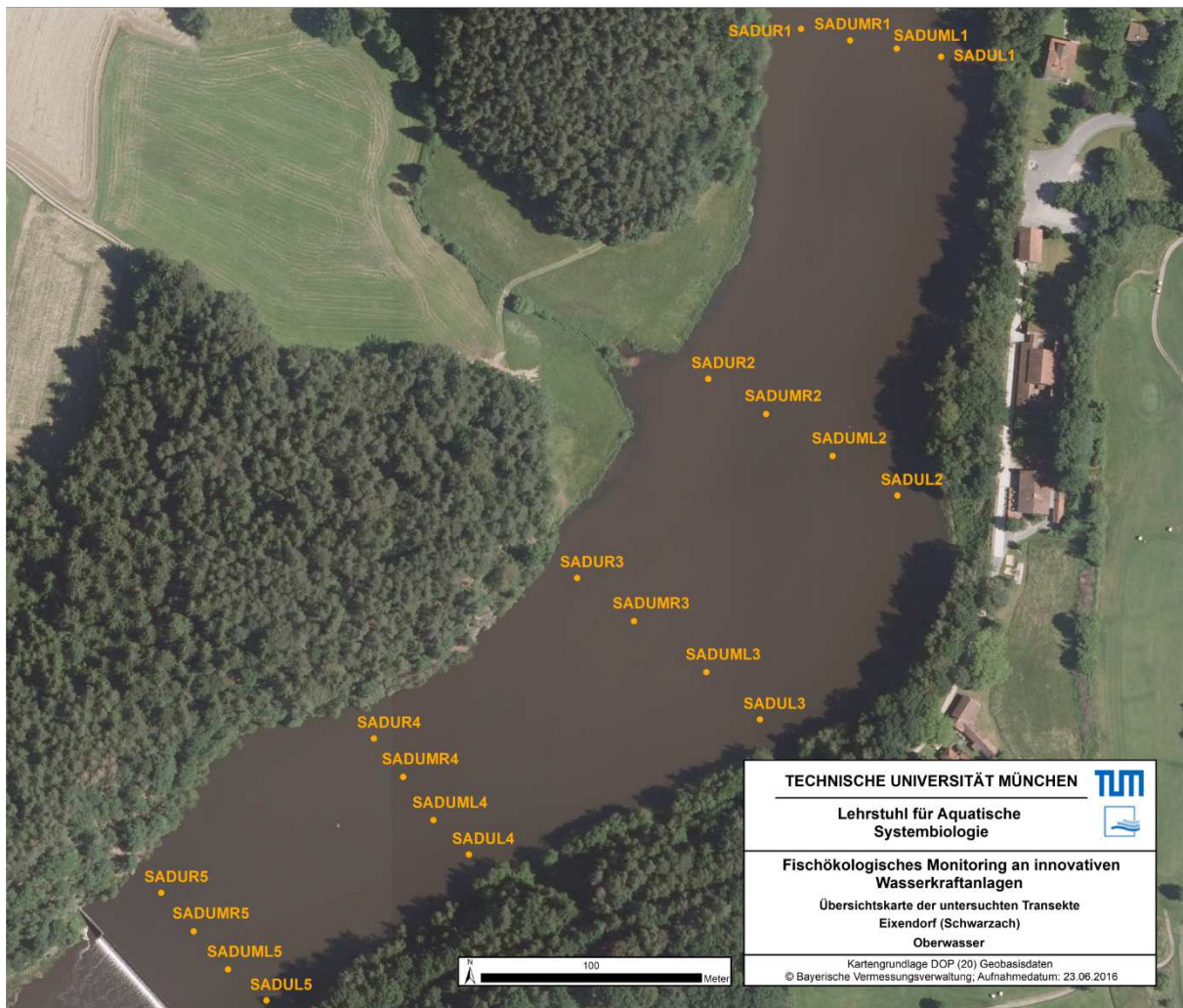


Abbildung 13 Lage der Transekte im Oberwasser des Kraftwerks Eixendorf/Schwarzach.

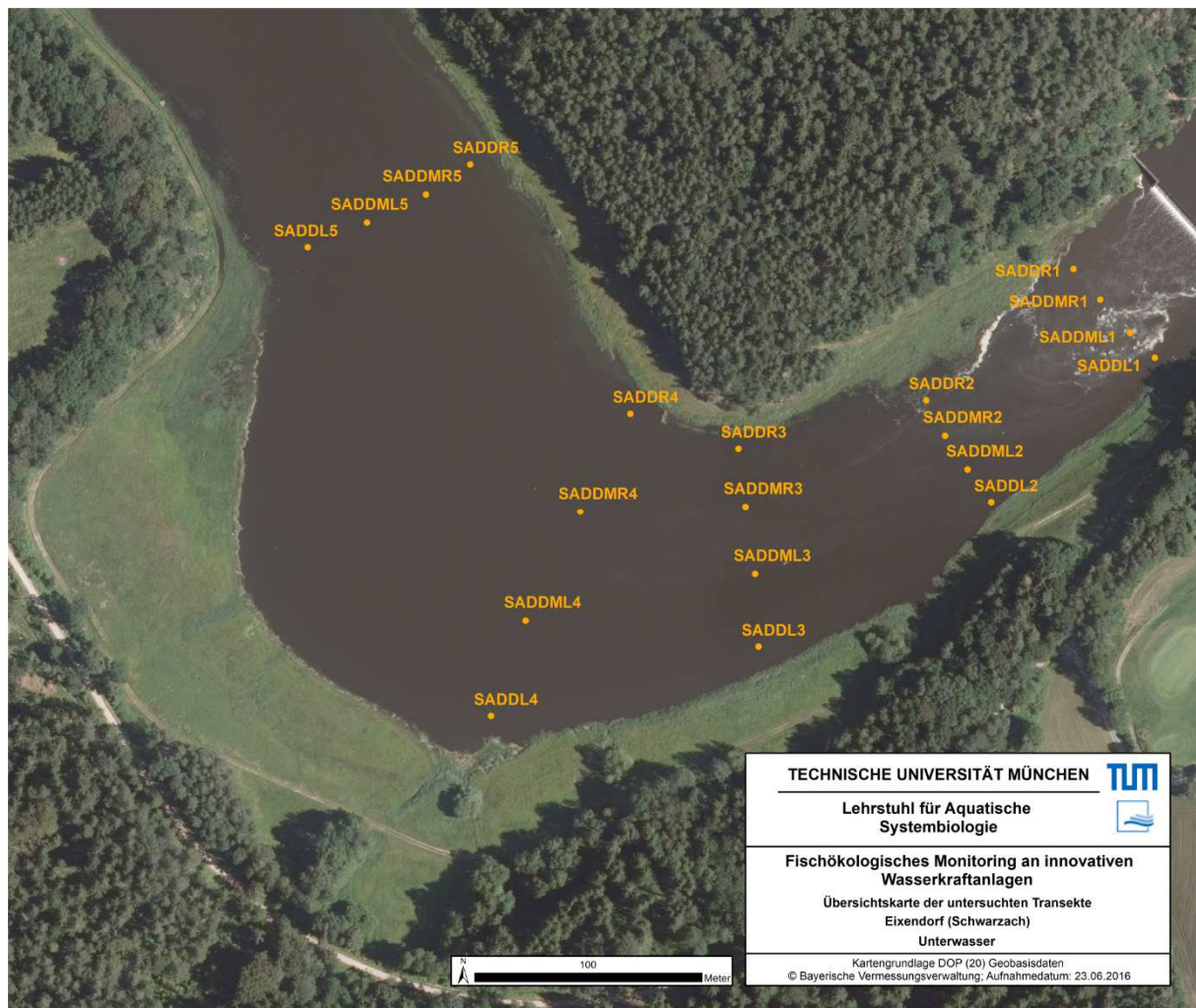


Abbildung 14 Lage der Transekte im Unterwasser des Kraftwerks Eixendorf/Schwarzach.

Der gemessene Abfluss am Pegel Rötz Speicherzufluss war während der Probenahmen im Mai sowohl vor als auch nach dem Bau des beweglichen Kraftwerks deutlich höher als im August (Tabelle 6, Abbildung 15), wobei der mittlere Abfluss während der Beprobung im Mai 2017 mehr als doppelt so hoch war als im Mai 2015.

Tabelle 6 Abflussbedingungen an der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der vier Beprobungen vor (Mai & August 2015) und nach (Mai & August 2017) dem Bau des beweglichen Kraftwerks. Gezeigt werden der mittlere Abfluss in m^3/s und jeweils der Minimal- und Maximalwert (m^3/s); Quelle: www.hnd.bayern.de.

	Mai 2015	August 2015	Mai 2017	August 2017
Mittlerer Abfluss	2,2	1,0	6,0	1,4
Minimum–Maximum	1,9–3,2	0,9–1,1	3,8–7,9	1,0–2,5

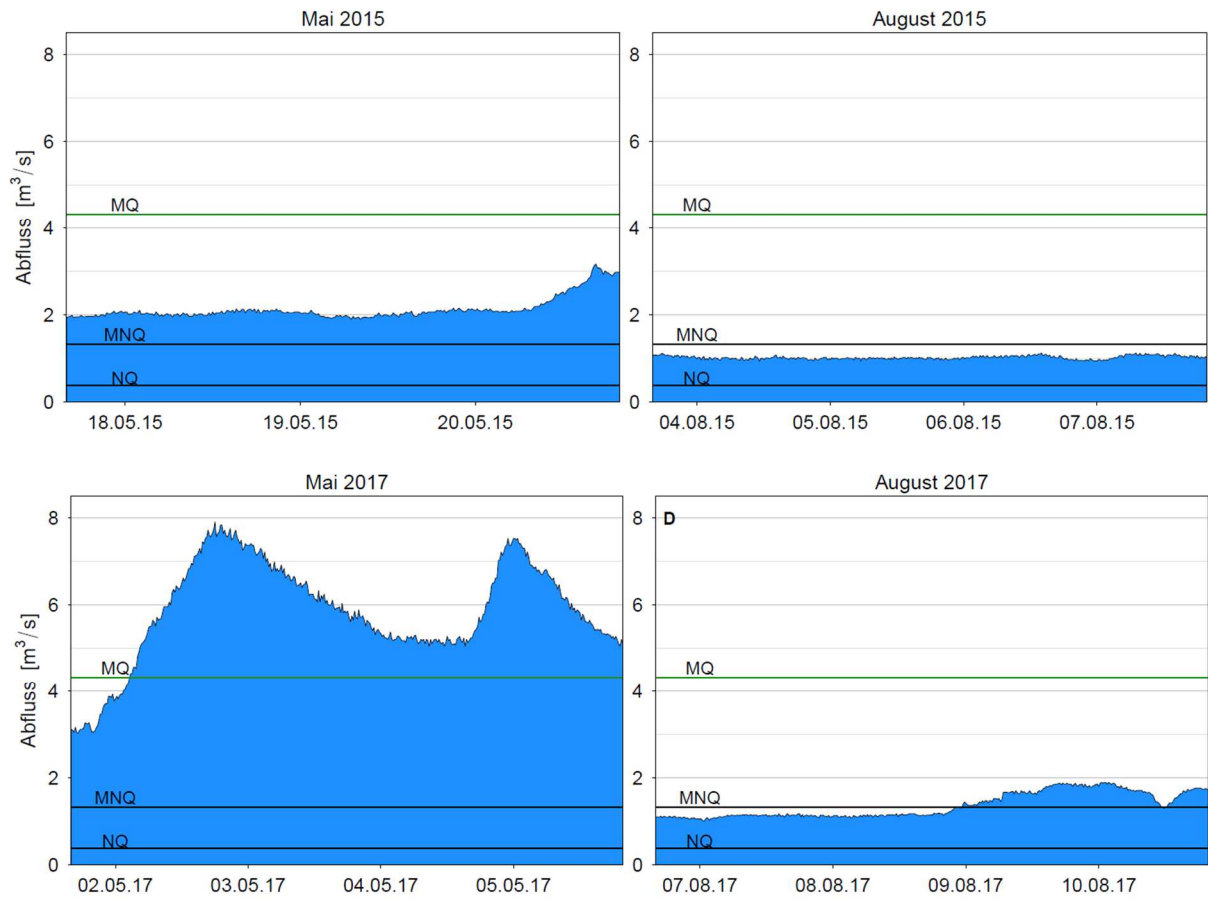


Abbildung 15 Abflussganglinie der Schwarzach am Pegel Rötz/Speicherzufluss während der Untersuchungen im Projektteil B am Standort Eixendorf vor dem Kraftwerksbau (oben; Mai 2015 und August 2015) und nach dem Kraftwerksbau (unten; Mai 2017 und August 2017). Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, www.gkd.bayern.de; ungeprüfte Rohdaten.

2. Ergebnisse & Diskussion

2.1. Projektteil A

2.1.1. Natürlicher Fischabstieg

Artenspektrum

An 49 Versuchstagen im Frühjahr und Herbst 2017 wurde der natürliche Fischabstieg beprobt. Dabei wurden insgesamt 6.323 Fische aus 24 Arten in den Fangeinrichtungen der verschiedenen Abstiegskorridore gefangen und ausgewertet. Bei den Elektrobefischungen zur Erfassung der Vorschädigung wurden im Oberwasser der Kraftwerksanlage 571 Individuen aus 15 Arten erfasst und ausgewertet.

Die häufigsten Arten, die in den Abstiegskorridoren Turbine, Kronenausschnitt und nach dem Anheben des Kraftwerks (Grundpassage) in den verschiedenen Fangeinrichtungen nachgewiesen wurden, waren Laube, Aitel, Rotaugen und Flussbarsch (Tabelle 7). Als gebietsfremde Art wurde nur der Blaubandbärbling mit einem Anteil von 2% (148 Individuen) an der Gesamtindividuenzahl erfasst. Rheophile Arten waren mit einem Anteil von 7% (424 Individuen) vertreten, wovon der Schneider die häufigste Art war (Tabelle 7).

Bei einem Großteil der im Turbinenhamen gefangenen Individuen, vor allem der Arten Laube, Rotaugen und Flussbarsch, besteht der Verdacht, dass diese im Unterwasser von außen in die Fangeinrichtung eingeschwommen sind. Insbesondere im Frühjahr zur Hauptlaichzeit vieler Fischarten wurden größere Fischschwärme beobachtet, die sich im unmittelbaren Bereich des Turbinenauslaufes sammelten. Da sich die Wasserkraftanlage Eixendorf in einem künstlichen Speichersee befindet, ist der Turbinenauslauf der einzige Bereich im Unterwasser, wo sich eine sichtbare Strömung entwickelt. Diese Situation sorgt wahrscheinlich dafür, dass Fische aus dem Unterwasser diesen Bereich verstärkt aufsuchen. Bei der Kontrolle der Fangeinrichtung wurden zudem zahlreiche Fische entdeckt, die sich beim Versuch von außen in den Hamen zu gelangen in den Maschen verfangen haben. Aufgrund dieser Beobachtungen muss angenommen werden, dass die im Turbinenhamen gefangenen Fische nicht das tatsächliche Artenspektrum des natürlichen Fischabstiegs repräsentieren. Es erfolgen daher keine weiterführenden Auswertungen zu tages- und jahreszeitlichen Unterschieden der Abstiegszahlen, zur Mortalität sowie zu äußeren und inneren Verletzungen nach der Turbinenpassage.

Tabelle 7 Artenliste der bei der Untersuchung zum natürlichen Fischabstieg im Jahr 2017 nachgewiesenen Fischarten sortiert nach absteigender Gesamthäufigkeit und unterteilt nach den verschiedenen Abstiegskorridoren. TL (cm) MIN-MAX = minimale und maximale Totallänge aller nachgewiesenen Fische in cm. Fischarten, die mittels Elektrofischung (E-Fischen) im Oberwasser (OW) und Unterwasser (UW) des Kraftwerks und an der nächstgelegenen WRRL-Messstelle in der Schwarzach (ca. 4,6 km flussaufwärts) nachgewiesen wurden sind mit x gekennzeichnet. Blau markierte Artnamen symbolisieren rheophile Arten, rot markierte Artnamen symbolisieren gebietsfremde Arten.

Deutscher Artnamen	Turbine	Grund- passage	Kronenaus- schnitt	TL (cm) MIN-MAX	E-Fischen OW	E-Fischen UW	WRRL- Messstelle
Laube	1.027	2.771	38	1,0–27,5	x	x	x
Aitel	289	47	224	1,5–35,0	x	x	x
Rotaugen	292	152		2,6–21,8	x	x	x
Flussbarsch	328	12		5,0–21,7	x	x	x
Schneider	122	37		5,9–17,6	x	x	x
Kaulbarsch	110	43	1	4,4–16,3	x	x	
Blaubandbärbling	22		126	1,8–6,9	x	x	x
Güster	101	43	2	8,3–23,5	x	x	x
Hecht	12		88	2,0–81,0	x	x	x
Hasel	47	38	7	2,9–18,0	x	x	x
Barbe	31	58		3,2–28,5	x	x	
Brachse	58	8	2	8,5–28,9	x	x	x
Zander	13	30		9,5–31,7	x	x	
Rutte	14	23		4,3–18,2	x	x	
Bitterling	8		18	1,9–4,7	x	x	x
Bachforelle	19			14,6–20,9	x	x	x
Gründling	13		3	2,6–13,7	x	x	x
Schleie	7		5	2,2–4,2	x	x	
Nase	10	2		6,0–20,2	x	x	x
Giebel	7		4	1,9–5,0			
Rotfeder	4	1	1	6,2–16,4	x	x	
Aal	2			46,0–72,0		x	
Karpfen			2	3,0	x	x	
Moderlieschen	1			4,4	x		
Aland					x	x	
Wels					x	x	
Rapfen						x	
Gesamtsumme	2.537	3.265	521				

Größenverteilung Kronenausschnitt

Über den Kronenausschnitt sind im Untersuchungszeitraum im Frühjahr und Herbst 2017 von 14 Fischarten insgesamt 521 Individuen ins Unterwasser gelangt. Die Fangeinheit am Kronenausschnitt war an 49 Untersuchungstagen insgesamt 439 h in Betrieb. Durchschnittlich wurden 1,1 Fische pro Stunde in der Fangeinheit am Kronenausschnitt nachgewiesen. Die häufigsten Arten waren Aitel, Blaubandbärbling und Hecht mit einem Anteil von 82% an der Gesamtindividuenzahl. 87% der Individuen, die den Kronenausschnitt passiert haben, waren maximal 5 cm groß, nur 6% der Individuen waren größer als 10 cm (Abbildung 16). Alle Fische, die über den Kronenausschnitt ins Unterwasser gelangt sind, hätten auch den am Turbineneinlauf installierten vertikalen Rundrechen mit einem Stababstand von 20 mm passieren können.

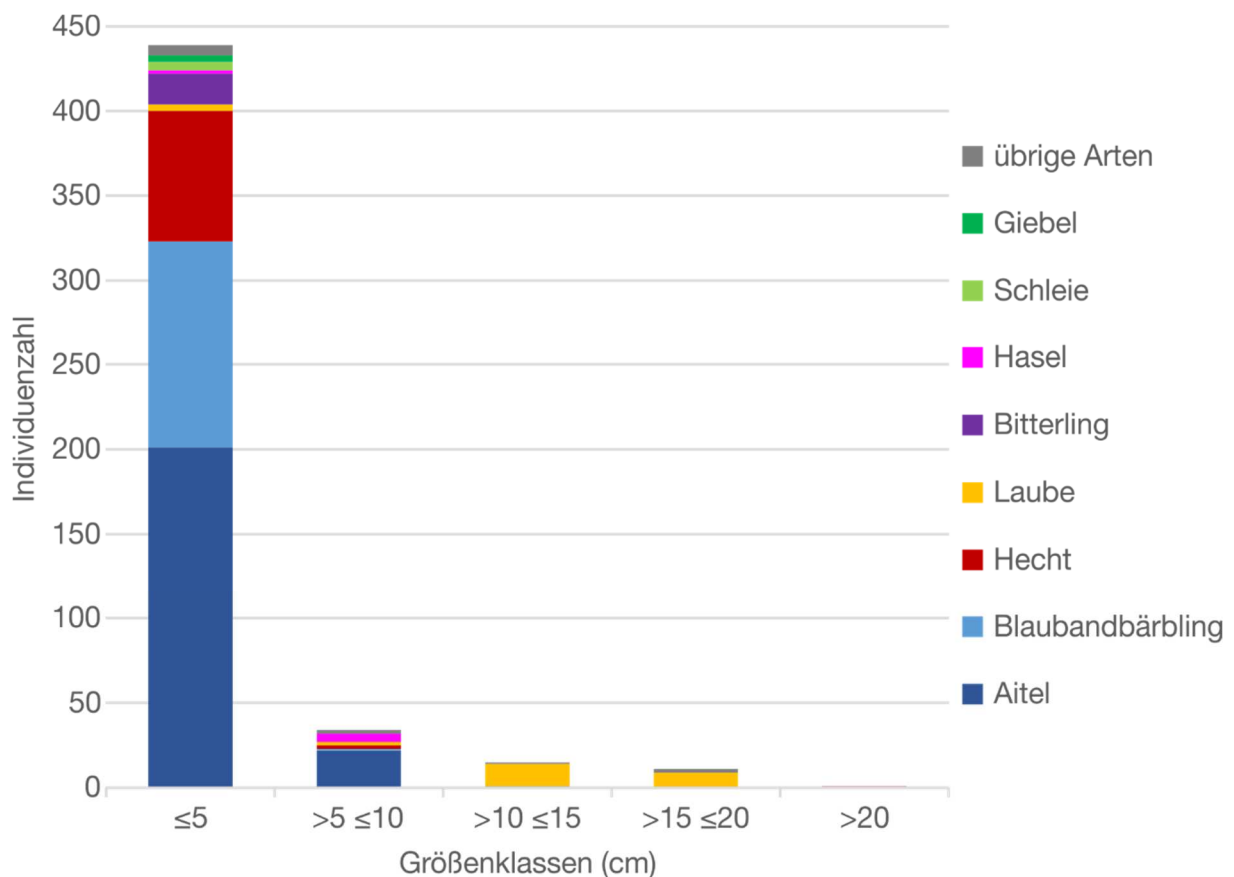


Abbildung 16 Längen-Häufigkeitsdiagramm (nach Größenklassen) aller im Abstiegskorridor Kronenausschnitt nachgewiesenen Fische während der Beprobung des natürlichen Fischabstieges im Frühjahr und Herbst 2017. Dargestellt sind die 8 häufigsten Arten und zusammengefasst alle übrigen Arten.

2.1.2. Standardisierte Fischzugaben

2.1.2.1. Wiederfang

Am Standort Eixendorf wurden bei den standardisierten Fischzugaben im Jahr 2017 über alle Versuchsgruppen (fangbedingte Verletzungen der Fangeinrichtung, Turbine & Rechen, Kronenausschnitt, Grundpassage) insgesamt 20.647 Fische aus 8 Fischarten (Aal, Nase, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche, Huchen) in das Gewässer eingesetzt sowie von 2.246 Fischen die Vorschädigung erhoben. Von den eingesetzten Fischen wurden 7.716 Fische wiedergefangen (Wiederfangrate: 37%). Damit fällt die Wiederfangrate geringer aus als die bei der Fallzahlplanung für den Tierversuch, basierend auf den zur Verfügung stehenden Literaturangaben (Lagarrigue & Frey 2010, Schneider et al. 2012), angenommenen 77%. Bei hoher Last war die Wiederfangrate deutlich höher als bei niedriger Last (Tabelle 8).

Bei der mit unterschiedlich schweren Plastikbällen durchgeführten Hamenvalidierung (Band 1, Kapitel 6.8) wurden im Durchschnitt 88,3% der Plastikbälle im Turbinenhamen und 100% der Plastikbälle im Hamen des Kronenausschnitts wiedergefangen. Im Turbinenhamen war die Fangeffektivität der wasser- (99%) und salzgefüllten (88%) Plastikbälle besser als die der luftgefüllten Bälle (78%). Die reduzierte Wiederfangrate der an der Wasseroberfläche schwimmenden Plastikbälle lag vermutlich an der permanent zirkulierenden Rückströmung am Turbinenauslauf. Grundsätzlich wiesen die Fangeinrichtungen am Standort Eixendorf jedoch eine hohe Fängigkeit über den gesamten Gewässerquerschnitt auf.

Die Diskrepanz zwischen der Wiederfangrate der Plastikbälle und der Wiederfangrate der Fische ist daher wahrscheinlich auf deren spezifische Verhaltensweisen (z.B. Aufsuchen von Verstecken, Flucht ins Oberwasser) zurückzuführen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass bewusst keine Maßnahmen unternommen wurden, um die Fische zu einer Abwanderung zu zwingen. Dadurch wird einerseits ein naturnahes Verhalten der Fische beim Abstieg ermöglicht, andererseits kann dies natürlich dazu führen, dass ein großer Teil der Fische nicht absteigt.

Die verwendeten Fischzahlen wurden für eine Mortalitätsrate (Effektstärke) von 3% berechnet. Mit der Anzahl wiedergefangener Fische ist eine statistische Absicherung der nachgewiesenen Mortalitätsraten am Standort Eixendorf sehr gut möglich.

Tabelle 8 Artspezifische Wiederfangraten in % in den verschiedenen Versuchsgruppen des Turbinenkorridors unterteilt nach niedrigem und hohem Lastzustand sowie für den Kronenausschnitt.

Versuchsgruppe	Last	Aal	Nase	Bachforelle	Flussbarsch	Barbe	Rotaugen	Äsche	Huchen	Alle Arten
Hamen	niedrig	76,9	33,6	33,0	93,3	52,3	73,8	46,9	15,5	50,4
	hoch	76,9	17,0	74,8	72,0	43,7	75,3	64,9	99,0	56,3
Turbine & Rechen	niedrig	33,0	4,0	8,3	83,3	26,2	12,3	18,7	14,0	17,4
	hoch	59,2	18,6	30,2	85,4	20,1	29,5	33,0	40,3	31,9
Kronenausschnitt		0,7	2,5	12,5	1,1	3,9	9,8	6,1	17,8	7,3

Bezüglich der eingesetzten Fischgrößen wurde von den Versuchsfischarten Aal, Nase, Flussbarsch, Barbe, Rotaugen und Äsche das gesamte Größenspektrum im Turbinenhamen wiedergefangen (Tabelle 9). Von den Bachforellen und Huchen wurden Individuen bis maximal 33,5 cm bzw. 38,7 cm im Turbinenhamen wiedergefangen (Tabelle 9).

Tabelle 9 Übersicht über die bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Eixendorf eingesetzten und aus der Versuchsgruppe Turbine & Rechen (= T&R, Abstieg durch Rechen und Turbine) wiedergefangenen Fischgrößen (Totallängen TL) über alle getesteten Fischarten und für jede Versuchsfischart einzeln. N (T&R) = Anzahl der über Turbine & Rechen abgestiegenen Versuchsfische. SD = Standardabweichung.

	Verwendete TL [cm]		TL Wiederfang T&R [cm]		N (T&R)
	Min–Max	Mittelwert ± SD	Min–Max	Mittelwert ± SD	
Alle Arten	3,5–71,4	17,6 ± 11,2	4,0–69,3	15,7 ± 10,4	3230
Aal	22,0–71,4	43,0 ± 7,8	27,3–69,3	42,1 ± 7,4	353
Nase	6,0–20,4	11,3 ± 2,5	6,0–18,5	11,3 ± 2,6	307
Bachforelle	4,2–41,0	17,8 ± 7,7	4,7–33,5	15,3 ± 5,6	382
Flussbarsch	5,4–14,7	10,6 ± 1,1	5,4–13,9	10,5 ± 1,1	692
Barbe	4,0–22,6	10,6 ± 4,2	4,0–21,0	10,2 ± 4,1	348
Rotaugen	3,5–21,7	13,3 ± 2,0	4,8–20,5	13,0 ± 2,0	403
Äsche	6,5–32,9	16,0 ± 6,5	6,5–30,0	12,6 ± 5,6	377
Huchen	9,0–51,3	23,3 ± 11,0	9,0–38,7	16,0 ± 4,9	368

2.1.2.2. Nachuntersuchung Kronenausschnitt

Bei der Ermittlung der Abstiegsraten über den Turbinenkorridor und über den Kronenausschnitt wurden insgesamt 2.236 Individuen (ca. 33%) wiedergefangen, wovon ca. 92% über die Turbine ins Unterwasser gelangt sind und ca. 8% den Kronenausschnitt als Abstiegskorridor nutzten.

Während der standardisierten Fischzugaben im Jahr 2017 sind ca. 76% (3.230 Individuen) der wiedergefangenen Fische aus der Versuchsgruppe Turbine & Rechen über den Turbinenkorridor ins Unterwasser gelangt und 24% (1.012 Individuen) über den

Kronenausschnitt (kleine Öffnung: 27,6 cm x 36,0 cm; installiert orografisch rechts in der Abschwemmklappe, Abbildung 5). Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass beide Untersuchungszeiträume aufgrund von hydrologischen und klimatischen Unterschieden, der unterschiedlichen Positionierung des Kronenausschnitts und des verwendeten Fischartenspektrums nicht vergleichbar sind. So nutzten während der standardisierten Fischzugaben im Jahr 2017 neben der Bachforelle (42% der wiedergefangenen Individuen) insbesondere die Fischarten Huchen (42%) und Rotauge (36%) den Kronenausschnitt als Abstiegskorridor, wohingegen Flussbarsch (1%) und Aal (2%) nur vereinzelt den Kronenausschnitt passiert haben.

Beim relativen Vergleich der beiden Öffnungsgrößen ist über den großen Ausschnitt mit 9,6% Anteil am Gesamtfang ein etwas höherer Anteil an Fischen ins Unterwasser gelangt als über den kleinen Ausschnitt mit 7,1% (Tabelle 10). Bachforellen nutzten den Kronenausschnitt als Abstiegskorridor mit Abstand am häufigsten. 24,4% der wiedergefangenen Bachforellen sind über den kleinen Kronenausschnitt ins Unterwasser gelangt und 32,2% über den großen. Bei den Äschen haben 5,7% der Individuen den kleinen Kronenausschnitt passiert und 8,0% den großen. Lediglich 0,7% der Barben nutzten den kleinen Kronenausschnitt als Abstiegskorridor. Beim großen Kronenausschnitt sind die Barben ausschließlich über die Turbine ins Unterwasser gelangt.

Sowohl bei den Äschen (maximale Länge 19,6 cm) als auch bei den Barben (maximale Länge 18,2 cm) konnte das gesamte Größenspektrum den am Kraftwerk Eixendorf installierten vertikalen Rundrechen mit einem Stababstand von 20 mm durchschwimmen. Bei den Bachforellen passierten Individuen bis maximal 29,4 cm Länge den Rechen. Größere Bachforellen wurden ausschließlich im Abstiegskorridor Kronenausschnitt nachgewiesen (Knott et al. 2019).

Tabelle 10 Anzahl wiedergefangener Fische in den Versuchsgruppen Turbine & Rechen (T&R) und Kronenausschnitt (KA) sowie Anteil wiedergefangener Fische im Kronenausschnitt und Gesamtwiederfangrate (WF) in % für die Fischarten Äsche, Bachforelle und Barbe bei zwei unterschiedlichen Öffnungsgrößen im Frühjahr 2018.

	Kronenausschnitt klein				Kronenausschnitt groß			
	T&R	KA	KA (%)	WF (%)	T&R	KA	KA (%)	WF (%)
Äsche	364	22	5,7	51,2	312	27	8,0	47,0
Bachforelle	180	58	24,4	15,8	158	75	32,2	16,2
Barbe	549	4	0,7	45,1	487	0	0,0	39,4
Gesamt	1.093	84	7,1	33,7	957	102	9,6	31,2

2.1.2.3. Mortalität

Unter Berücksichtigung aller getesteten Arten, der verzögerten Mortalität sowie verschiedener Berechnungsmöglichkeiten wurde für die Kraftwerksanlage Eixendorf in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen je nach Lastzustand eine unkorrigierte Mortalitätsrate zwischen 20,8% (hohe Last, Mittelwert aus allen Fischarten) und 32,4% (niedrige Last, Mittelwert aus allen Fischarten) festgestellt (Abbildung 17, Berechnung siehe Band 1).

Ein großer Teil der Fische verstarb sofort nach der Kraftwerkspassage/dem Versuch, nur ein geringer Anteil verzögert innerhalb der 96 h Beobachtungsphase (Abbildung 17). Es wurden Leerungsintervalle von 1 h und 2 h durchgeführt, da bei vorherigen Untersuchungen bei längeren Leerungsintervallen deutlich mehr Fische starben als bei den kurzen Leerungsintervallen.

Diese Mortalitätsraten müssen um die fangbedingte Mortalität korrigiert werden (Versuchsgruppe Hamen). Diese Versuchsgruppe beinhaltet auch eine Bewertung des Ausgangszustands der Versuchsfische. Die Mortalitätsrate in der Versuchsgruppe Hamen (sofortige und verzögerte Mortalität) betrug zwischen 1,8% (hohe Last, Anteil toter Individuen am Gesamtfang) und 3,6% (niedrige Last, Mittelwert aus allen Fischarten). Die Mortalitätsraten nach der Kraftwerkspassage waren im Vergleich zu der fangbedingten Mortalität deutlich höher.

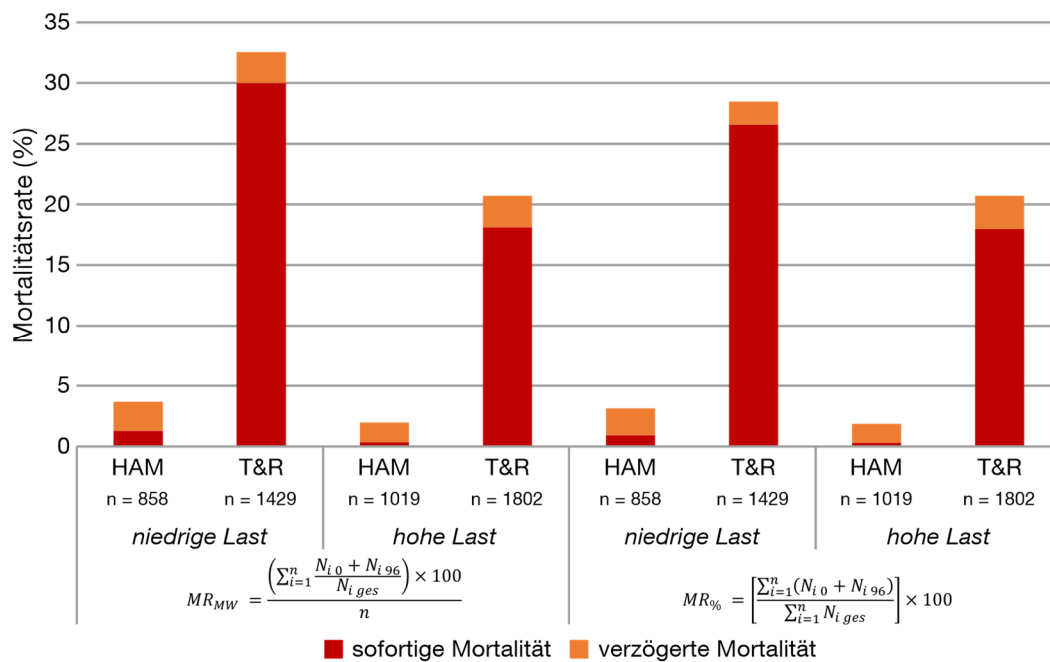


Abbildung 17 Sofortige und verzögerte Mortalitätsraten der acht untersuchten Fischarten in den Versuchsgruppen Hamen (HAM) und Turbine & Rechen (T&R) bei niedriger und hoher Turbinenlast am Standort Eixendorf. Die Berechnung der Mortalitätsraten auf der linken Diagrammhälfte erfolgt durch Mitteln der fischartspezifischen Mortalitätsraten, die Mortalitätsraten auf der rechten Diagrammhälfte werden aus dem Anteil toter Individuen am Gesamtfang berechnet. MR = Mortalitätsrate, MW = Mittelwert, % = prozentualer Anteil toter Individuen am Gesamtfang, n = Anzahl untersuchter Fischarten, i = Wert für eine spezifische Fischart, N = Individuenzahl, 0 = sofort tot, 96 = tot nach 96 h in der Hälterung, ges = Gesamtindividuenzahl in der jeweiligen Versuchsgruppe.

Nach Verrechnung beider Lastzustände (siehe Band 1) und Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe Hamen sowie unter Berücksichtigung von sofortiger und verzögerter Mortalität ergaben sich über alle Fischarten je nach Berechnungsweg kraftwerksbedingte Mortalitätsraten zwischen 22,2% (Anteil toter Individuen am Gesamtfang) und 24,6% (Mittelwert aus allen Fischarten; Abbildung 18).

Es traten deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Fischarten auf. Unabhängig von den Berechnungswegen war die Mortalitätsrate beim Aal am niedrigsten (10–12%; Abbildung 18). Für die Bachforelle wurden je nach Berechnungsweg Mortalitätsraten zwischen 15% bis 22% ermittelt. Die Nase wies mit 32% bis 59% die höchste Mortalität nach der Turbinenpassage auf. Bei Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen wurden Mortalitätsraten zwischen 14% und 42% ermittelt.

Außer bei den beiden Arten Aal und Barbe, waren die Mortalitätsraten bei niedriger Turbinenlast deutlich höher als bei hoher Turbinenlast (Tabelle 11, Abbildung 18). Bei Berechnung der Mortalität basierend auf dem Anteil toter Individuen am Gesamtfang ergaben sich für die meisten Arten etwas niedrigere Mortalitätsraten als bei Berechnung mittels Mittelwertbildung über beide Lastzustände (Abbildung 18).

Neben der Mortalität im Turbinenkorridor wurde auch in der Versuchsgruppe Grundpassage teilweise eine hohe Mortalität festgestellt (Tabelle 11). Nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe Hamen Grundpassage und unter Berücksichtigung von sofortiger und verzögerter Mortalität lag diese für den Flussbarsch und die Äsche zwischen 21% und 23%. Die Mortalitätsraten für Nase, Bachforelle, Barbe, Rotaugen und Huchen lagen in dieser Versuchsgruppe zwischen 5–6%, beim Aal wurde keine Mortalität beobachtet.

Die Passage des Kronenausschnittes verursachte keine sofortige Mortalität und nur eine sehr geringe verzögerte Mortalität (< 0,5%; Tabelle 11).

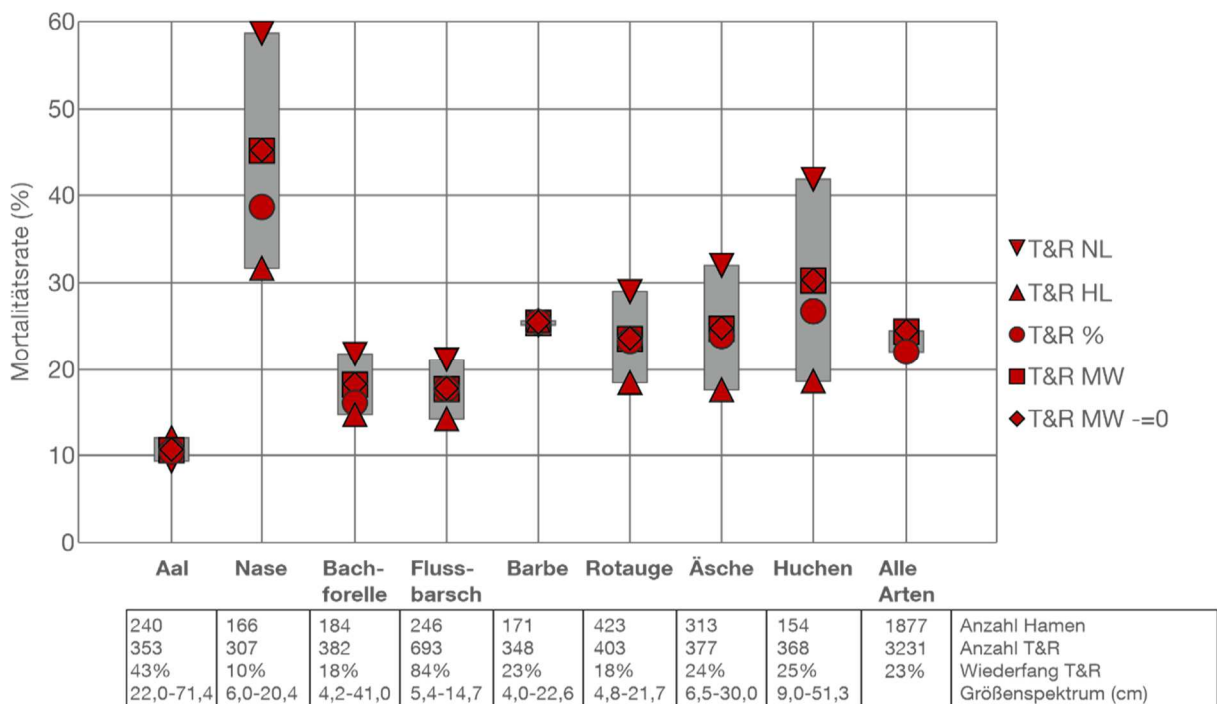


Abbildung 18 Fischartenspezifische Mortalitätsraten bei den standardisierten Fischzugaben in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen (T&R) nach Korrektur um die Mortalität der Versuchsgruppe Hamen bei niedriger (NL) und hoher (HL) Turbinenlast. Für die Berechnung wurde die Summe sofort und verzögert nach 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) am beweglichen Kraftwerk mit Kaplan-Turbine am Standort Eixendorf. 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). Der graue Balken symbolisiert den Wertebereich der ermittelten Mortalitätsraten. Zur Berechnung der Mortalitätsraten siehe Band 1.

Tabelle 11 Übersicht der in den verschiedenen Versuchsgruppen ermittelten Mortalitätsraten (%) unmittelbar nach dem Fang (sofort) und nach 96 h in der Hälterung (96 h) der Fischarten Aal, Nase, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotaugen, Äsche und Huchen bei Niedriglast (niedrig) und bei Hochlast (hoch). Unterschiedliche Kleinbuchstaben an den Mortalitätsraten symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Grundpassage, Kronenausschnitt) und Lastzustandes nach Proportion-Test. Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen) der einzelnen Fangeinrichtungen. Signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet.

Versuchsgruppe	Last	Aal	Nase	Bachforelle	Flussbarsch	Barbe	Rotaugen	Äsche	Huchen
Vorschädigung	sofort	0,0 n=243	0,0 n=270	0,3 n=305	0,0 n=238	0,0 n=239	0,0 n=350	0,0 n=343	0,0 n=258
	96 h	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	2,3	0,3	0,8
Hamen	sofort niedrig	0,0 ^a n=120	0,0 ^a n=87	0,0 ^{AA} n=68	0,0 ^a n=97	0,0 ^a n=81	0,0 ^a n=228	4,1 ^{a*} n=145	6,3 ^{a*} n=32
	96 h	0,0	2,3	8,8	0,0	0,0	3,5	1,4	3,1
	sofort hoch	0,8 ^a n=120	0,0 ^a n=79	0,0 ^{AA} n=116	0,0 ^a n=149	0,0 ^a n=90	0,0 ^a n=195	0,0 ^a n=168	2,0 ^a n=102
	96 h	0,0	3,8	2,6	4,0	0,0	1,5	0,0	1,0
Turbine & Rechen	sofort niedrig	9,4 ^b n=170	58,4 ^b n=77	17,6 ^b n=102	20,7 ^b n=429	24,1 ^b n=162	28,4 ^b n=190	35,3 ^b n=173	46,0 ^b n=126
	96 h	0,6	1,3	10,8	0,5	1,9	3,2	0,6	1,6
	sofort hoch	11,5 ^b n=183	26,5 ^b n=230	13,9 ^b n=280	14,4 ^b n=264	23,7 ^b n=186	16,9 ^b n=213	17,6 ^b n=204	20,7 ^b n=242
	96 h	0,5	7,8	3,6	3,4	2,2	2,8	0,0	0,4
Hamen Grundpassage	sofort	0,0 n=86	4,1 ^{a*} n=217	13,2 ^{B*} n=53	0,0 n=78	5,7 [*] n=35	0,8 ^a n=120	1,6 ^a n=125	2,0 n=51
	96 h	0,0	25,3	11,3	6,4	0,0	4,2	4,0	0,0
Grundpassage	sofort	0,0 n=107	21,0 ^b n=81	24,2 n=124	0,6 n=162	2,1 n=142	8,2 ^b n=159	24,6 ^b n=252	7,1 n=156
	96 h	0,0	11,1	4,8	25,3	6,3	4,4	3,2	1,3
Hamen Kronenausschnitt	sofort	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=40
	96 h	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kronenausschnitt	sofort	0,0 n=40	0,0 n=40	0,0 n=43	0,0 n=40	0,0 n=41	0,0 n=55	0,0 n=40	0,0 n=41
	96 h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0

2.1.2.4. Vitalität

Über alle Fischarten hinweg wiesen die Fische der Versuchsgruppe Vorschädigung überwiegend die Vitalitätsstufe 0 (kein Vitalitätsverlust) auf (Abbildung 19). Nur einzelne Individuen hatten eine leicht verringerte Vitalität (Vitalitätsstufe 1). Die Effekte des Transports und der Umstellung auf den Wasserchemismus der Schwarzach auf die Vitalität der Versuchsfische waren offensichtlich minimal. Die Vitalität der Fische aus der Versuchsgruppe Hamen bei hoher und bei niedriger Turbinenlast war im Vergleich zur Vorschädigung signifikant reduziert.

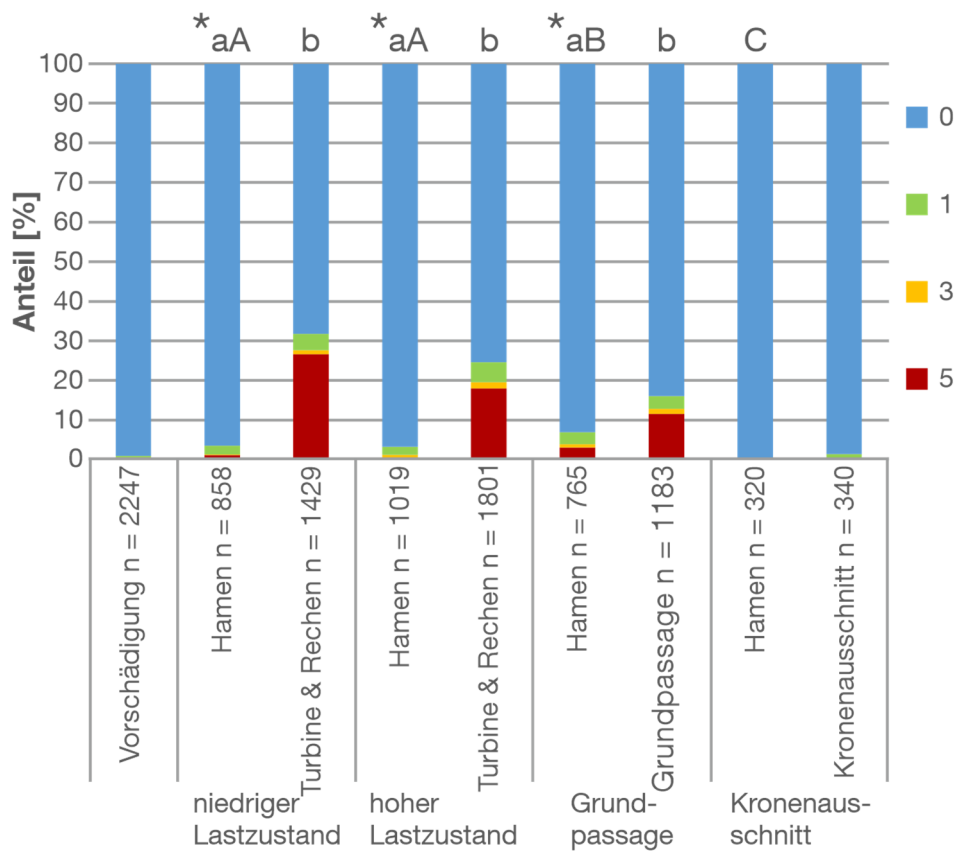


Abbildung 19 Prozentualer Anteil der unmittelbar nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen 0 (= vollkommen vital) bis 5 (= tot; siehe Band 1) der acht Versuchsfischarten bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Eixendorf im Frühjahr und Herbst 2017, aufgetrennt in die verschiedenen Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine & Rechen (jeweils niedriger und hoher Lastzustand), Grundpassage sowie Kronenausschnitt. Die unterschiedlichen Farben im Stapelbalken symbolisieren die Vitalitätsstufen (rot = 5, orange = 3, grün = 1, hellblau = 0). Unterschiedliche Kleinbuchstaben oberhalb der Stapelbalken symbolisieren signifikante Unterschiede (paarweiser Mann-Whitney U-Test) zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Grundpassage, Kronenausschnitt) und Lastzustandes (nur Turbinenkorridor). Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen) der einzelnen Fangeinrichtungen bzw. Lastzustände. Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet. n = Individuenzahl.

Über alle Fischarten hinweg wiesen Fische der Versuchsgruppen Turbine & Rechen und Grundpassage im Vergleich zur jeweils zugehörigen Referenzgruppe Hamen eine signifikant reduzierte Vitalität auf. Die stärksten Effekte auf die Vitalität der Versuchsfische wurden in den Versuchsgruppen Turbine & Rechen und Grundpassage detektiert. Neben den letal geschädigten Individuen wurden ca. 5% der Fische auch subletal (= nicht unmittelbar tödlich) geschädigt und wiesen eine reduzierte Vitalität der Stufen 1 oder 3 auf. Fische der Versuchsgruppe Kronenausschnitt waren fast ausschließlich vollkommen vital (kein Vitalitätsverlust). Bei Einzelbetrachtung der Fischarten wurde für jede Fischart und bei beiden Lastzuständen in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen eine signifikant verringerte Vitalität im Vergleich zur zugehörigen Referenzgruppe Hamen festgestellt (Abbildung 20, Abbildung 21). Innerhalb des Abstiegskorridors Kronenausschnitt wiesen nur bei den Fischarten Barbe und Rotaugen einzelne Fische eine leicht reduzierte Vitalität auf (Stufe 1), bei allen anderen Fischarten wurde keine verringerte Vitalität in diesem Korridor festgestellt.

Bei den **Aalen** wurde in den Versuchsgruppen Vorschädigung, Grundpassage sowie im Abstiegskorridor Kronenausschnitt kein Vitalitätsverlust festgestellt. In der Versuchsgruppe Turbine & Rechen war der Anteil an letal geschädigten Aalen (Vitalitätsstufe 5) sowohl bei Niedrig- als auch Hochlast am höchsten.(Abbildung 20). Auffällig beim Aal war, dass neben den letal geschädigten Individuen ein großer Anteil (> 10%) der Versuchsgruppe Turbine & Rechen zwar überlebte, aber eine reduzierte Vitalität (Stufen 1 und 3) aufwies (Abbildung 20).

Die Vitalität der **Nasen** war in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen bei Niedriglast mit fast 60% letal geschädigten Fischen (Vitalitätsstufe 5) besonders stark reduziert. Auch in der Versuchsgruppe Grundpassage war die Vitalität der Nasen nach der Passage unter das angehobene Kraftwerk hindurch mit ca. 20% sofort toten Individuen im Vergleich zur zugehörigen Referenzgruppe Hamen signifikant reduziert. Im Gegensatz zum Aal war der Großteil der geschädigten Nasen sofort tot, subletale Auswirkungen auf die Vitalität traten nur bei einem geringen Prozentsatz auf (Abbildung 20).

Die Vitalität der **Bachforellen** war in der Versuchsgruppe Grundpassage am stärksten reduziert und unterschied sich signifikant zur zugehörigen Referenzgruppe Hamen Grundpassage. Neben den ca. 25% letal geschädigten Individuen wiesen ca. weitere 25% der Bachforellen in der Versuchsgruppe Grundpassage eine reduzierte Vitalität (Stufe 1 und 3) auf.

Bei den **Flussbarschen** kamen tote Individuen (Vitalitätsstufe 5) fast ausschließlich in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen vor (Abbildung 20). In der Versuchsgruppe Grundpassage

war nur ein Fisch sofort tot (Vitalitätsstufe 5). In den Versuchsgruppen Hamen und Grundpassage Hamen wiesen nur einzelne Flussbarsche eine leicht reduzierte Vitalität auf.

Sowohl bei Niedrig- als auch bei Hochlast waren mehr als 20% der **Barben** in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen sofort tot (Vitalitätsstufe 5, Abbildung 21). In den Versuchsgruppen Grundpassage (3 Individuen) und Hamen Grundpassage (2 Individuen) waren einzelne Barben sofort tot.

Die stärkste Beeinträchtigung der Vitalität bei den **Rotaugen** wurde in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen bei beiden Lastzuständen beobachtet, wobei bei Niedriglast mit 28% mehr Rotaugen sofort tot waren als bei Hochlast (Abbildung 21). In der Versuchsgruppe Grundpassage wiesen ca. 10% der Rotaugen eine leicht reduzierte Vitalität auf (Stufe 1 und 3) oder waren sofort tot.

Der höchste Vitalitätsverlust bei den **Äschen** wurde in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen bei Niedriglast festgestellt. Mit einem Anteil von ca. 35% sofort toten Individuen waren bei Niedriglast fast doppelt so viele Äschen sofort tot als bei Hochlast (Abbildung 21). In der Referenzgruppe Hamen wiesen bei beiden Lastzuständen ca. 10% der Äschen eine reduzierte Vitalität auf. Ein hoher Anteil an toten Äschen (Vitalitätsstufe 5) wurde in der Versuchsgruppe Grundpassage detektiert, die sich dadurch signifikant von der zugehörigen Referenzgruppe Hamen Grundpassage unterschied.

Mehr als 40% der **Huchen** waren in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen bei Niedriglast sofort tot (Vitalitätsstufe 5). Bei Hochlast hingegen waren in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen ca. 20% der Huchen sofort tot (Abbildung 21). In der Versuchsgruppe Grundpassage wiesen ca. 12% der Huchen eine leicht reduzierte Vitalität auf (Stufe 1 und 3) oder waren sofort tot.

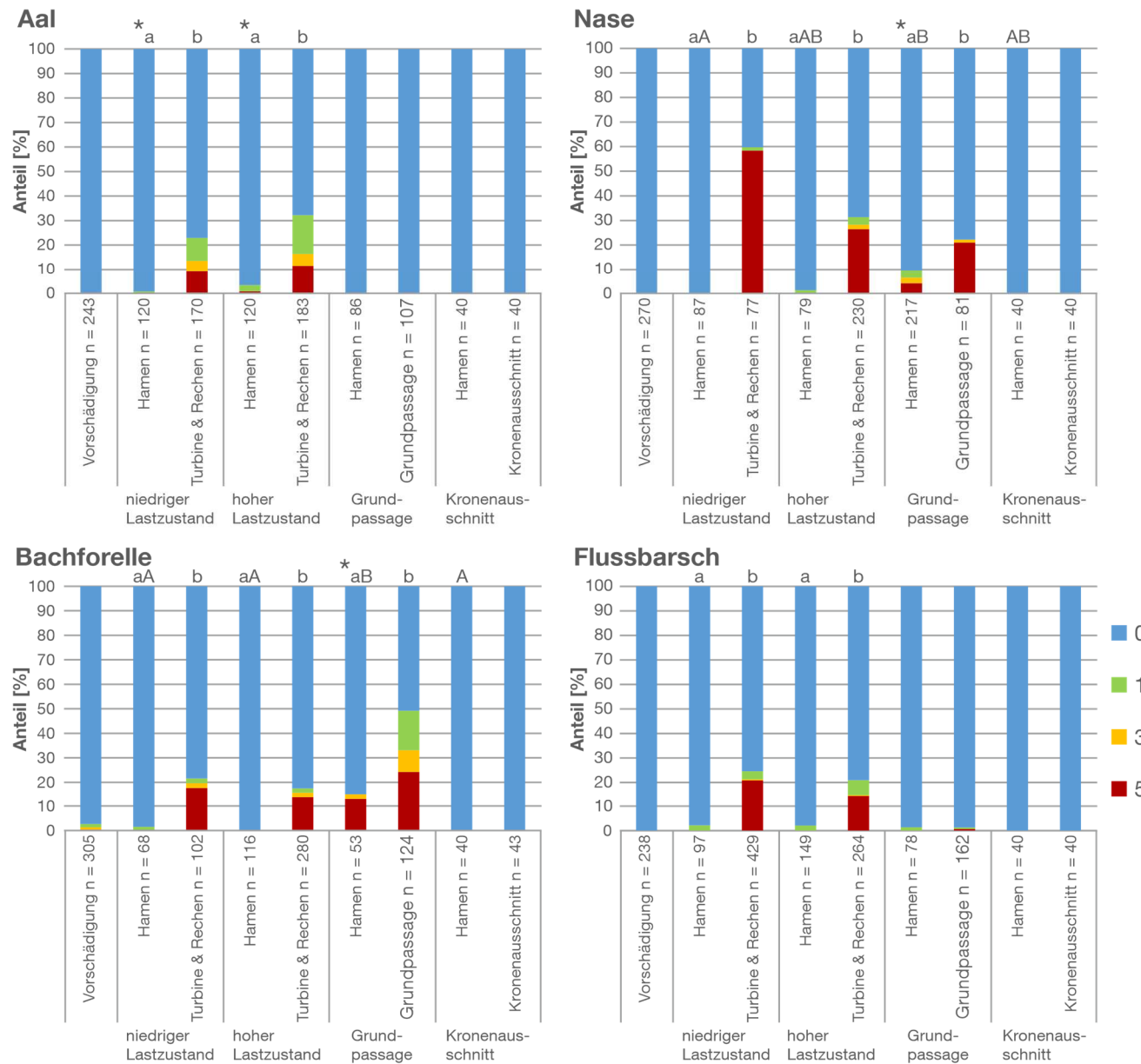


Abbildung 20 Prozentualer Anteil der unmittelbar nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen 0 (= vollkommen vital) bis 5 (= tot; siehe Band 1) der Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Eixendorf im Frühjahr und Herbst 2017, aufgetrennt in die verschiedenen Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine & Rechen (jeweils niedriger und hoher Lastzustand), Grundpassage sowie Kronenausschnitt. Die unterschiedlichen Farben im Stapelbalken symbolisieren die Vitalitätsstufen (rot = 5, orange = 3, grün = 1, hellblau = 0). Unterschiedliche Kleinbuchstaben oberhalb der Stapelbalken symbolisieren signifikante Unterschiede (paarweiser Mann-Whitney U-Test) zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Grundpassage, Kronenausschnitt) und Lastzustandes (nur Turbinenkorridor). Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen) der einzelnen Fangeinrichtungen bzw. Lastzuständen. Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet. n = Individuenzahl.

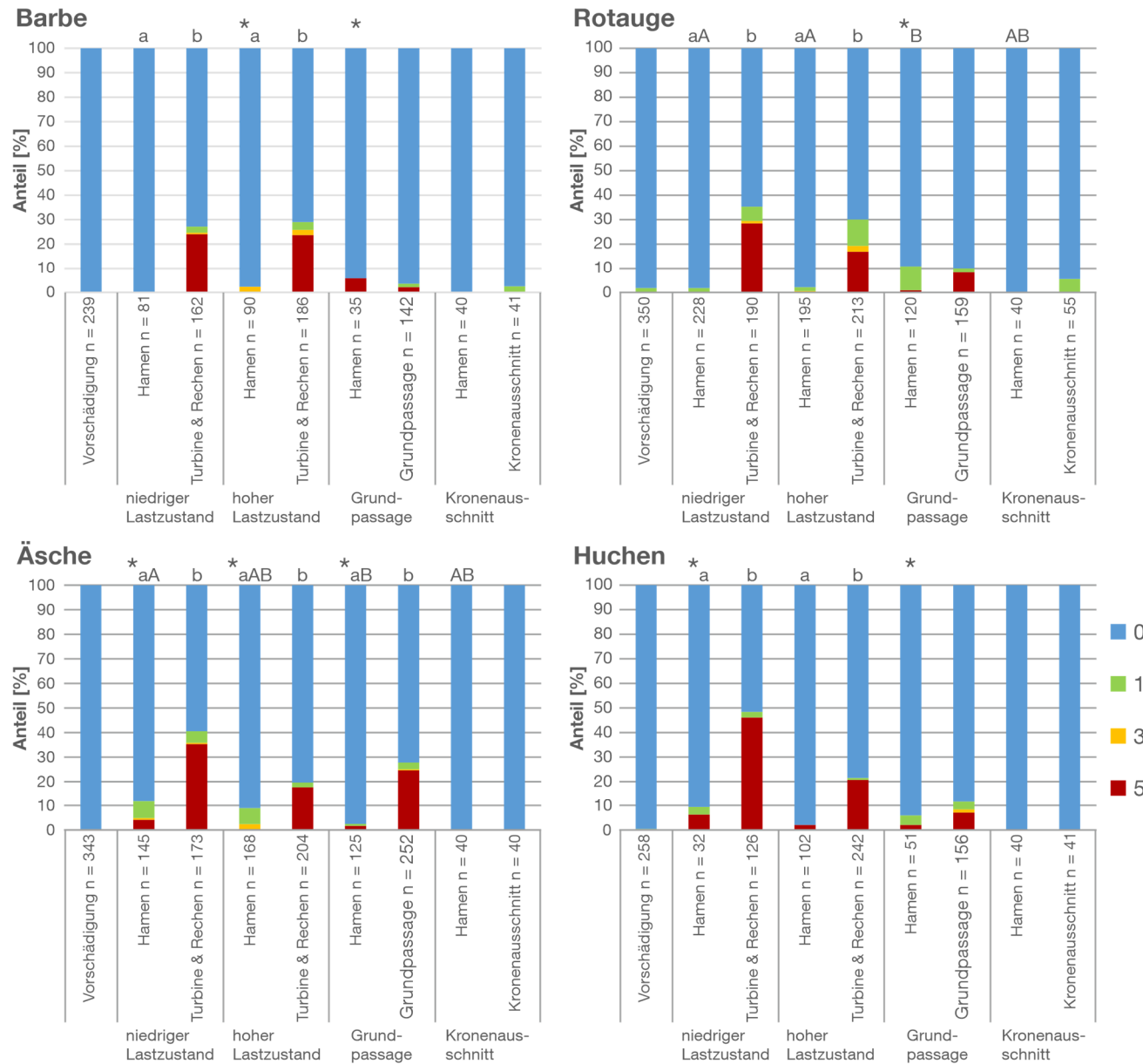


Abbildung 21 Prozentualer Anteil der unmittelbar nach dem Fang erhobenen Vitalitätsstufen 0 (= vollkommen vital) bis 5 (= tot; siehe Band 1) der Fischarten Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen bei den standardisierten Fischzugaben am Standort Eixendorf im Frühjahr und Herbst 2017, aufgetrennt in die verschiedenen Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine & Rechen (jeweils niedriger und hoher Lastzustand), Grundpassage sowie Kronenausschnitt. Die unterschiedlichen Farben im Stapelbalken symbolisieren die Vitalitätsstufen (rot = 5, orange = 3, grün = 1, hellblau = 0). Unterschiedliche Kleinbuchstaben oberhalb der Stapelbalken symbolisieren signifikante Unterschiede (paarweiser Mann-Whitney U-Test) zwischen den einzelnen Versuchsgruppen innerhalb eines Abstiegskorridors (Turbine, Grundpassage, Kronenausschnitt) und Lastzustandes (nur Turbinenkorridor). Unterschiedliche Großbuchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede zwischen den fangbedingten Verletzungen (Hamen) der einzelnen Fangeinrichtungen bzw. Lastzuständen. Signifikante Unterschiede ($P < 0,05$) zwischen den fangbedingten Verletzungen der verschiedenen Fangeinrichtungen und der Vorschädigung sind mit * gekennzeichnet. n = Individuenzahl.

2.1.2.5. Äußere Verletzungen

Die multivariate Analyse mittels NMDS ergab eine relativ deutliche Trennung der äußeren Verletzungsmuster zwischen den Fischarten (Abbildung 22). Diese artspezifischen Verletzungsmuster überlagern im Gesamtdatensatz die Effekte der einzelnen Versuchsgruppen und Abstiegskorridore nahezu vollständig. Zwar wurden über alle Fischarten statistisch signifikante Unterschiede in den äußeren Verletzungsmustern zwischen den Versuchsgruppen Vorschädigung und Hamen (ANOSIM: R-Wert = 0,01; $P < 0,001$) sowie zwischen den Lastzuständen in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen (ANOSIM: R-Wert = 0,03; $P < 0,001$) und der Kontrollgruppe Hamen (ANOSIM: R-Wert = 0,02; $P < 0,001$) festgestellt, die Güte der Trennung (R-Wert) war aber sehr gering.

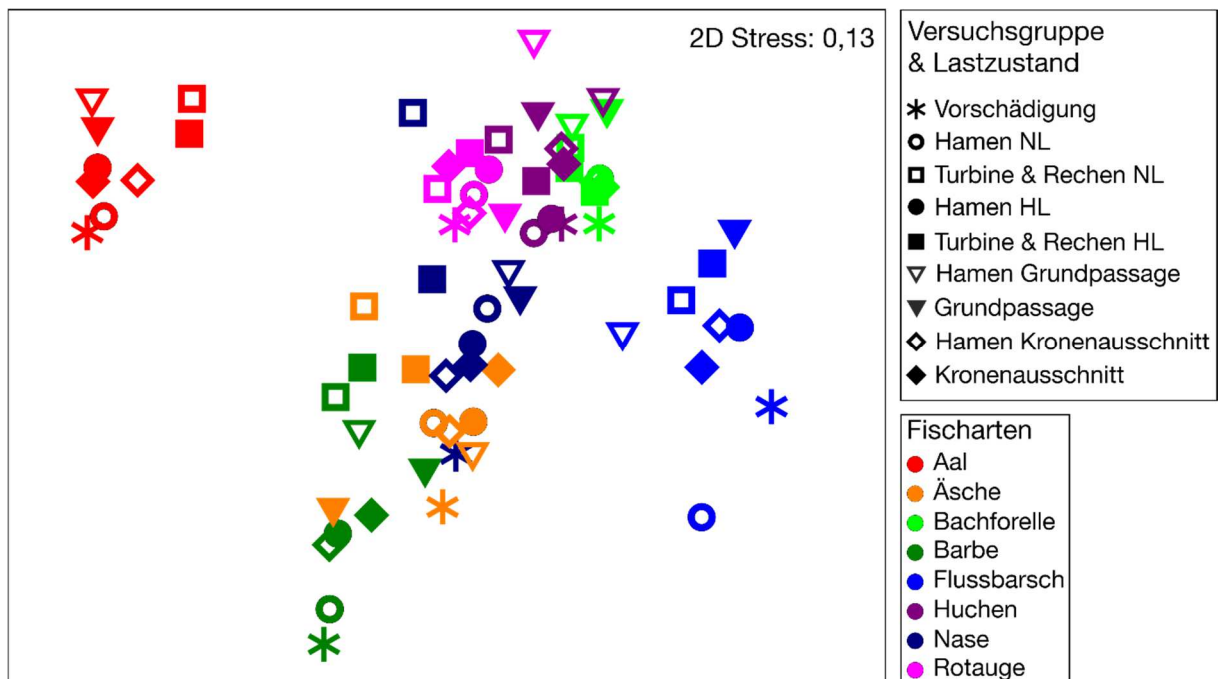


Abbildung 22 Nicht-metrische multidimensionale Skalierung (NMDS) der äußeren Verletzungsmuster am Standort Eixendorf unterteilt nach Fischarten und den verschiedenen Versuchsgruppen (Band 1). NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die Werte aller Individuen für jede Fischart und Versuchsgruppe gemittelt. Der Abstand der Versuchsgruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Verletzungsmuster (geringer Abstand = große Ähnlichkeit).

Über alle Fischarten hinweg kamen insbesondere Schuppenverluste, Einblutungen am Kopf, Hautverletzungen sowie Einrisse und Schnitte an den Flossen stetig in allen Versuchsgruppen vor. Neben diesen am häufigsten auftretenden Verletzungen kam es nach der Turbinenpassage bei 14% der Fische (Anteil am Gesamtfang über alle Fischarten) zu Amputationen von Körperteilen. Die teilweise beobachtete Mortalität nach der Grundpassage spiegelte sich nicht deutlich in den äußeren Verletzungen wider, jedoch unterscheiden sich

bei allen Fischarten die Verletzungsmuster in der Versuchsgruppe Grundpassage von den restlichen Versuchsgruppen (Abbildung 23, Abbildung 24). Es wurde zudem vereinzelt beobachtet, dass Fische während der Grundpassage zwischen dem beweglichen Kraftwerk und den Kraftwerksmauern eingequetscht wurden (Abbildung 10).

Bei den **Aalen** wurde zwar kein signifikanter Unterschied in den Verletzungsmustern zwischen Fischen mit Turbinenpassage (Versuchsgruppe Turbine & Rechen) und der zugehörigen Referenzgruppe Hamen nachgewiesen, jedoch war die Intensität aller Verletzungen in der Versuchsgruppe mit Turbinenpassage etwas höher (Abbildung 25). Statistisch signifikante, aber überwiegend gering ausgeprägte Unterschiede (vgl. R-Werte) in den Verletzungsmustern der Aale wurden zwischen den Versuchsgruppen Hamen und Vorschädigung, Grundpassage und Hamen Grundpassage sowie in den Versuchsgruppen Hamen und Turbine & Rechen beim Vergleich von Niedrig- und Hochlast festgestellt (Abbildung 23, Abbildung 25). Beim Vergleich der Versuchsgruppen Grundpassage und Hamen Grundpassage waren die Intensitäten der Verletzungen Schuppenverlust, Hautverletzung am Körper und an den Kiemendeckeln sowie Einblutung im Kopf und an den Flossen in der Versuchsgruppe Grundpassage höher. In der Versuchsgruppe Hamen war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Hautverletzungen und Einrisse/Schnitte an den Flossen) bei Hochlast etwas höher als bei Niedriglast. In der Versuchsgruppe Turbine & Rechen waren vor allem die Intensitäten von Hautverletzungen am Kopf und Einblutungen an den Flossen bei Niedriglast etwas höher als bei Hochlast.

Für die Fischart **Nase** wurde kein signifikanter Unterschied der Verletzungsmuster zwischen Fischen mit Turbinenpassage und der Referenzgruppe Hamen nachgewiesen, allerdings war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Pigmentveränderungen, Schuppenverluste) in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen höher. Die Verletzungsmuster der Fischart Nase unterschieden sich zwischen den Versuchsgruppen Hamen und Vorschädigung sowie zwischen Niedrig- und Hochlast innerhalb der Versuchsgruppen Hamen bzw. Turbine & Rechen signifikant (Abbildung 23, Abbildung 25). In der Versuchsgruppe Turbine & Rechen war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Schuppenverluste, Pigmentveränderungen, Amputationen am Körper) bei Niedriglast deutlich höher.

Es wurden keine signifikanten Unterschiede in den Verletzungsmustern der **Bachforelle** in den verschiedenen Versuchsgruppen festgestellt (Abbildung 25), was sich auch in der graphischen Darstellung der MDS widerspiegelt (Abbildung 23). Bei den Bachforellen der Versuchsgruppe Turbine & Rechen war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Pigmentveränderungen) allerdings etwas höher als in der Referenzgruppe Hamen. Bei

Niedriglast war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Einrisse/Schnitte in den Flossen, Hautverletzungen) innerhalb der Versuchsgruppen Turbine & Rechen bzw. Hamen etwas höher als bei Hochlast.

Für die Fischart **Flussbarsch** wurde kein signifikanter Unterschied der Verletzungsmuster zwischen den Fischen mit Turbinenpassage und der zugehörigen Referenzgruppe Hamen nachgewiesen. Dennoch war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Einrisse/Schnitte in den Flossen, Pigmentveränderungen) in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen etwas höher als in der Referenzgruppe Hamen und die MDS zeigte eine deutliche Trennung der beiden Versuchsgruppen (Abbildung 23). Signifikante Unterschiede der Verletzungsmuster wurden zwischen den Versuchsgruppen Hamen und Vorschädigung, Grundpassage und Hamen Grundpassage sowie zwischen Niedrig- und Hochlast innerhalb der Versuchsgruppe Hamen nachgewiesen (Abbildung 25). Für den Unterschied zwischen den Fischen aus der Versuchsgruppe Grundpassage und den Fischen aus der zugehörigen Referenzgruppe Hamen waren Verletzungen wie Schuppenverlust und Gasblasen in den Augen verantwortlich, deren Intensitäten in der Referenzgruppe Hamen Grundpassage höher waren. Im Gegensatz dazu wurde in der Versuchsgruppe Grundpassage eine etwas höhere Intensität von Einrissen/Schnitten an den Flossen festgestellt. Bei Flussbarschen, die im Turbinenhamen gefangen wurden, war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Einrisse/Schnitte an den Flossen) bei Hochlast höher als bei Niedriglast.

Bei der Fischart **Barbe** konnten weder signifikante Unterschiede der Verletzungsmuster zwischen den einzelnen Versuchsgruppen noch zwischen den beiden Lastzuständen nachgewiesen werden (Abbildung 26). Dennoch war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Schuppenverluste, Einrisse/Schnitte an den Flossen, Einblutungen am Kopf) in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen etwas höher als in der zugehörigen Referenzgruppe Hamen (Abbildung 26).

Bei den **Rotaugen** unterschieden sich die Verletzungsmuster statistisch signifikant zwischen der Versuchsgruppe Turbine & Rechen und der Referenzgruppe Hamen, wobei die Güte der Trennung (R-Wert) aber sehr gering und die mittlere kumulative Verletzungsintensität in beiden Versuchsgruppen vergleichbar waren (Abbildung 26). Innerhalb der Versuchsgruppen Turbine & Rechen und Hamen unterschieden sich die Verletzungsmuster signifikant zwischen Niedrig- und Hochlast, auch wenn die Güte der Trennung ebenfalls sehr gering war. Innerhalb beider Versuchsgruppen war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Einrisse/Schnitte in den Flossen, Einblutungen, Hautverletzungen am Körper) bei Hochlast etwas höher als bei Niedriglast (Abbildung 26). Die Verletzungsmuster der Rotaugen unterschieden sich

außerdem signifikant zwischen der Versuchsgruppe Grundpassage und der zugehörigen Referenzgruppe Hamen, was sich auch in der graphischen Darstellung der MDS widerspiegelt (Abbildung 24). Zu diesem Unterschied haben insbesondere eine deutlich höhere Intensität von Einrissen/Schnitten in den Flossen, Einblutungen und Pigmentveränderungen in der Referenzgruppe Hamen Grundpassage beigetragen (Abbildung 26).

Bei der Fischart **Äsche** unterschieden sich die Verletzungsmuster nicht signifikant zwischen den Versuchsgruppen Turbine & Rechen und der Referenzgruppe Hamen, allerdings war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Pigmentveränderungen) in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen etwas höher (Abbildung 26). Bei der Äsche wurden signifikante Unterschiede in den Verletzungsmustern innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen zwischen Niedrig- und Hochlast festgestellt, wobei die Güte der Trennung (R-Werte) gering war (Abbildung 26). Allgemein war die Intensität von Einblutungen im Auge und an den Flossen bei Niedriglast etwas höher. Auch in den Versuchsgruppen Grundpassage und Hamen Grundpassage wurde ein signifikanter Unterschied der Verletzungsmuster nachgewiesen, zu dem insbesondere etwas höhere Intensitäten von Einblutungen am Kopf und an den Flossen in der Versuchsgruppe Hamen Grundpassage beigetragen haben.

Bei der Fischart **Huchen** wurde kein signifikanter Unterschied der Verletzungsmuster zwischen der Versuchsgruppe Turbine & Rechen und der Referenzgruppe Hamen nachgewiesen. Dennoch war die kumulative Verletzungsintensität (v.a. Amputationen an Kopf und Körper, Pigmentveränderungen, Hautverletzungen am Körper) in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen höher als in der Referenzgruppe Hamen (Abbildung 26). Die Verletzungsmuster unterschieden sich innerhalb der Versuchsgruppe Turbine & Rechen signifikant zwischen Niedrig- und Hochlast, was insbesondere auf eine höhere Intensität von Amputationen am Kopf und Hautverletzungen am Körper bei Niedriglast zurückzuführen ist (Abbildung 26).

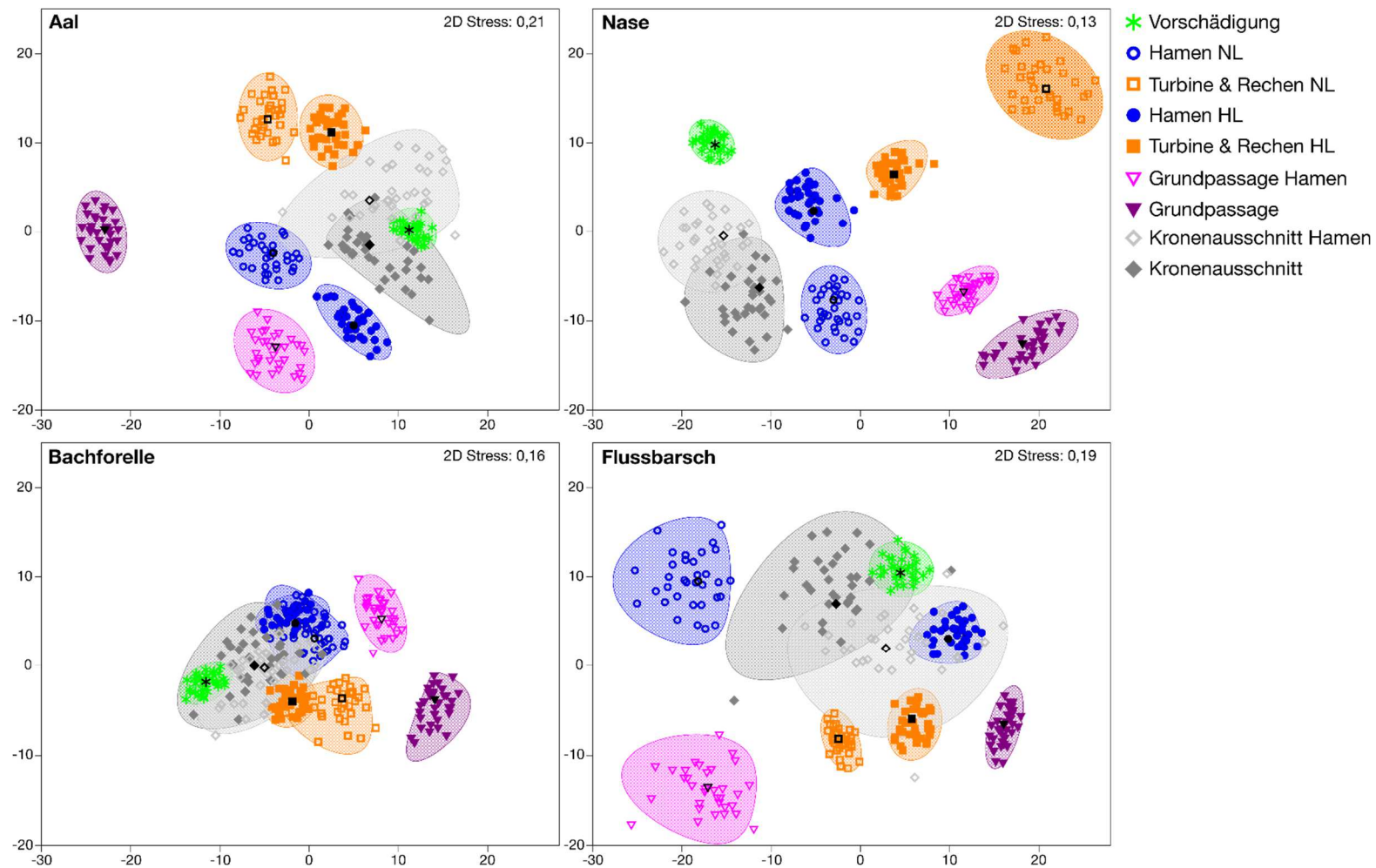


Abbildung 23 Metrische multidimensionale Skalierung (MDS) basierend auf Mittelwerten aus Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) der äußeren Verletzungsmuster für die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch am Standort Eixendorf unterteilt nach den Versuchsgruppen und Lastzuständen (Band 1). NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Die schwarzen Symbole stellen jeweils den Mittelwert der Ausgangsstichprobe der Versuchsgruppe dar, die farbigen Symbole die Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen. Die transparent-farbigen Flächen kennzeichnen die Region, in die 95% der Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen fallen (Bootstrap Regionen, ähnlich Konfidenzintervall). Der Abstand der Versuchsgruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Verletzungsmuster (geringer Abstand = große Ähnlichkeit).

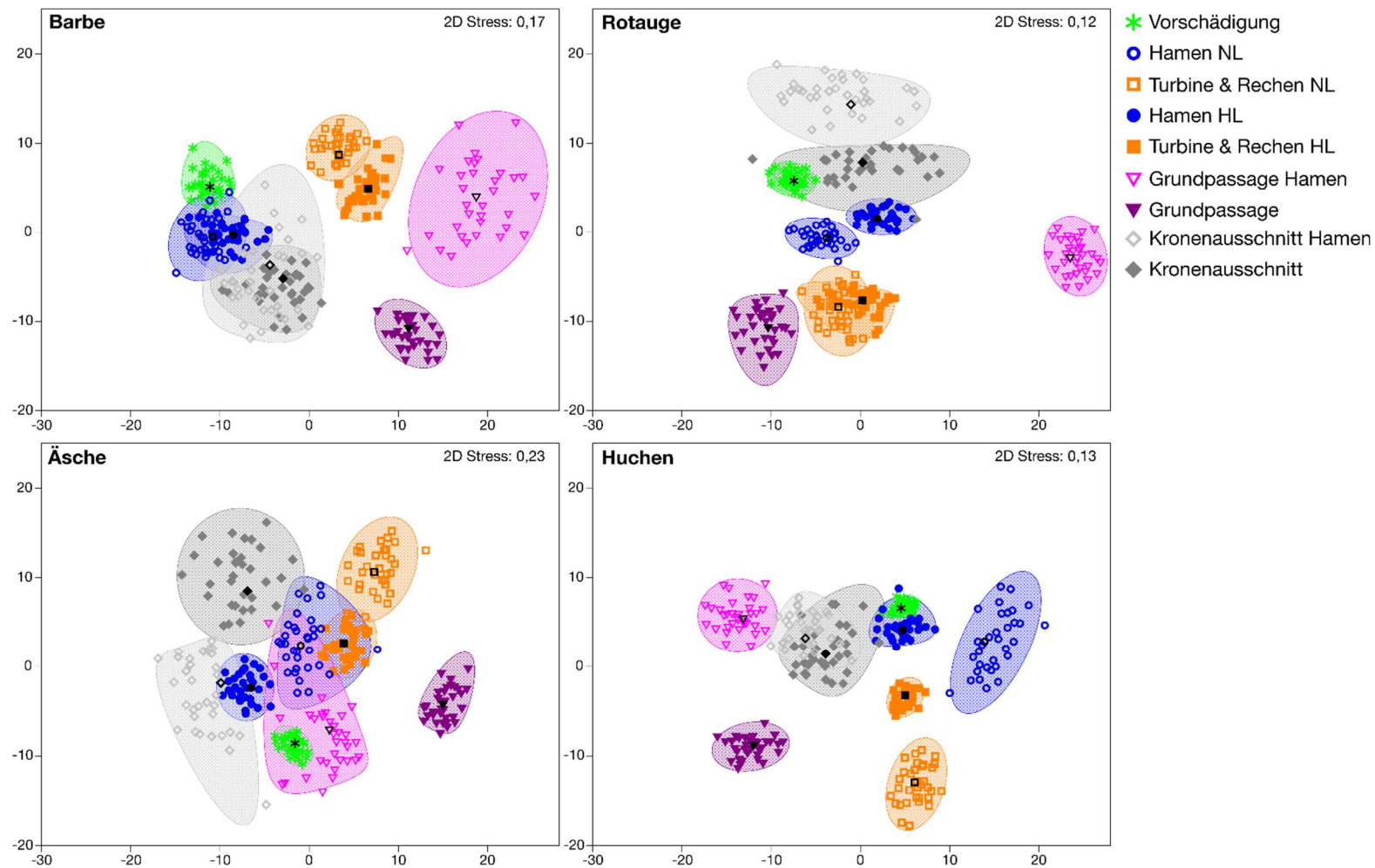


Abbildung 24 Metrische multidimensionale Skalierung (MDS) basierend auf Mittelwerten aus Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) der äußeren Verletzungsmuster für die Fischarten Barbe, Rotaug, Äsche und Huchen am Standort Eixendorf unterteilt nach den Versuchsgruppen und Lastzuständen (Band 1). NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Die schwarzen Symbole stellen jeweils den Mittelwert der Ausgangsstichprobe der Versuchsgruppe dar, die farbigen Symbole die Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen. Die transparent-farbigen Flächen kennzeichnen die Region, in die 95% der Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen fallen (Bootstrap Regionen, ähnlich Konfidenzintervall). Der Abstand der Versuchsgruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Verletzungsmuster (geringer Abstand = große Ähnlichkeit).

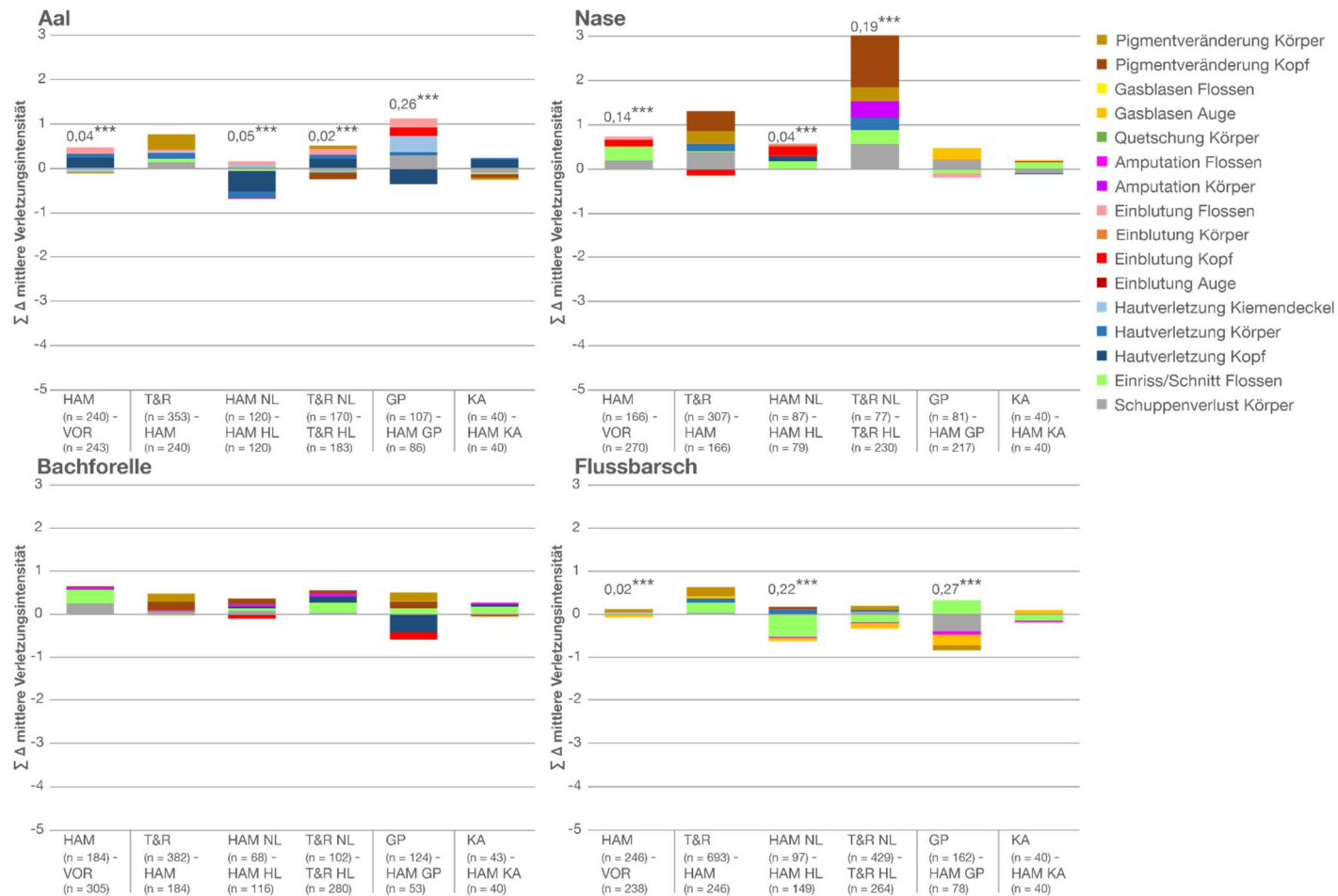


Abbildung 25 Aufsummierte Differenz ($\Sigma \Delta$) der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien (Beitrag zur Unähnlichkeit $\geq 5\%$) aus der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen (x-Achse) für die Fischarten Aal, Nase, Bachforelle und Flussbarsch am Standort Eixendorf. Positive Werte zeigen eine höhere mittlere Verletzungsintensität der jeweiligen Verletzungskategorie des Minuenden an, negative Werte eine höhere mittlere Verletzungsintensität des Subtrahenden. HAM = Hamen, VOR = Vorschädigung, T&R = Turbine & Rechen, GP = Grundpassage, KA = Kronenausschnitt, NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Unterscheiden sich die Verletzungsmuster der paarweisen Vergleiche der Versuchsgruppen nach ANOSIM signifikant voneinander, ist der R-Wert und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

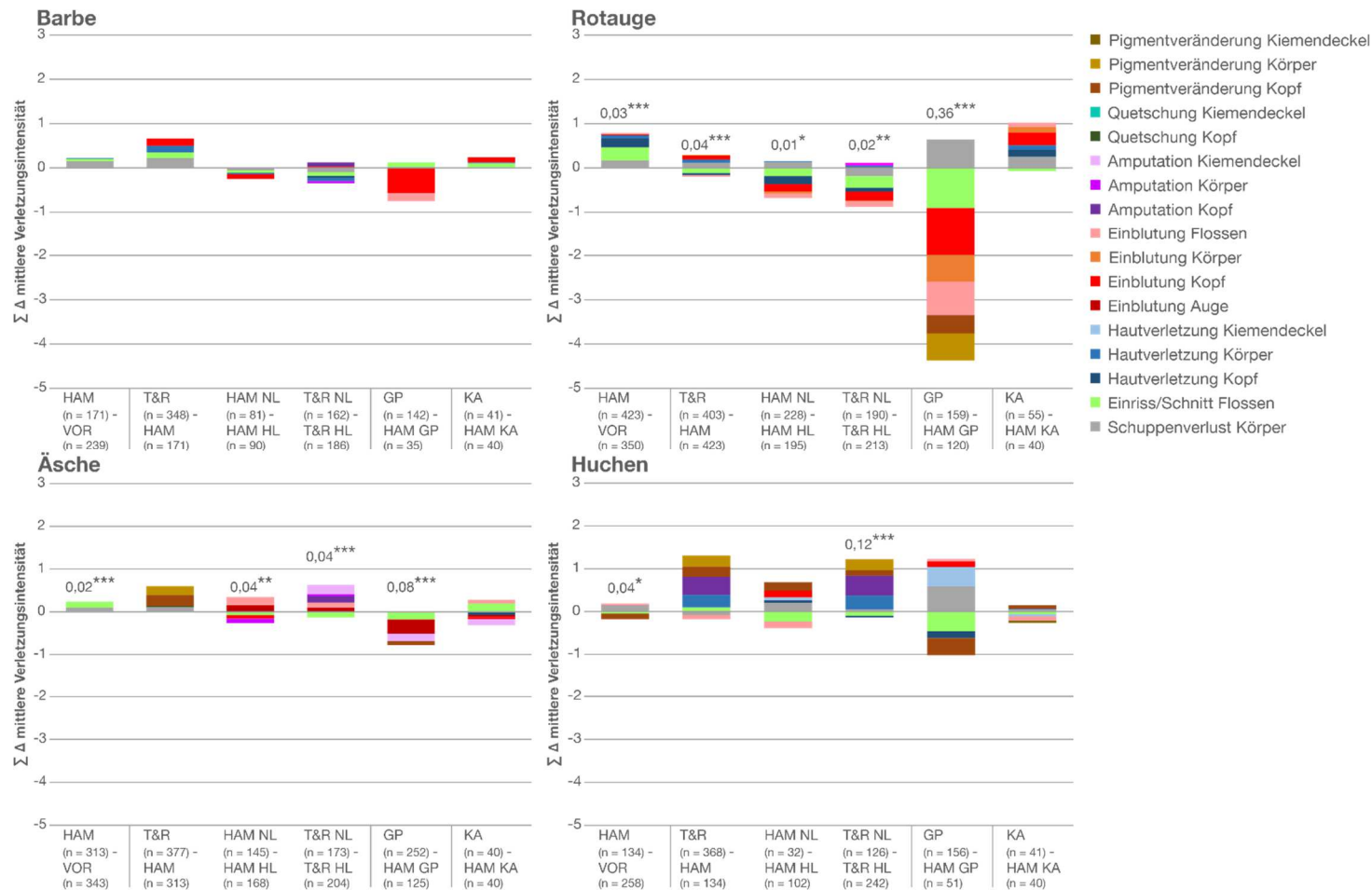


Abbildung 26 Aufsummierte Differenz ($\sum \Delta$) der mittleren Verletzungsintensitäten für die häufigsten Verletzungskategorien (Beitrag zur Unähnlichkeit $\geq 5\%$) aus der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen (x-Achse) für die Fischarten Barbe, Rotaue, Äsche und Huchen am Standort Eixendorf. Positive Werte zeigen eine höhere mittlere Verletzungsintensität der jeweiligen Verletzungskategorie des Minuenden an, negative Werte eine höhere mittlere Verletzungsintensität des Subtrahenden. HAM = Hamen, VOR = Vorschädigung, T&R = Turbine & Rechen, GP = Grundpassage, KA = Kronenausschnitt, NL = niedrige Turbinenlast, HL = hohe Turbinenlast. Unterscheiden sich die Verletzungsmuster der paarweisen Vergleiche der Versuchsgruppen nach ANOSIM signifikant voneinander, ist der R-Wert und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

2.1.2.6. Innere Verletzungen

Aus den Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine & Rechen, Grundpassage und Hamen Grundpassage wurde eine Stichprobe toter (n = 691) und lebender (n = 548) Fische (insgesamt 1.239 Individuen) konserviert (Tabelle 12). Nachfolgend wurden diese mittels Kontaktradiographie und dem standardisierten Protokoll (Band 1, Kapitel 6.3.1) auf innere Verletzungen hin untersucht. Hierbei wurden auch innere Verletzungen gewertet, die mutmaßlich von außen erkennbar waren, aber im Feld nicht detailliert und sicher erfasst werden können (z.B. Frakturen). Bei der statistischen Auswertung wurde die Anzahl und Intensität der inneren Verletzungen (univariat) sowie die inneren Verletzungsmuster (multivariat) berücksichtigt (Berechnung siehe Band 1, Kapitel 6.12.2 und 6.12.3). Es wurden Fische mit Turbinen-/Grundpassage (Versuchsgruppe Turbine & Rechen bzw. Grundpassage) und ohne Turbinen-/Grundpassage (Versuchsgruppe Vorschädigung, Hamen bzw. Hamen Grundpassage), ebenso wie lebende und tote Fische direkt nach der Turbinenpassage miteinander verglichen.

Aufgrund einer technischen Störung bei der Lagerung der eingefrorenen Proben der Fischart Nase konnte keine Auswertung der inneren Verletzungen für diese Fischart erfolgen.

Tabelle 12 Anzahl der in den Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen, Turbine & Rechen, Grundpassage und Hamen Grundpassage konservierten und ausgewerteten Individuen (gesamt: n = 1.239) der Fischarten Aal, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen. In Klammern ist die Anzahl der toten Fische angegeben.

	Vorschädigung	Hamen	Turbine & Rechen	Grundpassage	Hamen Grundpassage	Gesamt
Aal	22	28 (1)	57 (39)	10	13	130
Bachforelle	23 (4)	29 (8)	84 (61)	45 (33)	19 (13)	200
Flussbarsch	21	27 (6)	157 (137)	57 (36)	20 (5)	282
Barbe	15	15	66 (48)	16 (1)	14	126
Rotauge	19 (4)	18 (6)	44 (27)	29 (14)	11 (5)	112
Äsche	21 (1)	29 (7)	86 (63)	67 (63)	16 (6)	219
Huchen	17 (2)	26 (6)	103 (84)	21 (10)	3 (1)	170
Alle Arten	138 (11)	172 (34)	597 (459)	236 (157)	96 (30)	1.239

Anzahl und Intensität der inneren Verletzungen

Über alle Fischarten hinweg waren die Anzahl und Intensität der inneren Verletzungen bei Individuen mit Turbinenpassage signifikant höher als bei Individuen ohne Turbinenpassage (Mann-Whitney U-Test: $W = 37153$; $P < 0,001$). Bei Einzelbetrachtung der Fischarten war dieser Unterschied bei den Aalen und Flussbarschen besonders hoch. Die mittlere Verletzungsintensität war bei den Aalen, Flussbarschen, Rotaugen und Huchen bei Individuen mit Turbinenpassage mehr als doppelt, zum Teil sogar 3-mal so hoch wie bei Individuen ohne Turbinenpassage. Nur bei den Barben und Bachforellen wurde kein signifikanter Unterschied in der Verletzungsanzahl und -intensität zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage nachgewiesen, auch wenn eine Tendenz in die gleiche Richtung erkennbar war (Tabelle 13).

Bei keiner Fischart wurde ein signifikanter Unterschied in der Anzahl oder Intensität der inneren Verletzungen zwischen Individuen aus den Versuchsgruppen Grundpassage und Hamen Grundpassage gefunden. Jedoch war sowohl die mittlere Anzahl als auch die mittlere Intensität der inneren Verletzungen insbesondere bei den Huchen und Bachforellen in der Versuchsgruppe Grundpassage tendenziell höher als in der Referenzgruppe Hamen Grundpassage. Die Stichprobengröße war allerdings in der Versuchsgruppe Grundpassage geringer als in der Versuchsgruppe Turbine & Rechen, was ein Grund für die fehlende Signifikanz sein kann.

Tabelle 13 Durchschnittliche (\bar{x}) Verletzungsanzahl und -intensität der sieben auf innere Verletzungen untersuchten Fischarten, jeweils zwischen MT (Versuchsgruppe Turbine & Rechen) und OT (Versuchsgruppe Hamen) sowie zwischen GP (Versuchsgruppe Grundpassage) und HAM GP (Versuchsgruppe Hamen Grundpassage). Signifikante Unterschiede (Mann-Whitney U-Test) in der Verletzungsanzahl und -intensität zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage sind mit * gekennzeichnet: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

	Ø Anzahl Verletzungen		Ø Intensität Verletzungen		Ø Anzahl Verletzungen		Ø Intensität Verletzungen	
	MT	OT	MT	OT	GP	HAM GP	GP	HAM GP
Aal	6,4***	4,0	15,0***	6,8	3,4	3,3	6,1	5,8
Bachforelle	2,0	1,2	5,1	2,3	1,9	1,0	3,2	1,2
Flussbarsch	7,1*	5,5	14,2**	7	5,2	4,8	6,2	5,7
Barbe	1,0	0,5	2,1	0,5	0,8	0,6	0,9	0,6
Rotauge	2,8*	0,5	7,9*	0,8	0,9	0,8	1,2	1,0
Äsche	2,3**	1,4	6,6*	3,4	2,0	1,9	4,0	3,5
Huchen	2,4***	0,9	7,4***	1,9	1,2	0,0	3,0	0,0
Alle Arten	3,8***	2,2	8,9***	3,6	2,6	2,1	3,9	3,0

Multivariater Vergleich der Verletzungsmuster aller Fischarten

In der graphischen Darstellung der inneren Verletzungsmuster mittels MDS erfolgte die stärkste Trennung der Symbole nach den Fischarten, v.a. bei Aal und Flussbarsch. Über alle Fischarten hinweg unterschieden sich außerdem die toten Individuen mit Turbinenpassage stark von allen anderen Individuen (Abbildung 34 im Anhang). Bei allen Fischarten war die kumulative Verletzungsintensität bei Individuen mit Turbinenpassage bzw. bei toten Individuen mit Turbinenpassage höher als in der jeweils zugehörigen Referenzgruppe, wobei sie bei toten Individuen mit Turbinenpassage am höchsten war (Abbildung 27). Für die Fischarten Rotauge, Äsche und Huchen wurde ein statistisch signifikanter Unterschied der inneren Verletzungsmuster zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage nachgewiesen. Zwischen toten und lebenden Individuen mit Turbinenpassage wurde bei allen Fischarten, außer dem Flussbarsch, ein signifikanter Unterschied der inneren Verletzungsmuster festgestellt, wobei vor allem Frakturen der knöchernen Elemente und Veränderungen der Schwimmblase in höherer Intensität bei toten Individuen auftraten. Nach Anheben des Kraftwerks war die mittlere kumulative Verletzungsintensität der meisten Fischarten bei den Individuen mit Grundpassage bzw. bei toten Individuen nach der Grundpassage höher als in der jeweiligen Referenzgruppe (Abbildung 27). Allerdings wurde bei keiner Fischart ein signifikanter Unterschied in den inneren Verletzungsmustern zwischen Individuen mit und ohne Grundpassage nachgewiesen. Auch zwischen lebenden und toten Individuen nach der Grundpassage wurde nur bei der Fischart Äsche ein signifikanter Unterschied der inneren Verletzungsmuster gefunden (Abbildung 27). Bei den Aalen, Flussbarschen und Barben war dieser Vergleich nicht möglich, da es jeweils nur ein bzw. kein totes Individuum nach der Grundpassage gab.

Bei der multivariaten Auswertung der inneren Verletzungen für die Fischart **Aal** wurden, vergleichbar mit den äußeren Verletzungen, keine signifikanten Unterschiede in den inneren Verletzungsmustern zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage gefunden. Dennoch war vor allem die Intensität von Frakturen knöcherner Elemente bei Aalen mit Turbinenpassage deutlich höher (Abbildung 27). Zwischen toten und lebenden Aalen nach der Turbinenpassage wurde ein signifikanter Unterschied in den inneren Verletzungsmustern festgestellt. Zu diesem Unterschied hat insbesondere eine bis zu 6-mal höhere Intensität von Frakturen der Wirbelsäule und der Dornfortsätze bei den toten Individuen beigetragen.

Auch bei der **Bachforelle** wurde, wie bei den äußeren Verletzungen, kein signifikanter Unterschied im inneren Verletzungsmuster zwischen den Versuchsgruppen mit und ohne Turbinenpassage detektiert. Jedoch traten Frakturen und Verformungen der

Rumpfwirbelsäule sowie Veränderungen der Schwimmblase bei Individuen mit Turbinenpassage mit größerer Intensität auf. Zusätzlich unterschieden sich die inneren Verletzungsmuster zwischen den toten und lebenden Bachforellen nach der Turbinenpassage signifikant (Abbildung 27). Insbesondere Frakturen der Hals- und Rumpfwirbelsäule und Veränderungen der Schwimmblase kamen mit höherer Intensität bei den toten Fischen vor.

Bei den **Flussbarschen** konnte weder zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage noch zwischen toten und lebenden Individuen nach der Turbinenpassage ein signifikanter Unterschied der inneren Verletzungsmuster nachgewiesen werden, was aber wahrscheinlich auf den unterschiedlichen Stichprobenumfang zwischen den Versuchsgruppen zurückzuführen ist (Abbildung 27). Die Intensität der meisten Verletzungen (v.a. Frakturen der knöchernen Elemente und Veränderungen der Schwimmblase) war bei den Flussbarschen mit Turbinenpassage bzw. bei den toten Flussbarschen deutlich höher als in der jeweiligen Referenzgruppe (Abbildung 27).

Die Ergebnisse der multivariaten Auswertung der inneren Verletzungsmuster der **Barben** ähneln den Ergebnissen zu den äußeren Verletzungsmustern. Bei den Barben wurde kein signifikanter Unterschied in den inneren Verletzungsmustern zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage nachgewiesen. Dennoch war die Intensität einiger Verletzungen in der Versuchsgruppe mit Turbinenpassage etwas höher (Abbildung 27), wobei Verformungen und Frakturen der Rumpfwirbelsäule bei den Individuen ohne Turbinenpassage gar nicht vorkamen. Zwischen den inneren Verletzungsmustern toter und lebender Barben nach der Turbinenpassage wurde ein signifikanter Unterschied festgestellt. Vor allem die beiden Verletzungen Fraktur der Rumpfwirbelsäule und Veränderung der Schwimmblase kamen bei den toten Individuen mit höherer Intensität vor (Abbildung 27).

Die inneren Verletzungsmuster der **Rotaugen** unterschieden sich sowohl zwischen den Individuen mit und ohne Turbinenpassage, als auch zwischen lebenden und toten Individuen nach der Turbinenpassage signifikant (Abbildung 27). Zu diesem Unterschied haben jeweils ähnliche Verletzungen beigetragen (v.a. Verformungen und Frakturen der Rippen und der Rumpfwirbelsäule sowie Flüssigkeitsansammlungen und Gasblasen in der Leibeshöhle), deren Intensitäten bei den toten Individuen und bei den Individuen mit Turbinenpassage deutlich höher waren.

Bei den **Äschen** wurden signifikante Unterschiede der inneren Verletzungsmuster zwischen Fischen mit und ohne Turbinenpassage bzw. zwischen toten und lebenden Fischen nach der Turbinenpassage festgestellt (Abbildung 27). Dabei kamen insbesondere Verformungen und Frakturen der Rumpfwirbelsäule und Veränderungen der Schwimmblase bei Individuen mit

Turbinenpassage bzw. bei toten Individuen nach der Turbinenpassage mit höherer Intensität vor als in der jeweiligen Referenzgruppe. Bei der Äsche wurde außerdem ein signifikanter Unterschied der inneren Verletzungsmuster zwischen den lebenden und toten Individuen nach der Grundpassage festgestellt, wobei insbesondere Gasblasen im Kopf und der Leibeshöhle sowie Veränderungen der Schwimmblase mit höherer Intensität bei den verstorbenen Äschen vorkamen.

Die inneren Verletzungsmuster beim **Huchen** unterschieden sich signifikant zwischen Individuen mit und ohne Turbinenpassage sowie zwischen lebenden und toten Individuen nach der Turbinenpassage (Abbildung 27). Dabei kamen vor allem Frakturen und Verformungen der Hals- und Rumpfwirbelsäule sowie Gasblasen in der Leibeshöhle und Veränderungen der Schwimmblase bei Individuen mit Turbinenpassage bzw. bei toten Individuen nach der Turbinenpassage mit deutlich höherer Intensität vor als in der jeweiligen Referenzgruppe. Die inneren Verletzungsmuster der Versuchsgruppen Grundpassage und Hamen Grundpassage unterschieden sich zwar nicht signifikant voneinander, jedoch unterschied sich die kumulative Verletzungsintensität bei den Huchen mit Grundpassage deutlicher von der Referenzgruppe Hamen Grundpassage als bei allen anderen Arten. Insbesondere die Intensität von Gasblasen und Flüssigkeitsansammlungen in der Leibeshöhle, Veränderungen der Schwimmblase und Verformungen der Rumpfwirbelsäule war bei Individuen mit Grundpassage höher als bei Individuen ohne Grundpassage.

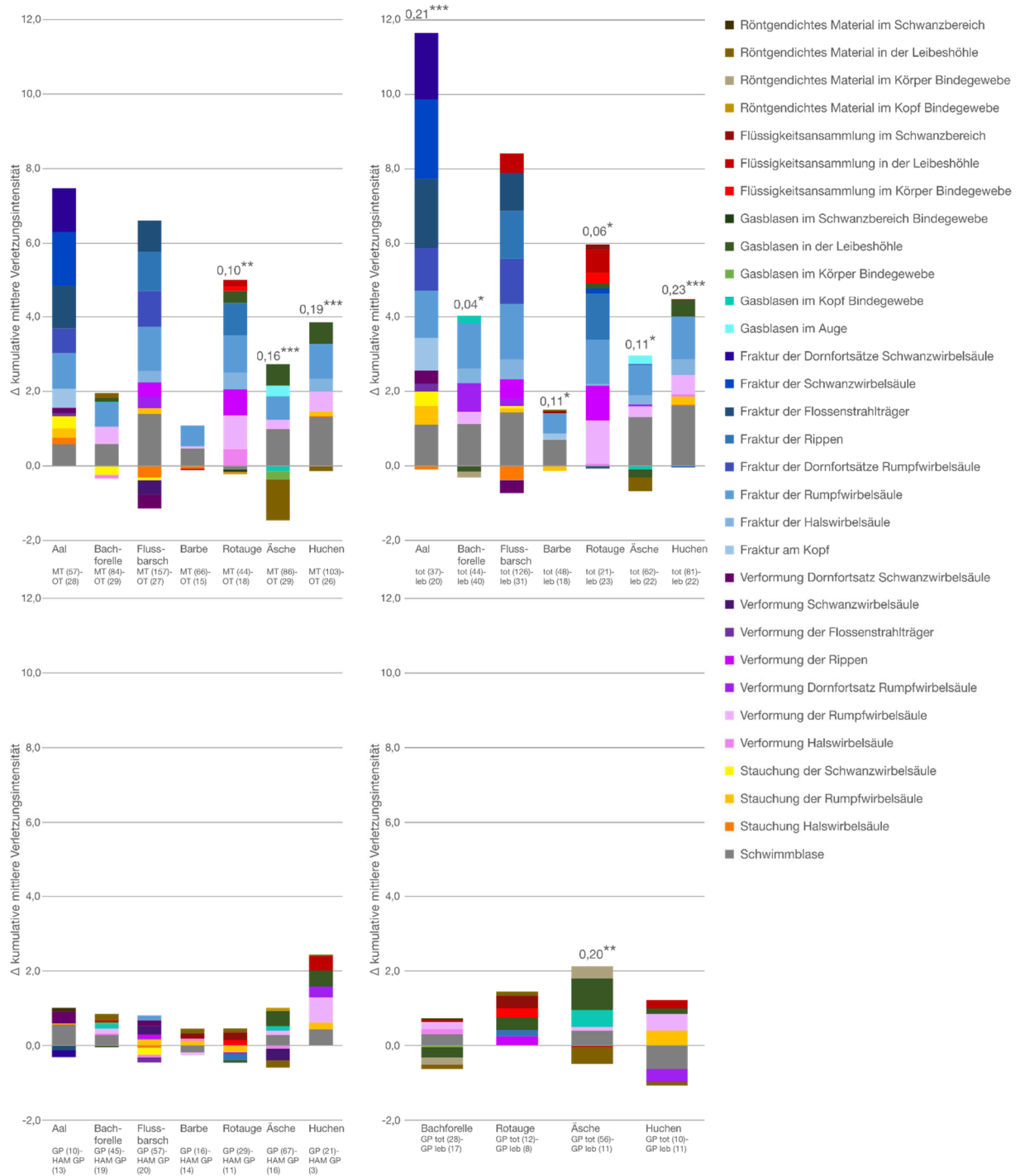


Abbildung 27 Aufsummierte Differenz ($\Sigma \Delta$) der mittleren Intensitäten der inneren Verletzungen für die häufigsten Verletzungskategorien (Beitrag zur Unähnlichkeit $\geq 3\%$) aus der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit zwischen den verschiedenen Versuchsgruppen mit (MT) und ohne Turbinenpassage (OT) bzw. mit Grundpassage (GP) und Hamen Grundpassage (HAM GP) sowie tot und lebend direkt nach der Turbinen bzw. Grundpassage für die Fischarten Aal, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche und Huchen am Standort Eixendorf. Positive Werte zeigen eine höhere mittlere Verletzungsintensität der jeweiligen Verletzungskategorie des Minuenden an, negative Werte eine höhere mittlere Verletzungsintensität des Subtrahenden. tot = Vitalität 5, leb = Vitalität 0. Unterscheiden sich die Verletzungsmuster der paarweisen Vergleiche der Versuchsgruppen nach ANOSIM signifikant voneinander, ist der R-Wert und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

2.1.2.7. Zusammenhänge zwischen Totallänge und Fischverletzungen

Für die Fischarten Aal (Lineares Modell: Standardfehler = 0,04, korrigiertes $R^2 = 0,05$, $P < 0,001$), Nase (Standardfehler = 0,08, korrigiertes $R^2 = 0,04$, $P < 0,001$) und Barbe (Standardfehler = 0,04, korrigiertes $R^2 = 0,02$, $P < 0,01$) wurde ein signifikant positiver Zusammenhang zwischen der Totallänge und der Verletzungsintensität von Amputationen und Quetschungen an Kopf und Körper beobachtet (je größer der Fisch desto höher die Verletzungsintensität). Diese Tendenz war auch bei Bachforelle, Flussbarsch, Rotauge, Äsche sowie Huchen zu erkennen, es gab jedoch keinen statistisch signifikanten Zusammenhang (Abbildung 28). Bei den Fischarten Nase (Generalisiertes lineares Modell: Standardfehler = 0,05, AIC = 379,6, $P < 0,001$), Barbe (Standardfehler = 0,03, AIC = 519,5, $P < 0,05$) und Äsche (Standardfehler = 0,02, AIC = 425,8, $P < 0,01$) wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Mortalität und der Fischlänge festgestellt, d.h. je größer die Individuen dieser Arten waren, desto höher war die Wahrscheinlichkeit die Turbinenpassage nicht zu überleben. Der gleiche Trend wurde auch für Aal, Bachforelle, Flussbarsch und Huchen beobachtet, jedoch war dieser Zusammenhang statistisch nicht signifikant.

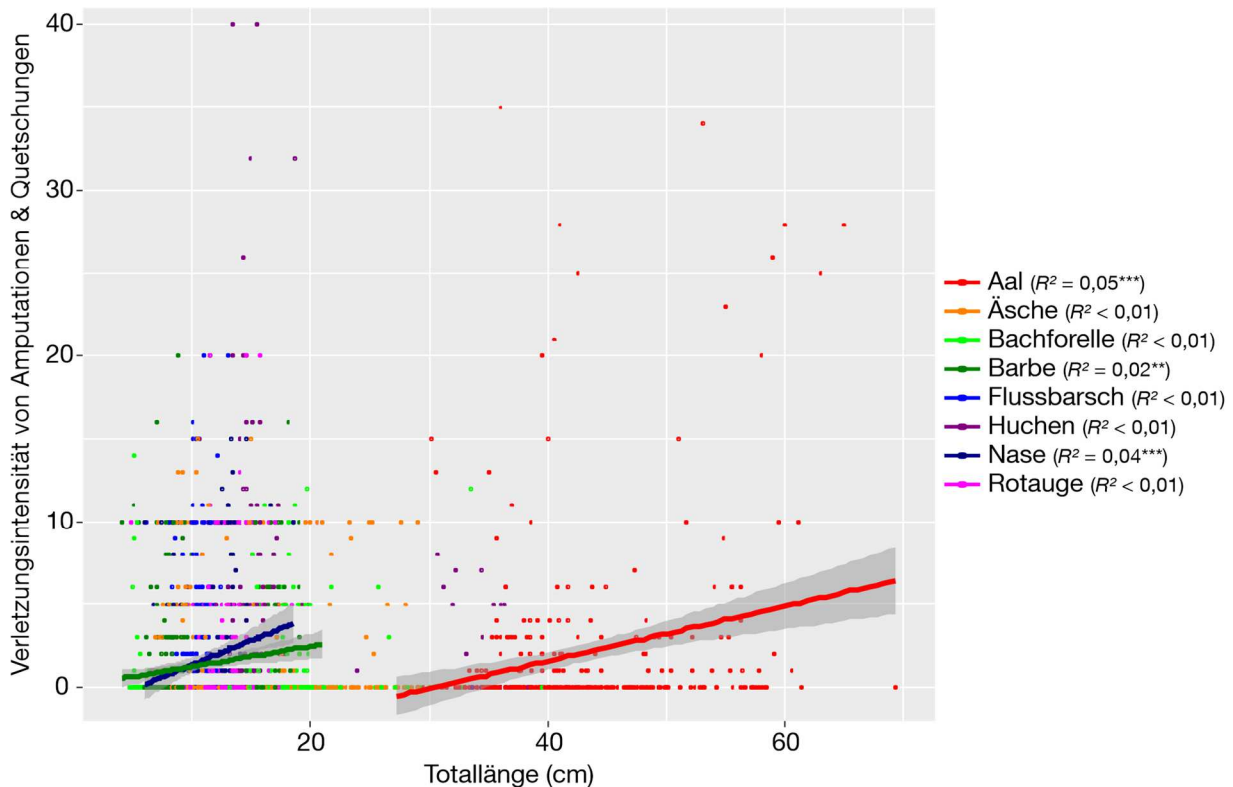


Abbildung 28 Lineare Regression der kumulativen Verletzungsintensität von Amputationen und Quetschungen am Körper nach der Turbinenpassage in Abhängigkeit von der Totallänge der acht untersuchten Fischarten am Standort Eixendorf. Hellgraue Bereiche an der Regressionsgeraden symbolisieren das 95% Konfidenzintervall. In Klammern ist das adjustierte Bestimmtheitsmaß (R^2) und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

2.2. Projektteil B

2.2.1. Charakterisierung der abiotischen Habitateigenschaften

Flächendeckende Substratkartierung mittels Side-Sonar

Die Side Sonar Kartierung der Sohlsubstrattypen am Standort Eixendorf ergab, dass der vorherrschende Substrattyp im Untersuchungsgebiet, entsprechend dem Stausee-Charakter, das Psammal ist (Tabelle 14). Im Oberwasser bedeckt dieser Substrattyp ca. 95% der kartierten Fläche. Die geringen Flächenanteile der gröbereren Substrattypen Meso-, Makro- und Megalithal wurden im Oberwasser überwiegend in den Uferbereichen nachgewiesen. Im Oberwasser wurden nahezu keine Veränderungen in den Flächenanteilen der Substrattypen zwischen der Kartierung vor dem Kraftwerksbau und der Kartierung nach dem Kraftwerksbau nachgewiesen (Abbildung 29, Abbildung 30). Im Unterwasser hingegen haben sich nach dem Kraftwerksbau insbesondere in den ersten 150 m unterhalb der Wehranlage aufgrund der Bautätigkeit die Flächenanteile der Substrattypen leicht verändert. Der Flächenanteil von 1% Akal ist auf die künstliche Anlage eines Laichplatzes für Fische in der Nähe des Turbinenauslaufes zurückzuführen (Abbildung 4). Neben den Erdbauarbeiten im Unterwasser könnte auch das Ablassen der Vorsperre im Oberwasser zu einem etwas höheren Flächenanteil des Psammals nach dem Kraftwerksbau und zu einer Überdeckung gröberer Substrattypen im Unterwasser geführt haben. Bis auf das künstliche Einbringen des Substrattyps Akal, wurden für das gesamte Untersuchungsgebiet keine ausgeprägten Veränderungen in den Flächenanteilen der vorherrschenden Substrattypen durch den Kraftwerksbau festgestellt.

Tabelle 14 Prozentuale Flächenanteile der verschiedenen, mittels Side Sonar Kartierung ermittelten Sohlsubstrattypen am Untersuchungsstandort Eixendorf an der Schwarzach.

	Megalithal (> 40 cm)	Makrolithal (20–40 cm)	Mesolithal (6,0–20 cm)	Mikrolithal (2,0–6,0 cm)	Akal (0,2–2,0 cm)	Psammal (0,063–2,0 mm)
Oberwasser vorher	0,7	2,8	0,9	0,0	0,0	95,5
Oberwasser nachher	0,7	3,3	1,4	0,0	0,0	94,7
Unterwasser vorher	0,7	6,4	1,7	4,7	0,0	86,5
Unterwasser nachher	0,3	5,6	1,2	3,0	1,0	88,9
Gesamtgebiet vorher	0,7	4,6	1,3	2,3	0,0	91,0
Gesamtgebiet nachher	0,5	4,6	1,3	1,6	0,5	91,5

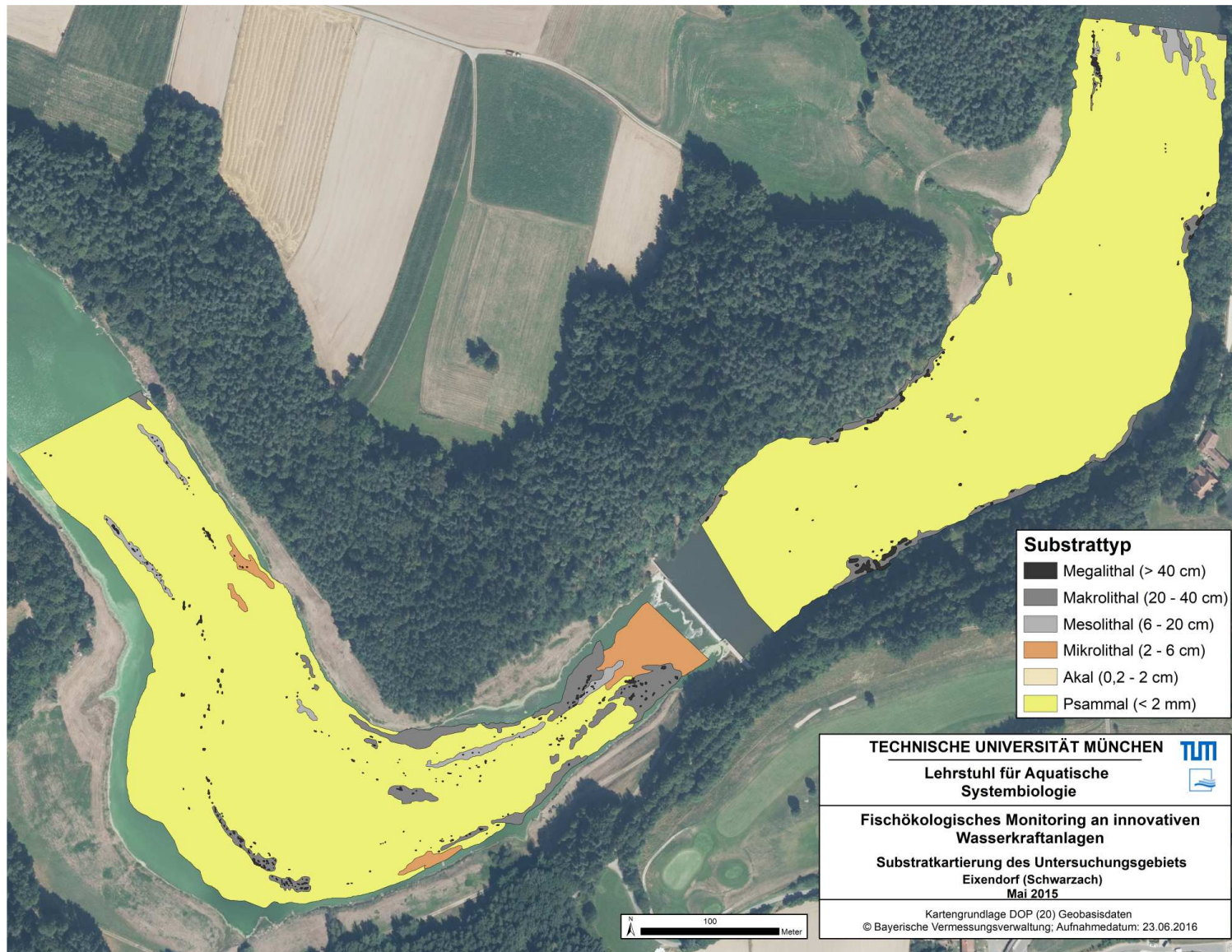


Abbildung 29 Substratkartierung des Untersuchungsgebiets am Standort Eixendorf an der Schwarzach vor dem Kraftwerksbau.

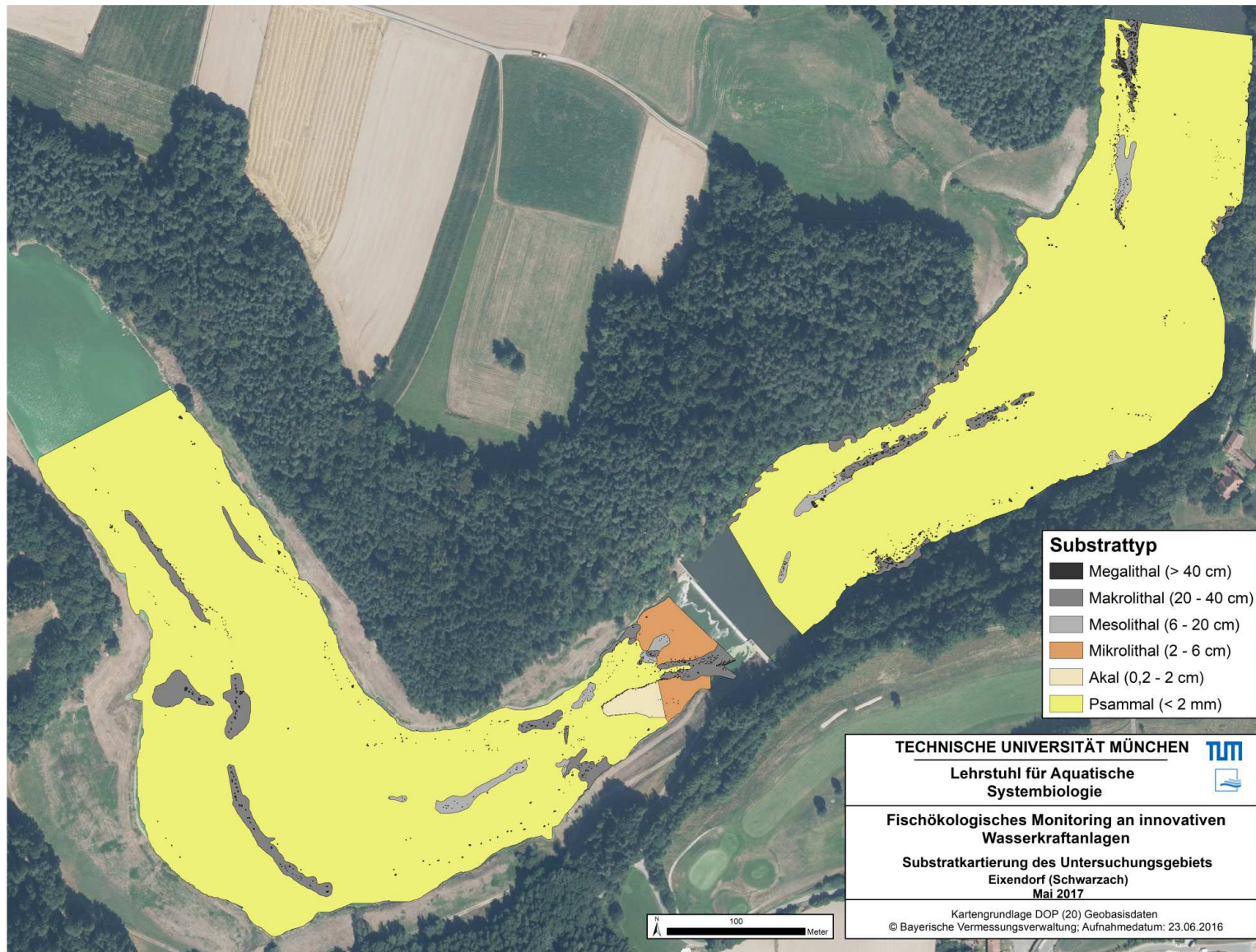


Abbildung 30 Substratkartierung des Untersuchungsgebiets am Standort Eixendorf an der Schwarzach nach dem Kraftwerksbau.

Physikalisch-chemische Messungen

Die Substratzusammensetzung unterschied sich zwischen den Beprobungen vor und nach dem Kraftwerksbau. Vor dem Kraftwerksbau (2015) betrug der Anteil der Fraktion $< 0,85$ mm durchschnittlich 75% und hat sich nach dem Kraftwerksbau (2017) auf durchschnittlich 58% verringert, während der Anteil der größten Fraktion (> 20 mm) größer war (10% in 2015 versus 26% in 2017). Dementsprechend war auch der mediane Korndurchmesser nach dem Kraftwerksbau größer (Tabelle 15).

Vor dem Kraftwerksbau gab es deutliche Unterschiede in der Substratzusammensetzung und der Sauerstoffkonzentration im Interstitial zwischen Ober- und Unterwasser: Im Oberwasser war der Anteil an Partikeln $< 0,85$ mm gegenüber dem Unterwasser erhöht und die Sauerstoffkonzentration im Interstitial war niedriger als im Unterwasser (Tabelle 15). Nach dem Kraftwerksbau waren die Unterschiede zwischen Ober- und Unterwasser weniger deutlich ausgeprägt (Tabelle 15), was aber auch eine Auswirkung der Störung durch die Bauphase sein könnte. Ungeachtet der relativen Unterschiede zwischen Ober- und Unterwasser wurde in allen Transekten eine hohe Differenz zwischen den physikalisch-chemischen Parametern im Freiwasser und im Interstitial festgestellt. Dies deutet auf eine erhebliche Beeinträchtigung des Interstitials durch Kolmation (Verstopfung der Poren durch Feinsediment) hin. Infolge des hohen Feinsedimentanteils kann ein Austausch zwischen sauerstoffreichem Oberflächenwasser und dem Interstitialwasser kaum stattfinden, was vermutlich auf die fehlende Dynamik im Stausee zurückzuführen ist.

Generell waren die Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Eixendorfer Vorsperre mit 0,02 bis 0,05 m/s sehr gering. Durch den Bau des beweglichen Kraftwerks haben sich die Strömungsverhältnisse im Unterwasser vor allem auf der orografisch linken Seite unterhalb des Turbinenauslaufes (SADDL1; Abbildung 14) verändert. Dort stieg die Strömung von 0,05 auf 0,55 m/s an, während sie sich in den Transekten der ersten Spur im Unterwasser (SADML1–SADR1; Abbildung 14) nicht veränderte.

Tabelle 15 Mittelwerte \pm Standardabweichung der physikalisch-chemischen und hydromorphologischen Habitatparameter im Ober- (O) und Unterwasser (U) der Vorsperre Eixendorf vor (2015) und nach (2017) dem Bau des beweglichen Kraftwerks. Das Δ bezieht sich auf die Differenz zwischen dem entsprechenden Wert im Freiwasser und im Interstitial. Hohe Werte zeigen eine geringe Austauschrate, negative Werte zeigen einen höheren Wert im Interstitial; d_g : medianer Korndurchmesser; unterschiedliche Kleinbuchstaben an den Mittelwerten symbolisieren signifikante Unterschiede.

	O 2015 (n = 40)	U 2015 (n = 40)	O 2017 (n = 40)	U 2017 (n = 40)
Sauerstoff Freiwasser [mg/l]	9,7 \pm 1,0	10,9 \pm 2,8	11,5 \pm 1,5	11,6 \pm 2,0
Sauerstoff Interstitial [mg/l]	0,1 \pm 0,1	1,5 \pm 2,1	0,8 \pm 1,1	1,5 \pm 2,1
Temperatur Freiwasser [°C]	20,0 \pm 3,9	23,0 \pm 4,8	16,8 \pm 6,4	16,1 \pm 5,7
Temperatur Interstitial [°C]	19,7 \pm 4,1	22,8 \pm 5,0	16,4 \pm 5,2	16,0 \pm 5,3
Leitfähigkeit Freiwasser [μ S/cm]	189 \pm 2	186 \pm 4	155 \pm 40	153 \pm 42
Leitfähigkeit Interstitial [μ S/cm]	393 \pm 173	321 \pm 237	276 \pm 166	280 \pm 147
pH Freiwasser	7,7 \pm 0,7	8,4 \pm 1,2	8,6 \pm 0,6	8,6 \pm 0,8
pH Interstitial	6,6 \pm 0,2	6,7 \pm 0,3	7,2 \pm 0,8	6,9 \pm 0,8
Redoxpotential Freiwasser [mV]	431,6 \pm 17,2	412,5 \pm 54,6	440,8 \pm 43,0	481,1 \pm 252,9
Redoxpotential Interstitial [mV]	228,2 \pm 43,9	241,5 \pm 68,7	230,4 \pm 55,5	246,1 \pm 77,1
Strömung Wasseroberfläche [m/s]	0,03 \pm 0,02	0,04 \pm 0,03	0,02 \pm 0,04	0,05 \pm 0,13
Strömung 10 cm über Grund [m/s]	0,02 \pm 0,02	0,04 \pm 0,12	0,01 \pm 0,03	0,04 \pm 0,12
Wassertiefe [cm]	213,6 \pm 123,5	115,7 \pm 72,2	87,2 \pm 112,0	53,7 \pm 64,8
Δ Sauerstoff [mg/l]	9,6 \pm 1,0	9,3 \pm 4,1	10,7 \pm 2,1	10,1 \pm 3,3
Δ Temperatur [°C]	0,3 \pm 1,5	0,2 \pm 2,1	0,5 \pm 1,6	0,1 \pm 0,8
Δ Leitfähigkeit [μ S/cm]	-203 \pm 172	-134 \pm 237	-121 \pm 160	-127 \pm 151
Δ pH	1,1 \pm 0,2	1,7 \pm 1,3	1,5 \pm 0,9	1,8 \pm 1,3
Δ Redoxpotential [mV]	203,4 \pm 39,6	171,2 \pm 80,9	210,4 \pm 69,0	238,0 \pm 259,8
Anteil > 20 mm [%]	6,5 \pm 18,5	12,6 \pm 22,2	21,1 \pm 33,7	30,3 \pm 28,7
Anteil 6,3–20 mm [%]	1,9 \pm 4,1	6,3 \pm 7,5	3,9 \pm 6,9	6,3 \pm 6,1
Anteil 2,0–6,3 mm [%]	2,9 \pm 5,5	8,5 \pm 9,5	4,9 \pm 6,4	7,2 \pm 5,5
Anteil 0,85–2,0 mm [%]	3,5 \pm 5,2	7,4 \pm 7,2	4,4 \pm 5,7	6,7 \pm 5,7
Anteil < 0,85 mm [%]	85,3 \pm 18,5	65,1 \pm 32,0	65,8 \pm 37,2	49,8 \pm 31,2
d_g [mm]	1,3 \pm 5,3	2,1 \pm 4,6	5,4 \pm 11,4	4,5 \pm 7,8

2.2.2. Charakterisierung der aquatischen Lebensgemeinschaft

Fische

Am Standort Eixendorf wurden in den Befischungen vor und nach dem Kraftwerksbau insgesamt 38.325 Individuen aus 26 Fischarten mit einer Gesamtbiomasse von 506,2 kg gefangen. Die häufigsten Arten waren Bitterling, Flussbarsch und Aitel, die gemeinsam einen Anteil von ca. 62% am Gesamtfang ausmachten (Tabelle 16). Zusammen mit den ebenfalls häufigen Arten Rotauge, Blaubandbärbling, Laube, Brachse und Gründling stellten diese Arten über 95% des Gesamtfangs. Rheophile Arten hatten nur einen Anteil von 4% am Gesamtfang, wobei der Gründling mit 3,5% Anteil am Gesamtfang die häufigste rheophile Art war. Als einziger Neozoe wurde der Blaubandbärbling mit einem Anteil von 8,3% am Gesamtfang nachgewiesen. Die Leitarten der Referenzzönose (Aitel, Gründling, Hasel, Nase, Barbe, Bachschmerle; Tabelle 18 im Anhang) konnten zwar, bis auf die Bachschmerle, in den untersuchten Gewässerabschnitten nachgewiesen werden, jedoch waren sie im Vergleich zur Referenzzönose deutlich unterrepräsentiert. Die drei rheophilen Leitarten Hasel, Nase und Barbe wurden nur in geringer Anzahl (Tabelle 16; 0,02–0,15% Anteil am Gesamtfang) nachgewiesen. Bei den Bachforellen und Äschen, die im Frühjahr 2017 gefangen wurden, handelt es sich mit großer Wahrscheinlichkeit um Versuchsfische aus Projektteil A, die bei den standardisierten Fischzugaben im Frühjahr 2017 eingesetzt wurden. Im Herbst 2017 hingegen wurden keine Bachforellen und Äschen mehr detektiert.

Tabelle 16 Gesamtindividuenzahl aller am Standort Eixendorf im Ober- (OW) und Unterwasser (UW) mittels Elektrofischerei und Kiemennetzfischerei gefangenen Arten vor dem Kraftwerksbau (2015) und nach dem Kraftwerksbau (2017), aufgetragen nach absteigender Gesamthäufigkeit; n = Anzahl der befischten Transekte. Blaue Schrift kennzeichnet rheophile Arten nach Zauner & Eberstaller (1999), rote Schrift kennzeichnet gebietsfremde Arten.

Deutscher Arname	Gesamt (n = 160)	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
		OW (n = 40)	UW (n = 40)	OW (n = 40)	UW (n = 40)
Bitterling	12.502	12.348	2	152	
Flussbarsch	6.461	210	4.321	6	1.924
Aitel	5.286	1.204	115	3.884	83
Rotaugen	4.063	2.433	299	1.187	144
Blaubandbärbling	3.171	209		2.951	11
Laube	2.064	572	1.066	109	317
Brachse	1.819	1.699	31	6	83
Gründling	1.336	536	2	796	2
Güster	425	224	74	48	79
Rotfeder	319	303	3	3	10
Kaulbarsch	255	2	218		35
Hecht	160	39	23	78	20
Zander	131	2	67		62
Aland	65	45	15		5
Hasel	57	16	13	15	13
Schneider	57		46	1	10
Schleie	43	26		15	2
Rapfen	34	21	13		
Äsche	14			13	1
Nase	13		1	1	11
Karpfen	12	5		2	5
Rutte	11			6	5
Wels	11	1	9		1
Moderlieschen	7			7	
Barbe	6				6
Bachforelle	3				3
Gesamt	38.325	19.895	6.318	9.280	2.832

Zur Analyse der Populationsstrukturen häufiger und relevanter Fischarten am Standort Eixendorf wurden Längen-Häufigkeitsdiagramme der am häufigsten nachgewiesenen Arten Flussbarsch, Aitel, Rotaugen, Bitterling, Blaubandbärbling und Gründling, der rheophilen Arten Schneider, Hasel und Rutte sowie der großen Räuber Hecht, Zander und Rapfen erstellt, um festzustellen, ob alle für die Population relevanten Altersklassen vorkommen bzw. welche Altersklassen fehlen (Abbildung 31). Daraus können Rückschlüsse auf den Reproduktionserfolg und die Habitatnutzung der unterschiedlichen Lebensstadien gezogen werden.

Bei der häufigsten Fischart **Bitterling** wurde ein vollständiger Populationsaufbau beobachtet (Abbildung 31), der auf eine erfolgreiche Reproduktion im Untersuchungsgebiet hinweist. Insbesondere im Oberwasser der Vorsperre Eixendorf scheinen für diese stagnophile Art gute Habitat- und Reproduktionsbedingungen zu herrschen, da dort deutlich mehr Bitterlinge gefangen wurden als im Unterwasser.

Auch für die häufigen Fischarten **Flussbarsch**, **Aitel** und **Rotauge** wurde ein überwiegend vollständiger Populationsaufbau beobachtet. Die meisten Individuen dieser Arten wurden in den Größenklassen zwischen 2 cm und 10 cm nachgewiesen (Abbildung 31). Individuen größer 25 cm wurden bei diesen Arten vergleichsweise selten gefangen. Junge Altersstadien von Aitel und Rotauge scheinen im Oberwasser bessere Habitatbedingungen vorzufinden als im Unterwasser, da dort deutlich mehr Individuen dieser beiden Arten gefangen wurden als im Unterwasser. Im Gegensatz dazu kam der Flussbarsch im Unterwasser häufiger vor als im Oberwasser.

Sehr häufig wurde auch der invasive **Blaubandbärbling** in allen Größenklassen bis 10 cm nachgewiesen. Insbesondere in den Uferbereichen im Oberwasser der Kraftwerksanlage Eixendorf war diese Art sehr häufig.

Bei den rheophilen Fischarten **Schneider** und **Hasel** wurde ein vollständiger Populationsaufbau beobachtet, jedoch war die Individuenzahl im Vergleich zu den anderen Fischarten sehr gering. Am häufigsten war die Größenklasse zwischen 5 cm und 10 cm mit einem Anteil von 51% (Schneider) bzw. 53% (Hasel) an der Gesamtindividuenzahl vertreten (Abbildung 31). Der **Gründling** als häufigste rheophile Fischart im Untersuchungsgebiet wurde überwiegend in der Größenklasse zwischen 2 cm und 5 cm nachgewiesen. Von der rheophilen **Rutte** wurden juvenile, subadulte und adulte Individuen detektiert, jedoch in sehr geringen Individuenzahlen (Abbildung 31).

Von den großen Raubfischarten **Hecht**, **Zander** und **Rapfen** wurde der Hecht am häufigsten und in allen Größenklassen bis maximal 103 cm nachgewiesen. Auch beim Zander wurden vor allem im Unterwasser der Kraftwerksanlage sowohl juvenile als auch adulte Individuen nachgewiesen. Mit einem Anteil von 70% an der Gesamtindividuenzahl waren die Größenklassen zwischen 30 cm und 60 cm am häufigsten vertreten. Vom rheophilen Rapfen wurden juvenile Individuen in der Größenklasse zwischen 5 cm und 10 cm nur im Oberwasser gefangen. Im Gegensatz dazu wurden adulte Individuen ausschließlich im Unterwasser in den Größenklassen zwischen 50 cm und 80 cm detektiert. Andere Größenklassen wurden weder im Ober- noch im Unterwasser nachgewiesen (Abbildung 31).

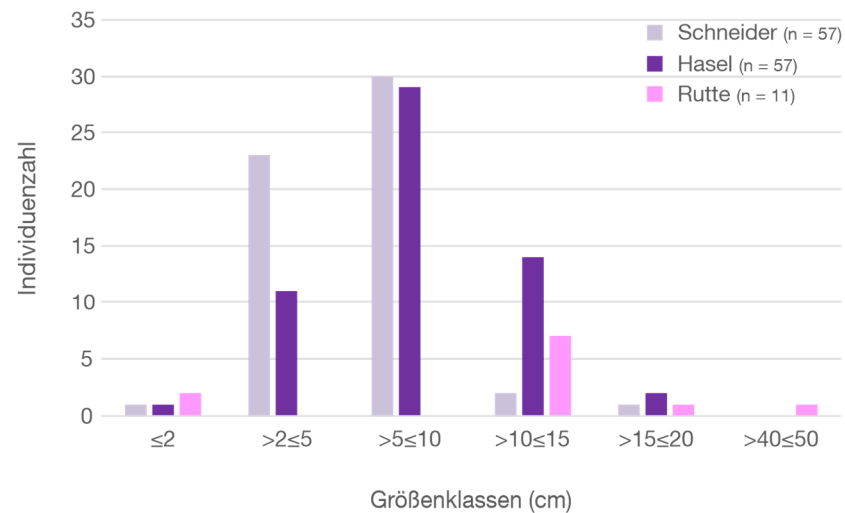
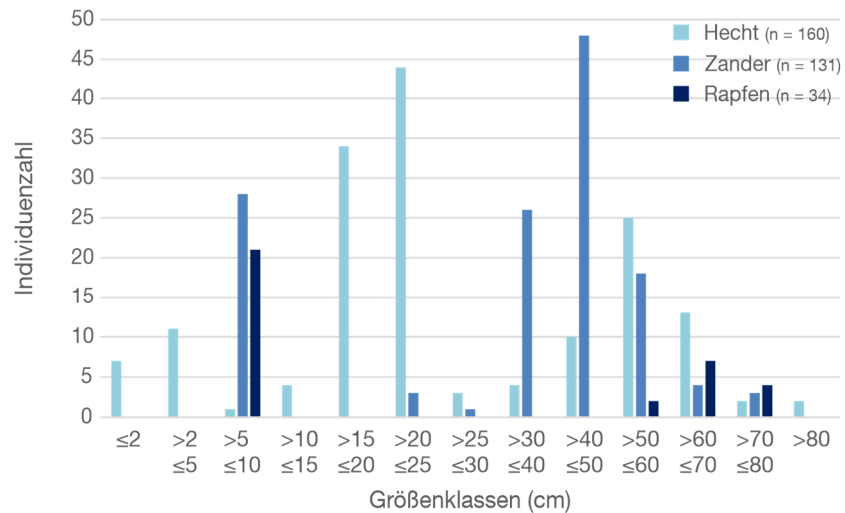
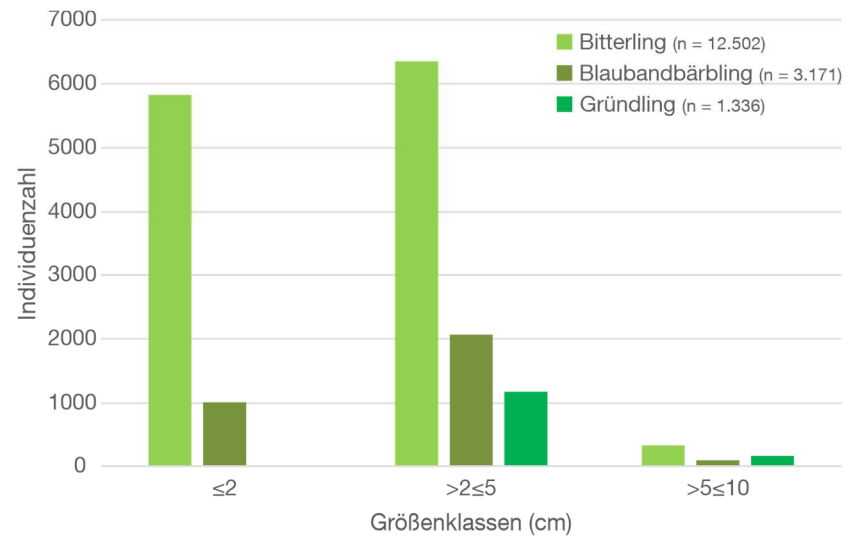
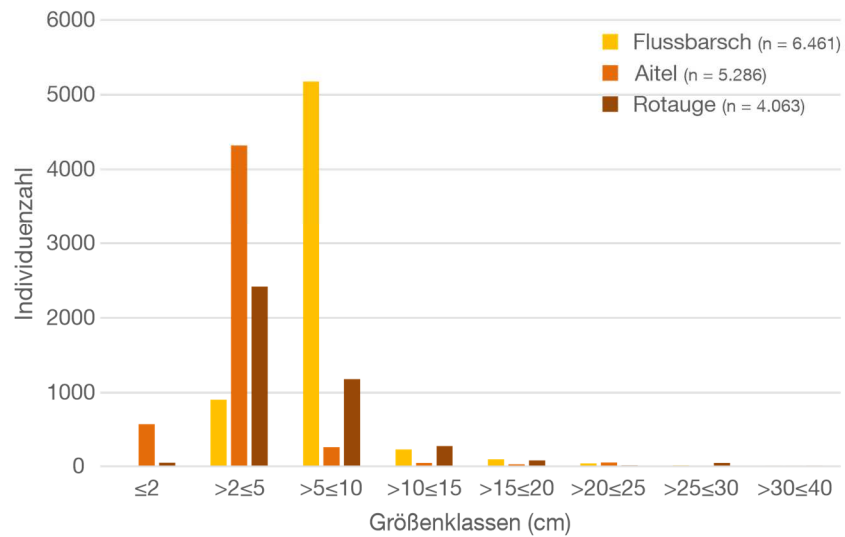


Abbildung 31 Artspezifische Längen-Häufigkeitsverteilungen für die häufigsten Fischarten (Flussbarsch, Aitel, Rotaugen, Bitterling, Blaubandbärbling, Gründling), für große Räuber (Hecht, Zander, Rapfen) sowie für die drei rheophilen Arten Schneider, Hasel und Rutte am Standort Eixendorf. Die Länge der farbigen Säulen repräsentiert die Anzahl an Individuen der entsprechenden Größenklasse; man beachte die jeweilige Skala. Die Einteilung der Größenklassen erfolgte gemäß Wasserrahmenrichtlinie.

Makrozoobenthos

Insgesamt wurden am Standort Eixendorf 154 Makrozoobenthos-Taxa nachgewiesen (Tabelle 21 im Anhang). Die mit Abstand häufigsten Taxa in den untersuchten Transekten waren Individuen des Tribus Chironomini (Diptera/Zweiflügler) mit 22% Anteil an der Gesamtindividuenzahl gefolgt von nicht näher bestimmten Wenigborstern (Oligochaeta: 21%) und Zuckmückenlarven der Familien der OPDB Gruppe (= Orthoclaadiinae, Podonominae, Diamesinae, Buchonomyiinae; 7%).

Der Anteil an EPT-Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera) an der Gesamtindividuenzahl war mit 11% im Vergleich zu naturnahen Gewässern desselben Gewässertyps (Typ 9: Silikatische, fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse, EPT-Anteil bis zu 70%; Meier et al. 2006) sehr niedrig.

Im Untersuchungsgebiet wurden elf Arten verschiedener Gefährdungstufen der „Roten Liste“ Bayerns (2003 & 2017) und ein Neozoe (Spitze Blasenschnecke (*Physella acuta*)) nachgewiesen, alle jedoch in sehr geringen Individuenzahlen (Tabelle 21 im Anhang).

Periphyton

Durchschnittlich wurden am Standort Eixendorf 648 Zellen/mm² aus 150 verschiedenen Periphyton-Taxa (Tabelle 22 im Anhang) und 10 verschiedenen Stämmen nachgewiesen. Bei den Grünalgen (Chlorophyta) war die Taxazahl mit 72 Taxa (48% Anteil an der Gesamttaxazahl) und durchschnittlich 57 Zellen/mm² am höchsten, gefolgt von Kieselalgen (Bacillariophyta) mit 38 Taxa (25%) und 87 Zellen/mm². Die höchste Zelldichte mit durchschnittlich 496 Zellen/mm² und 24 Taxa (16%) wiesen die Blaualgen (Cyanobacteria) auf. Ebenso vertreten waren die Stämme Charophyta (5 Taxa), Euglenophyta (3 Taxa), Ochrophyta (2 Taxa), Rhodophyta (2 Taxa), Streptophyta (2 Taxa), Heterokontophyta (1 Taxon) und Fungi (1 Taxon).

Makrophyten

Makrophyten waren mit insgesamt sieben Taxa in den untersuchten Transekten der Eixendorfer Vorsperre vertreten, wobei sechs Taxa im Unterwasser und nur ein Taxon im Oberwasser nachgewiesen wurden. Dabei handelte es sich um die Schmalblättrige Wasserpest (*Elodea nuttallii*), die Gattung der Wassersterne (*Callitriche* sp.), die Gattung des Hahnenfusses (*Ranunculus* sp.), die Gattung der Igelkolben (*Sparganium* sp.), die Gelbe Teichrose (*Nuphar lutea*) sowie die Gattung des Pfeilkrauts (*Sagittaria* sp.) mit der Art

Gewöhnliches Pfeilkraut (*Sagittaria sagittifolia*). Die Schmalblättrige Wasserpest wurde mit Deckungsanteilen von 0,5% bis 90% am häufigsten kartiert (17 Transekte). Die Gattung des Hahnenfusses wurde in vier Transekten, die Gattung der Wassersterne in zwei Transekten kartiert, die übrigen Arten waren Einzelfunde.

2.2.3. Veränderungen nach dem Kraftwerksbau und serielle Diskontinuität am Standort Eixendorf

Die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Periphyton) unterschied sich signifikant zwischen vor und nach dem Kraftwerksbau (Abbildung 32, Abbildung 33). Dieser Unterschied war insbesondere durch höhere normalisierte Individuenzahlen der Fischarten Bitterling und Flussbarsch und der Makrophytenart Schmalblättrige Wasserpest vor dem Kraftwerksbau bedingt (Abbildung 32). Nach dem Kraftwerksbau und der damit einhergehenden Absenkung der Vorsperre hingegen waren vor allem Wenigborster, Zweiflügler des Tribus Chironomini, Blaualgen der Gattungen *Microcystis* und *Spirulina* sowie die fädige Blaualge *Lyngbya limnetica* häufiger vertreten als vor dem Bau (Abbildung 32). Die mittlere Taxazahl und die mittlere normalisierte Individuenzahl blieben nach dem Kraftwerksbau nahezu unverändert. Lediglich die Evenness und der Shannon-Index waren nach dem Kraftwerksbau etwas höher als vor dem Kraftwerksbau (Tabelle 17).

Sowohl vor dem Kraftwerksbau als auch nach dem Kraftwerksbau gab es einen signifikanten Unterschied in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos und Periphyton) zwischen Ober- und Unterwasser (Abbildung 32). Im Oberwasser wurden vor dem Kraftwerksbau insbesondere mehr Bitterlinge, Wenigborster, Blaualgen der Gattung *Spirulina* und der Art *Homoeothrix janthina* sowie eine höhere Deckung der Schmalblättrigen Wasserpest nachgewiesen als im Unterwasser (Abbildung 32). Dagegen kamen im Unterwasser vor dem Kraftwerksbau mehr Flussbarsche, Lauben und Zuckmückenlarven vor als im Oberwasser (Abbildung 32). Nach dem Kraftwerksbau wurden im Oberwasser mehr Aitel, Blaualgen der Arten *Lyngbya limnetica* und *Homoeothrix janthina* und der Gattung *Spirulina* sowie ein höherer Deckungsgrad der Schmalblättrigen Wasserpest detektiert als im Unterwasser (Abbildung 32). Im Unterwasser waren nach dem Kraftwerksbau vor allem Flussbarsche, Blaubandbärblinge und Blaualgen der Gattung *Microcystis* häufiger vertreten als im Oberwasser. Die Unterschiede in der normalisierten Individuen- und Taxazahl deuten zusammen mit der geringen, mittleren Bray-Curtis Ähnlichkeit zwischen Ober- und Unterwasser (11% vor dem Kraftwerksbau, 10% nach dem Kraftwerksbau) auf eine

ausgeprägte Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums durch die Vorsperre hin, die sich durch den Kraftwerksbau nur geringfügig verändert hat.

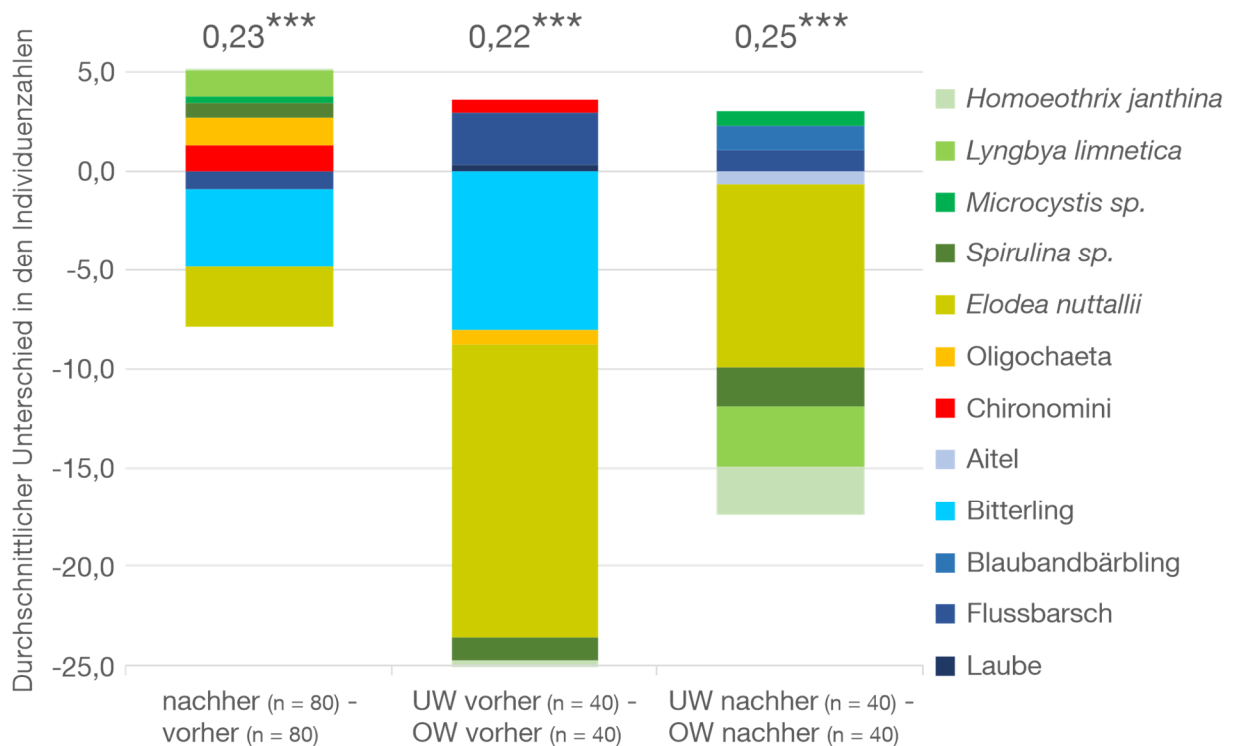


Abbildung 32 Ergebnisse der SIMPER Analyse zur Unähnlichkeit in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen vor (vorher, 2015) und nach (nachher, 2017) dem Kraftwerksbau für das gesamte Untersuchungsgebiet sowie zwischen Unterwasser (UW) und Oberwasser (OW) jeweils vor bzw. nach dem Kraftwerksbau. Gezeigt wird die aufaddierte absolute Differenz der mittleren normalisierten Individuenzahlen der Taxa, die am stärksten zur Unähnlichkeit zwischen den Gruppen beitragen (Beitrag zur Unähnlichkeit $\geq 3\%$). Die Größe der Säulen-Abschnitte symbolisiert die Stärke des Unterschieds in der mittleren normalisierten Individuenzahl pro Transekt zwischen den betrachteten Gewässerabschnitten. Positive Werte zeigen eine höhere Individuenzahl dieses Taxons im jeweils zuerst genannten Gewässerbereich, negative Werte zeigen eine höhere Individuenzahl im jeweils zuletzt genannten Gewässerbereich. Unterscheiden sich die Artenzusammensetzungen der paarweisen Vergleiche der Gewässerbereiche nach ANOSIM signifikant voneinander, ist der R-Wert und das Signifikanzniveau angegeben: * = $P < 0,05$, ** = $P < 0,01$, *** = $P < 0,001$.

Tabelle 17 Mittelwerte \pm Standardabweichung der Anzahl der Taxa, die normalisierte Individuenzahl (beinhaltet Fische, Makrozoobenthos und Periphyton, Berechnung siehe Band 1, Kapitel 7.4) sowie die Evenness und den Shannon-Index über alle Transekte vor und nach dem Kraftwerksbau am Standort Eixendorf.

	Taxazahl	Norm. Individuenzahl	Evenness	Shannon-Index
vor Kraftwerksbau (2015) (n = 80)	37,8 \pm 12,7	24,2 \pm 45,4	0,6 \pm 0,2	2,1 \pm 0,6
nach Kraftwerksbau (2017) (n = 80)	37,0 \pm 10,3	25,8 \pm 32,2	0,7 \pm 0,1	2,3 \pm 0,5

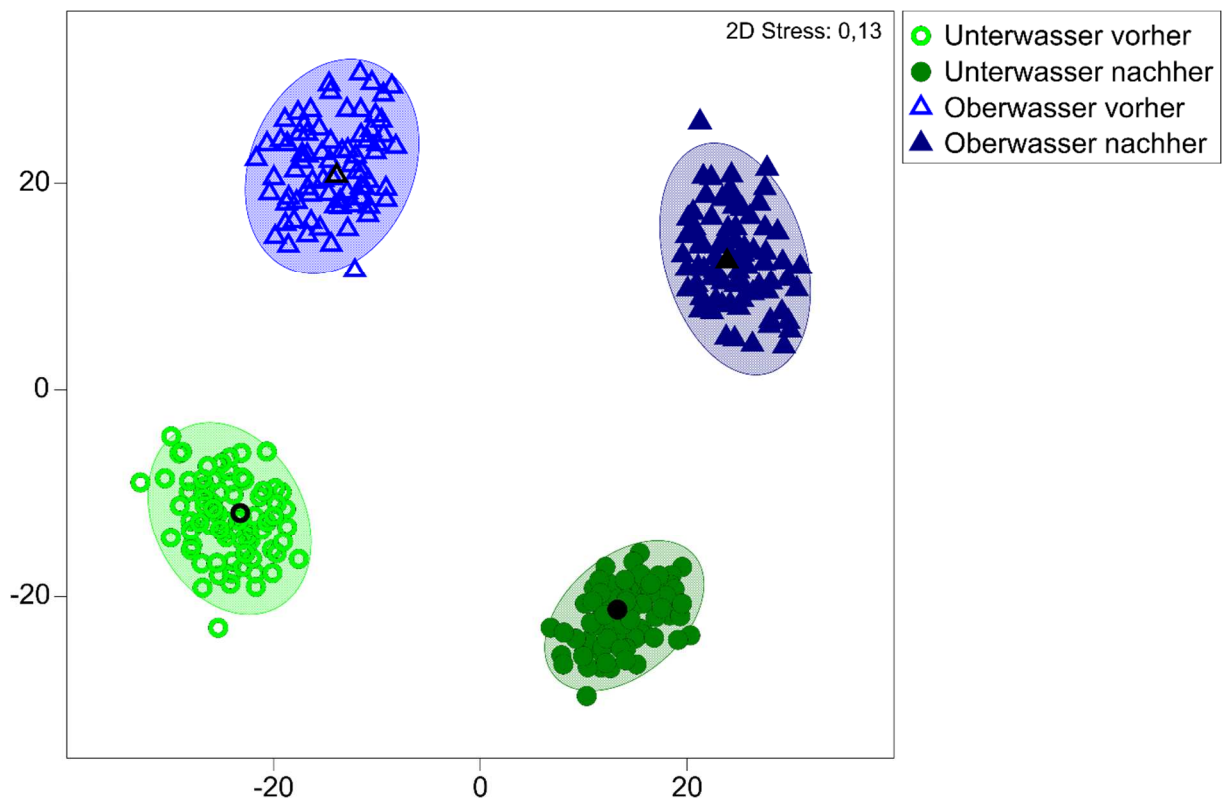


Abbildung 33 Metrische multidimensionale Skalierung (MDS) basierend auf Mittelwerten aus Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) der Taxa-Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Periphyton) am Standort Eixendorf, unterteilt nach Unter- und Oberwasser vor dem Kraftwerksbau (vorher) und nach dem Kraftwerksbau (nachher). Die schwarzen Symbole stellen jeweils den Mittelwert der Ausgangsstichprobe der Versuchsgruppe dar, die farbigen Symbole die Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen. Die transparent-farbigen Flächen kennzeichnen die Region, in die 95% der Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen fallen (Bootstrap Regionen, ähnlich Konfidenzintervall). Der Abstand der Gruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Taxa-Zusammensetzung (geringer Abstand = große Ähnlichkeit).

2.3. Gesamtschau und Wirkung der Anlage

Artenspektrum des Fischabstieges

Bei den Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs im Jahr 2017 wurden insgesamt 6.323 Fische aus 33 Arten gefangen. Die häufigsten Arten im Fischabstieg waren Laube, Aitel, Rotaugen und Flussbarsch. Der Anteil an gebietsfremden Arten (Blaubandbärbling) an der Gesamtindividuenzahl betrug 2%. Rheophile Arten waren mit einem Anteil von 7% vertreten, wovon der Schneider die häufigste Art war. Aufgrund der Beobachtung, dass ein Großteil der im Turbinenhamen gefangenen Individuen im Unterwasser von außen in die Fangeinrichtung eingeschwommen ist, können für den Turbinenkorridor keine weiteren Aussagen über den natürlichen Fischabstieg getroffen werden, da die gefangenen Fische nicht das tatsächliche Artenspektrum des natürlichen Fischabstiegs repräsentieren.

Mortalität und Verletzungen

Die am Kraftwerk Eixendorf durch die standardisierten Fischzugaben (Projektteil A) ermittelten Mortalitätsraten durch Turbine und Rechen liegen über alle getesteten Arten zwischen 22,2% und 24,6%. Bei der Berechnung wurden die fangbedingte Mortalität und die verzögerte Mortalität berücksichtigt.

Bisher wurde nach unserem Wissen nur eine Studie veröffentlicht, in der die Mortalität von Fischen (Lachssmolts) an einem beweglichen Kraftwerk untersucht wurde (Thorstad et al. 2017). Allerdings können auch Literaturwerte für Mortalitätsraten an konventionellen Kaplan-Turbinen zum Vergleich herangezogen werden, da im beweglichen Kraftwerk eine Kaplan-Turbine verbaut ist.

Für den Aal liegt die Mortalitätsrate je nach Berechnungsweg mit 10% bis 12% unter 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%). Bei der Bachforelle liegen die Mortalitätsraten mit 15% bis 22% zum Teil im Bereich der Literaturwerte für Kaplan-Turbinen oder etwas höher (z.B. Thorstad et al. 2017: 3–6% bei Lachssmolts, Schneider & Hübner 2017: 14% bei der Bachforelle, Calles & Greenberg 2009: 11% bei Meerforellensmolts). Von allen Fischarten war die kraftwerksbedingte Mortalität mit 32% bis 59% bei der Nase am höchsten. Die Mortalitätsraten für Flussbarsch, Barbe, Rotaugen, Äsche und Huchen lagen je nach Berechnungsweg zwischen 14% und 42%. Für diese Fischarten sind nach derzeitigem Kenntnisstand keine artspezifischen Mortalitätsraten aus der Literatur bekannt.

Beim Vergleich mit Literaturwerten ist zu berücksichtigen, dass bei allen genannten Studien keine verzögerte Mortalität berücksichtigt wurde und nur in einem Fall um die fangbedingte Mortalität korrigiert wurde (Schneider & Hübner 2017), bzw. nicht mit Hamenfängen sondern grundsätzlich mit anderer Methodik gearbeitet wurde (z.B. Telemetry in Thorstadt et al. 2017). Des Weiteren müssen bei solchen Vergleichen auch immer das Größenspektrum der eingesetzten Versuchsfische sowie weitere standortspezifische Unterschiede, wie Drehzahl, Anzahl der Schaufelblätter, Turbinendurchmesser, Fallhöhe, untersuchte Lastzustände und Wiederfangraten berücksichtigt werden. Eine Angabe dieser Kenngrößen fehlt jedoch oft in der Literatur. Ein Vergleich mit Literaturdaten ist deshalb nur bedingt aussagekräftig, erlaubt aber dennoch eine grobe Einordnung in den Gesamtkontext anderer Wasserkraftanlagen.

Die Analyse der äußeren und inneren Verletzungen lässt darauf schließen, dass die Mortalität der Fische bei der Turbinenpassage vor allem durch Kollisionen und Druckunterschiede verursacht wurde. Auf Kollisionen als wesentliche Mortalitätsursache deuten insbesondere die inneren Verletzungen hin: Verformungen und Frakturen der Rippen und der Wirbelsäule traten bei toten Fischen nach der Turbinenpassage in höherer Intensität auf als bei Fischen, die die Turbinenpassage überlebt hatten. Weiterhin weisen eine höhere Intensität von Veränderungen der Schwimmblase (Expansion oder Kompression), Gasblasen (vor allem in Auge und Leibeshöhle) sowie Einblutungen (vor allem in Körper-Bindegewebe und Leibeshöhle) bei Fischen mit Turbinenpassage im Vergleich zur Kontrollgruppe (Vorschädigung und Hamen) auf Barotraumata infolge von Druckunterschieden als weitere mögliche Mortalitätsursache hin. Bei den äußeren Verletzungen deuten eine höhere Intensität von Schuppenverlusten, Einblutungen und Hautverletzungen bei Fischen nach der Turbinenpassage im Vergleich zur Kontrollgruppe Hamen auf Kollisionen hin. Neben diesen am häufigsten auftretenden Verletzungen kam es nach der Turbinenpassage bei 14% der Fische (Anteil am Gesamtfang über alle Fischarten) zu Amputationen von Körperteilen. Dabei war die Verletzungsintensität von Amputationen bei der Nase am höchsten. Dies spiegelt sich auch in den hohen Mortalitätsraten wider. Zudem sind auch Fische nach der Kraftwerkspassage verstorben (insbesondere Nase), die keine äußerlich oder innerlich sichtbaren, eindeutig tödlichen, Verletzungen aufwiesen. Dies ist vermutlich auf Stress zurückzuführen.

Generell waren die Mortalitätsraten für alle Arten mit Ausnahme von Aal und Barbe bei niedriger Turbinenlast deutlich höher als bei hoher Turbinenlast. Auch die Verletzungsintensität war bei Niedriglast bei den Arten Aal, Bachforelle, Äsche und Huchen etwas höher und bei der Nase deutlich höher als bei Hochlast. Ursache dafür war höchstwahrscheinlich die engere Stellung der Turbinenschaufeln bei Niedriglast, durch die

das Kollisionsrisiko steigt. Bei den Fischarten Aal, Nase und Barbe zeigte sich weiter, dass die Intensität von Amputationen und Quetschungen mit der Totallänge zunahm. Eine ähnliche Tendenz gab es auch bei den anderen Fischarten. Wahrscheinlich betraf das höhere Kollisionsrisiko bei Niedriglast also insbesondere größere Individuen. Neben den letal geschädigten Fischen hatten 6% der Fische nach der Turbinenpassage eine leicht bis mittelstark reduzierte Vitalität (Vitalitätsstufen 1 und 3). Unter natürlichen Bedingungen ist davon auszugehen, dass ein Teil dieser Fische Prädatoren oder Infektionen zum Opfer fällt.

Die teilweise hohe Mortalität von bis zu 23% nach der Grundpassage spiegelte sich nicht deutlich in den äußeren Verletzungen wider. Auch die inneren Verletzungsmuster der Versuchsgruppe Grundpassage unterschieden sich nicht deutlich von der zugehörigen Referenzgruppe. Tendenziell waren jedoch die Intensität von Gasblasen, Einblutungen, Veränderungen der Schwimmblase und Verformungen der Wirbelsäule bei Individuen mit Grundpassage höher als bei Individuen ohne Grundpassage, was auf Barotraumata infolge von Druckunterschieden als mögliche Mortalitätsursache hindeutet. Es wurde zudem vereinzelt beobachtet, dass Fische während der Grundpassage zwischen dem beweglichen Kraftwerk und den Kraftwerksmauern eingequetscht wurden und dadurch verstorben sind.

Auch der oberflächennahe Abstieg über den Kronenausschnitt kann Verletzungen verursachen. Das Verletzungsrisiko des Kronenausschnitts in Eixendorf kann jedoch als gering eingestuft werden. Die Passage des Kronenausschnitts verursachte weder eine sofortige Mortalität noch erlitten die Fische schwerwiegende Verletzungen wie Amputationen oder Quetschungen. Schuppenverluste, Einrisse in den Flossen, Einblutungen und Hautverletzungen wurden hingegen häufiger festgestellt. Diese Verletzungen wurden aber auch durch die Fangmethode und das Handling verursacht (Knott et al. 2019).

Nutzung der Abstiegskorridore und Barrierfunktion des Rechens

Bei den Untersuchungen zum natürlichen Fischabstieg im Jahr 2017 konnte für die Fangeinrichtung des Turbinenauslaufes nicht verlässlich unterschieden werden, ob die gefangenen Fische über den Turbinenkorridor ins Unterwasser gelangten oder vom Unterwasser kommend von außen in die Fangeinrichtung einschwammen. Aus diesem Grund ist ein aussagekräftiges Ergebnis zur Präferenz der Abstiegskorridore Turbine und Kronenausschnitt nur anhand der standardisierten Fischzugaben im Jahr 2017 und 2018 möglich.

Bei den standardisierten Fischzugaben ist in beiden Untersuchungszeiträumen ein Großteil der wiedergefangenen Fische der Versuchsgruppe Turbine & Rechen über den Turbinenkorridor und nur ein geringer Anteil über den Kronenausschnitt ins Unterwasser gelangt (2017: 76% Turbine, 24% Kronenausschnitt, n = 4.242; 2018: 92% Turbine, 8% Kronenausschnitt, n = 2.226). Es ist zu berücksichtigen, dass sich beide Untersuchungszeiträume 2017 und 2018 hinsichtlich hydrologischer und klimatischer Bedingungen, der unterschiedlichen Positionierung des Kronenausschnitts und des verwendeten Fischartenspektrums stark unterscheiden. Eine vergleichende Interpretation der Ergebnisse 2017 und 2018 ist deshalb nur sehr eingeschränkt möglich.

Beim Vergleich der beiden Öffnungsgrößen des Kronenausschnitts sind über den großen Ausschnitt mit 9,6% Anteil am Gesamtfang ein etwas höherer Anteil an Fischen abgestiegen als über den kleinen Ausschnitt mit 7,1%. Bachforellen nutzten den Kronenausschnitt als Abstiegskorridor mit Abstand am häufigsten. Mehr Bachforellen und Äschen sind über den großen Kronenausschnitt ins Unterwasser gelangt als über den kleinen. Lediglich ein sehr geringer Anteil der Barben nutzte den kleinen Kronenausschnitt als Abstiegskorridor. Über den großen Kronenausschnitt erfolgte bei den Barben kein Abstieg (Knott et al. 2019).

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass zwischen 96,4% (großer Kronenausschnitt installiert) und 99,4% (kleiner Kronenausschnitt installiert) des Abflusses durch die Turbine fließt. Der überproportional hohe Fang im Turbinenkorridor verdeutlicht, wie wichtig der Bereich der Hauptströmung als Abstiegskorridor für die abwärts gerichtete Wanderung bzw. Verdriftung ist (Johnson et al. 2000, Lundström et al. 2010). Entscheidend ist in diesem Zusammenhang die Barrierefunktion des Rechens. Nach Ebel (2013) sind mechanische Barrieren mit einem definierten Stababstand bis zu einer bestimmten kritischen, artenspezifisch variierenden Körperlänge physisch undurchlässig. Neben der primären Schutzwirkung als physische Barriere, können derartige Systeme auch durch optische bzw. hydraulisch-taktile Reize zu einer zusätzlichen Vermeidungsreaktion oder einer Leitwirkung führen, wodurch auch physisch durchlässige Barrieren wirksam sein können (Ebel 2013). Nach Angaben von Ebel (2013) sollte der vertikale Rundbogenrechen am Standort Eixendorf für Fische ab den kritischen Körperlängen von beispielsweise 18,2 cm (Nase, Barbe und Rotaugen), 20,0 cm (Bachforelle, Äsche und Huchen) und 66,7 cm (Aal) physisch undurchlässig sein (Ebel 2013).

Die Ergebnisse zeigen, dass der vertikale Rundbogenrechen trotz der verhältnismäßig geringen Stabweite von 20 mm von einem Großteil der untersuchten Individuen passiert wurde. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass der Rechen laut Ebel (2013) für einen Großteil der untersuchten Individuen bei den standardisierten Fischzugaben, insbesondere

der Arten Nase, Flussbarsch, Barbe und Rotauge mit Maximallängen von 21,0 cm (vgl. Tabelle 9), physisch durchlässig ist. Darüber hinaus wurden auch größere Individuen dieser und anderer Fischarten (v.a. Bachforelle, Äsche, Huchen; insgesamt 132 Fische) im Turbinenhamen nachgewiesen, welche die kritischen Körperlängen nach Ebel (2013) zum Teil deutlich überschritten. Für die Äsche (Maximallänge im Turbinenhamen 30 cm) und den Aal (Maximallänge im Turbinenhamen 69 cm) konnte keine deutliche Größenselektion durch den Rechen festgestellt werden. Bei den Bachforellen erfolgte eine Größenselektion durch den Rechen erst ab 33,5 cm, beim Huchen erst ab 38,7 cm (Tabelle 9).

Als mögliche Ursache für diese deutliche Überschreitung der kritischen Körperlängen nach Ebel (2013) wurde ein ca. 26 mm großer Spalt zwischen dem Rundbogenrechen und der linken und rechten Betonwand des Turbineneinlaufes identifiziert. Nach erfolgter Nachbesserung mittels einer Borstendichtung durch den Betreiber wurden bei der Nachuntersuchung im Jahr 2018 zwei Bachforellen bis maximal 29,4 cm Totallänge im Turbinenhamen nachgewiesen (Knott et al. 2019), was jedoch immer noch eine Überschreitung der kritischen Körperlänge für die physische Passierbarkeit nach Ebel (2013) von ca. 50% bedeutet.

Die Anströmgeschwindigkeit am Rechen während der standardisierten Fischzugaben waren mit durchschnittlich 0,23 m/s bis 0,28 m/s (Tabelle 5) sehr gering. Die Wirksamkeit von verhaltensbeeinflussenden Effekten, durch welche auch kleinere, rechengängige Individuen vom Rechen abgehalten bzw. in Richtung Bypass (Kronenausschnitt) geleitet werden, sollte dadurch nicht beeinflusst sein (Ebel 2013).

Bewertung des Lebensraumes, Veränderungen nach dem Kraftwerksbau und serielle Diskontinuität

Die untersuchten Transekte an der Wasserkraftanlage Eixendorf zeichneten sich überwiegend durch Feinsedimente < 2,0 mm aus. Bis auf das künstliche Einbringen von Kies zur Neuanlage eines Laichplatzes im Unterwasser wurden für das gesamte Untersuchungsgebiet keine ausgeprägten Veränderungen in den Flächenanteilen der vorherrschenden Substrattypen durch den Kraftwerksbau festgestellt. In allen Transekten wurde eine hohe Differenz zwischen den physikalisch-chemischen Parametern im Freiwasser und im Interstitial nachgewiesen. Dies deutet auf eine erhebliche Beeinträchtigung des Interstitials durch Kolmation (Verstopfung der Poren durch Feinsediment) hin. Infolge des hohen Feinsedimentanteils kann ein Austausch zwischen sauerstoffreichem Oberflächenwasser und dem Interstitialwasser kaum stattfinden. Generell waren die Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Eixendorfer Vorsperre mit 0,02 m/s bis 0,05 m/s sehr gering. Durch den Bau des beweglichen Kraftwerks haben sich die Strömungsgeschwindigkeiten im Unterwasser im Bereich des Turbinenauslaufes leicht erhöht. Durch den Wegfall des Wehrüberfalls und der Konzentration des gesamten Abflusses auf den neuen Turbinenauflauf entstand ein räumlich begrenzter Bereich mit erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten, während der übrige Bereich der Talsperre nach wie vor Stillwassercharakter aufwies.

Bei den Elektrofischungen wurden insgesamt 26 Fischarten nachgewiesen. Die häufigsten Arten waren Bitterling, Flussbarsch und Aitel mit einem Anteil von 62% am Gesamtfang. Zusammen mit den ebenfalls häufigen Arten Rotauge, Laube, Brachse und Gründling stellten diese Arten über 87% des Gesamtfangs. Die einzige nachgewiesene gebietsfremde Fischart war der Blaubandbärbling mit einem Anteil von 8% am Gesamtfang. Die Leitarten der Referenzzönose (Aitel, Gründling, Hasel, Nase, Barbe) waren stark unterrepräsentiert bzw. konnten in den untersuchten Transekten nicht nachgewiesen werden (Bachschmerle). Das Fehlen bzw. stark reduzierte Vorkommen vor allem der rheophilen Arten weist auf den ausgeprägten Einfluss der veränderten Strömungsverhältnisse der Schwarzach im Bereich der Vor- und Talsperre hin. Die Makrozoobenthosgemeinschaft zeichnete sich durch einen hohen Anteil anspruchsloser Taxa (z.B. Zuckmücken, Wenigborster, 66%) sowie einen geringen Anteil anspruchsvoller Taxa (z.B. Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven, 11%) aus, was wahrscheinlich auf den hohen Anteil an Feinsediment im Bereich der Vorsperre zurückzuführen ist. In den Makrozoobenthosproben wurden auch elf Rote-Liste Arten nachgewiesen, allerdings mit einem sehr geringen Anteil an der Gesamtindividuenzahl von insgesamt 0,6%. Als einziger Neozoe wurde die Spitze Blasenschnecke (*Physella acuta*) mit einem Individuum im Unterwasser nachgewiesen.

Die Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft (Fische, Makrozoobenthos, Makrophyten und Periphyton) unterschied sich sowohl vor als auch nach dem Kraftwerksbau deutlich zwischen Ober- und Unterwasser. Vor dem Kraftwerksbau hatten im Oberwasser vor allem die Fischart Bitterling und die Makrophyten-Art Schmalblättrige Wasserpest (*Elodea nuttallii*) einen höheren Anteil an der aquatischen Lebensgemeinschaft als im Unterwasser, während im Unterwasser insbesondere der Anteil der Fischarten Flussbarsch und Laube höher war. Nach dem Kraftwerksbau wurden im Oberwasser neben der Schmalblättrigen Wasserpest die Fischart Aitel sowie Zuckmückenlarven des Tribus Chironomini mit einem höheren Anteil nachgewiesen als im Unterwasser. Im Unterwasser hatten nach dem Kraftwerksbau neben der Fischart Flussbarsch insbesondere die Blaualgen-Taxa *Lyngbya limnetica*, *Microcystis* sp. und *Spirulina* sp. einen höheren Anteil an der aquatischen Lebensgemeinschaft als im Oberwasser.

Insgesamt war der Unterschied in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen Ober- und Unterwasser nach dem Kraftwerksbau ähnlich stark ausgeprägt wie vor dem Bau, auch wenn sich die Anteile einzelner Taxa nach dem Kraftwerksbau in beiden Gewässerbereichen geändert haben. Dies deutet darauf hin, dass sich das Ausmaß der Unterbrechung des Fließgewässerkontinuums nach dem Kraftwerksbau nicht wesentlich verändert hat. D.h., die entscheidende nachteilige Beeinflussung der aquatischen Lebensgemeinschaft hat bereits durch den Bau des Stauwehrs stattgefunden.

Gesamtwirkung der Anlage

Die ermittelten Mortalitätsraten nach der Turbinenpassage am beweglichen Kraftwerk Eixendorf liegen im Vergleich zu einem Literaturwert an einem anderen beweglichen Kraftwerk höher und ähneln den bisher bekannten Effekten von konventionellen Kraftwerksanlagen mit Kaplan-Turbine.

Am beweglichen Kraftwerk Eixendorf an der Schwarzach ist eine konventionelle Kaplan-Rohrturbine eingebaut. Diese verursacht unter den standörtlichen Gegebenheiten (Fallhöhe 5,0 m, Turbinendurchmesser 1,0 m, Drehzahl 333 U/min) eine gewisse Mortalitätsrate bei den Fischen, die stark zwischen den verschiedenen Fischarten variiert. Die beobachteten Mortalitätsraten von bis zu 59% für die Nase sind zum Teil vergleichbar mit den Effekten konventioneller Anlagen. Für den Aal hingegen lag die Mortalitätsrate mit bis zu 12% deutlich unter den bisher für Kaplan-Turbinen bekannten Werten.

Die Analyse der äußeren und inneren Verletzungsmuster hat gezeigt, dass die Turbinenpassage am Standort Eixendorf teils schwerwiegende Verletzungen wie etwa Amputationen oder Verformungen und Frakturen von Skelettteilen verursachen kann, die wahrscheinlich auf Kollisionen zurückzuführen sind. Dabei tragen die hohe Drehzahl in Verbindung mit dem kleinen Turbinendurchmesser wahrscheinlich zu einem erhöhten Kollisionsrisiko insbesondere für größere Fische bei. Zudem wurden bei Fischen mit Turbinenpassage auch typische Barotrauma-Verletzungen wie Veränderungen der Schwimmblase festgestellt, die auf Druckunterschiede als eine weitere wichtige Mortalitätsursache am Standort Eixendorf hinweisen.

Die Aufteilung der Fische auf die verschiedenen Abstiegskorridore während der Versuche zu den standardisierten Fischzugaben hat gezeigt, dass trotz des installierten Fischschutzrechens am Standort Eixendorf mit einem Stababstand von 20 mm die meisten Fische über den Turbinenkorridor ins Unterwasser gelangten. Dabei war auch eine Vergrößerung der Öffnung des Kronenausschnitts nicht ausreichend, um Fische an der Turbinenpassage zu hindern und in den Fischabstieg zu leiten. Insbesondere für eher bodenorientierte Fischarten wie z.B. Aal und Barbe oder im mittleren Tiefenbereich abwandernde bzw. abdriftende Fische scheint der oberflächennahe Fischabstieg nicht die erwünschte Wirkung zu erfüllen. Zusätzliche und dauerhaft dotierte Bypass-Systeme bzw. Abstiegskorridore am Gewässergrund und in der Mitte der Wassersäule könnten die Effizienz des Fischabstiegs auch bei diesen und weiteren Fischarten erhöhen.

Das temporäre Anheben des Kraftwerks bei erhöhten Abflüssen scheint am Standort Eixendorf mit einer Fallhöhe von 5 m nicht dafür geeignet zu sein, um bodenorientierten Fischarten eine möglichst verletzungsfreie Passage ins Unterwasser zu ermöglichen. Die Mortalität durch die Grundpassage lag je nach Fischart bei bis zu 23% (vgl. Kapitel 2.1.2.3) und damit in einem ähnlichen Bereich wie die Mortalität durch Turbine und Rechen. Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die extremen hydraulischen Bedingungen, die beim Anheben des Kraftwerkes unter Druckabfluss auftreten (hohe Strömungsgeschwindigkeiten und Scherkräfte, Druckschwankungen, Turbulenzen), zurückzuführen.

Bereits vor dem Einbau des beweglichen Kraftwerks war die Schwarzach im Bereich der Vorsperre des Eixendorfer Stausees ein anthropogen verändertes und reguliertes Gewässer. Die bereits vor dem Kraftwerksbau bestehende Staumauer der Vorsperre unterbricht das Fließgewässerkontinuum, wodurch sich wiederum der Lebensraum für die aquatische Lebensgemeinschaft verändert hat. Nach dem Kraftwerksbau konnten bis auf eine erhöhte Strömungsgeschwindigkeit im Bereich des Turbinenauslaufes im Unterwasser keine

deutlichen Veränderungen der abiotischen Habitateigenschaften im Ober- und Unterwasserbereich des Standorts Eixendorf nachgewiesen werden. Auch der Unterschied in der Zusammensetzung der aquatischen Lebensgemeinschaft zwischen Ober- und Unterwasser hat sich nach dem Kraftwerksbau nicht wesentlich verändert.

Bisher ist es Fischen nicht möglich, vom Unterwasser des Kraftwerks ins Oberwasser zu gelangen. Diese Notwendigkeit wurde insbesondere während der standardisierten Fischzugaben im Frühjahr deutlich, wo große Fischschwärme unmittelbar am Turbinenauslauf beobachtet wurden, die zum Teil versucht haben, über das überströmte Stahlgehäuse des Kraftwerkes ins Oberwasser zu gelangen. Der Bau einer Fischaufstiegsanlage an der Vorsperre kann insofern zur Verbesserung der fischökologischen Situation beitragen. Dadurch könnten Restpopulationen von strömungsliebenden Fischarten des Unterwassers, wie z.B. Rapfen, Barbe und Nase, wieder potenzielle Laichplätze in der oberhalb gelegenen freifließenden Strecke der Schwarzach erreichen.

Über die vorab zusammengefassten Ergebnisse am Standort Eixendorf 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 Fischaufstiegsanlagen möglich. Diese werden in Band 11 und der Zusammenfassung zu Band 11 erläutert.

Literaturverzeichnis

- 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).
- Johnson G. E., Adams N. S., Johnson R. L., Rondorf D. W., Dauble D. D. & Barila T. Y. (2000) Evaluation of the prototype surface bypass for salmonid smolts in spring 1996 and 1997 at Lower Granite Dam on the Snake River, Washington. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(2), 381-397.
- Knott J., Mueller M., Pander J. & Geist J. (2019) Fish Passage and Injury Risk at a Surface Bypass of a Small-Scale Hydropower Plant. *Sustainability*, 11, 6037.
- Lagarrigue T. & Frey A. (2010) Test for evaluating the injuries suffered by downstream-migrating eels in their transiting through the new spherical discharge ring VLH turbogenerator unit installed on the Moselle River in Frouard. Report E. CO. GEA for MJ2 Technologies.
- LfU, Bodeninformationssystem Bayern, <http://www.bis.bayern.de/bis/initParams.do>, [abgerufen am 22.12.2014].
- LfU, Kartendienst Gewässerbewirtschaftung Bayern, http://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_gewaesserbewirtschaftung_ftz/index.html?lang=de, [abgerufen am 21.02.2019].
- Lundström T. S., Hellström J. G. I. & Lindmark E. M. (2010) Flow design of guiding device for downstream fish migration. *River Research and Applications*, 26(2), 166-182.

- Meier C., Böhmer J., Rolaufts P. & Hering D. (2006) Kurzdarstellungen „Bewertung Makrozoobenthos“ & „Core Metrics Makrozoobenthos“. Stand Juni 2006.
- Pottgießer T. & Sommerhäuser M. (2004) Fließgewässertypologie Deutschlands: Die Gewässertypen und ihre Steckbriefe als Beitrag zur Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Handbuch der Limnologie 19(7), 04.
- Schneider J., Hübner D. & Korte E. (2012) Funktionskontrolle der Fischaufstiegs- und Fischabstiegshilfen sowie Erfassung der Mortalität bei Turbinendurchgang an der Wasserkraftanlage Kostheim am Main. Endbericht 2012. Bürogemeinschaft für Fisch- & Gewässerökologische Studien, Frankfurt am Main.
- Schneider J. & Hübner D. (2017) Funktionskontrolle der Fischwechsellanlagen am Main-Kraftwerk Kostheim. Biologische Durchgängigkeit von Fließgewässern: Ausgewählte Beiträge aus der Fachzeitschrift WasserWirtschaft, 244.
- Schubert M. (2007) Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) aus fischereilicher Sicht – Fischereibezogenes Monitoring nach Maßgabe der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. VDSF Schriftenreihe 9/2007.
- Thorstad E. B., Havn T. B., Sæther S. A., Heermann L., Teichert M. A. K., Diserud O. H., Tambets E. B., Borcharding J. & Økland F. (2017) Survival and behaviour of Atlantic salmon smolts passing a run-of-river hydropower facility with a movable bulb turbine. Fisheries Management and Ecology, 24(3), 199-207.
- Zauner G. & Eberstaller J. (1999) Klassifizierungsschema der österreichischen Flußfischfauna in Bezug auf deren Lebensraumansprüche. Österreichs Fischerei, 52, 198-205.

Anhang

Tabelle 18 Fischreferenzzönose (prozentuale Anteile der potenziell vorkommenden Fischarten) der Schwarzach am Standort Eixendorf.

Gewässer	Schwarzach				
Teileinzugsgebiet	Naab-Regen				
Einzugsgebiet	Naab				
Stromgebiet	Donau				
Obere Grenze	Einmündung der Bayerischen Schwarzach				
Untere Grenze	Kröblitz				
Gewässertyp	Silikatische, fein- bis grobmaterialreiche Mittelgebirgsflüsse				
Gefälle (%)	2,35				
Fischregion	Cypriniden dominiertes Rhithral				
Fischregionsindex	5,68				
Referenzarten	19				
Anzahl Leitarten	6				
Typspezifische Arten	15				
Begleitarten	4				
Aitel	19,0	Elritze	4,9	Mühlkoppe	2,0
Aland	2,0	Flussbarsch	2,0	Nase	5,0
Äsche	2,0	Gründling	19,0	Quappe	0,9
Bachforelle	2,0	Hasel	19,0	Rotaugen	0,5
Bachneunauge	0,9	Hecht	0,8	Schneider	1,0
Bachschmerle	10,0	Laube	2,0	Zährte	2,0
Barbe	5,0				

Tabelle 19 Mittelwerte der erfassten Turbinendaten des beweglichen Kraftwerks am Standort Eixendorf während der Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr und Herbst 2017.

	Läufer [%]	Leitapparat [%]	Leistung [kW]	Durchfluss [m ³ /s]	Fallhöhe [m]
Frühjahr 2017	65,8	65,9	147	3,7	4,64
Herbst 2017	18,2	38,1	46	2	4,70

Tabelle 20 Mittelwerte der erfassten abiotischen Parameter während der Untersuchungen des natürlichen Fischabstiegs im Frühjahr und Herbst 2017 am Standort Eixendorf aufgetrennt nach den unterschiedlichen Reusen: SADT = Turbinenhamen, SADKA = Fangnetz Kronenausschnitt; v Rechen = Strömungsgeschwindigkeit unmittelbar am Rechen in m/s, v Hameneingang = Strömungsgeschwindigkeit am Hameneingang in m/s, v Hamen = Strömungsgeschwindigkeit entlang des Fanghamens und der Steertreuse in m/s, Treibgut = aufgefangenes Treibgut pro Hamenleerung in Liter [l], Trüb = Trübung in NTU, O₂ = Sauerstoffkonzentration in mg/l, T = Temperatur in °C, pH = pH-Wert, Lf = Leitfähigkeit in µS/cm.

	Reuse	v Rechen [m/s]	v Hameneingang [m/s]	v Steert [m/s]	Treibgut [l]	Trüb [NTU]	O ₂ [mg/l]	T [°C]	pH	Lf [µS/cm]
Frühjahr 2017	SADT	0,47	0,66	0,49	0,8	12,0	9,8	12,1	8,9	127
	SADKA		0,21		0,3					
Herbst 2017	SADT	0,17	0,21	0,17	6,8	4,0	9,3	13,3	7,8	186
	SADKA		0,29		0,9					

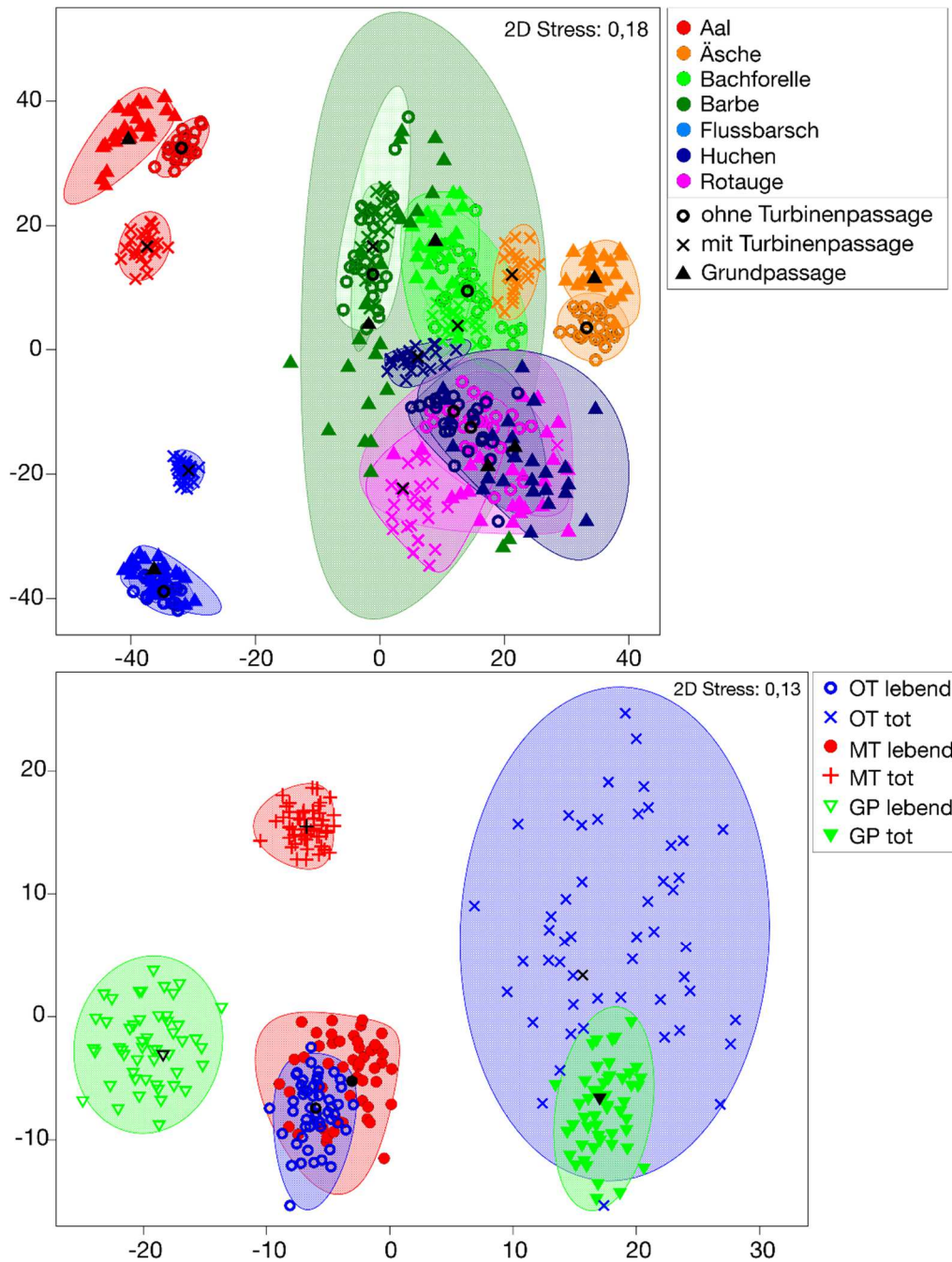


Abbildung 34 Metrische multidimensionale Skalierung (MDS) basierend auf Mittelwerten aus Stichprobenwiederholungen (Bootstrap Averages) der inneren Verletzungsmuster von sieben am Standort Eixendorf untersuchten Fischarten (Aal, Bachforelle, Flussbarsch, Barbe, Rotauge, Äsche, Huchen). Oben sind die Arten mit Grund-, Turbinenpassage und ohne Turbinenpassage dargestellt. Unten ist die Vitalität der Fische mit Grund-bzw. Turbinenpassage und ohne Turbinenpassage dargestellt. OT = ohne Turbinenpassage (Versuchsgruppen Vorschädigung, Hamen & Hamen Grundpassage), MT = mit Turbinenpassage (Versuchsgruppen Turbine & Rechen), GP = Grundpassage. Die schwarzen Symbole stellen jeweils den Mittelwert der Ausgangsstichprobe der Versuchsgruppe dar, die farbigen Symbole die Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen. Die transparent-farbigen Flächen kennzeichnen die Region, in die 95% der Mittelwerte aus den Stichprobenwiederholungen fallen (Bootstrap Regionen, ähnlich Konfidenzintervall). Der Abstand der Versuchsgruppen im Diagramm entspricht der Ähnlichkeit der Verletzungsmuster (geringer Abstand = große Ähnlichkeit).

Tabelle 21 Gesamt-Taxaliste aller am Standort Eixendorf/Schwarzach mittels Surber-Sampler entnommenen Makroinvertebraten zusammengefasst nach dem Gewässerbereich (OW = Oberwasser, UW = Unterwasser) und dem Zeitpunkt der Probenahme (vor Kraftwerksbau = 2015, nach Kraftwerksbau = 2017), aufgetragen nach absteigender Gesamthäufigkeit. Hochgestellte Zahlen und Buchstaben (grüne Schrift) symbolisieren den Status des Taxons gemäß der Roten Liste der Makrozoobenthos-Arten Bayerns (2003): 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, V = Vorwarnliste, G = Gefährdung anzunehmen.

Taxon	Gesamt	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
		OW	UW	OW	UW
Chironomini	2.688	204	492	1.725	267
Oligochaeta	2.510	444	115	1.463	488
Orthocladiinae, Podonominae, Diamesinae, Buchonomyii	847	122	24	603	98
<i>Gammarus roeselii</i>	829	48	17	748	16
Tanypodinae	705	151	259	231	64
Dorydrilidae/Lumbriculidae	480			206	274
<i>Gammarus sp.</i>	456			401	55
Baetidae	433			413	20
Tanytarsini	417	6	178	149	84
<i>Caenis horaria</i>	311	21	290		
<i>Plea minutissima</i>	295	21	124	141	9
Chironomidae	210			144	66
Chironominae	190	190			
<i>Notonecta sp.</i>	138			137	1
<i>Gammarus pulex</i>	136	15	11	106	4
<i>Caenis sp.</i>	124		43	5	76
<i>Baetis sp.</i>	80	16	4	57	3
<i>Helobdella stagnalis</i>	73	6	5	62	
Hydrachnidiae	73	9	32	14	18
<i>Micronecta sp.</i>	73	1	4	67	1
<i>Oecetis ochracea</i>	60	1	1	43	15
<i>Caenis robusta</i>	55			1	54
<i>Anabolia nervosa</i>	54	11	24	19	
<i>Bezzia sp.</i>	46	5		35	6
<i>Limnephilus germanus</i> ³	41			15	26
<i>Caenis luctuosa</i>	34		31		3
<i>Laccophilus sp.</i>	33			33	
<i>Radix balthica</i>	32			32	
<i>Pristina sp.</i>	31			22	9
Orthocladiinae	24	12	8	3	1
<i>Sialis lutaria</i>	24	1	1	22	
Gammaridae	22	1		19	2
Hirudinea	21		1	11	9
<i>Erpobdella sp.</i>	19	9	7	2	1
Chaoboridae	17	8		8	1
<i>Pisidium sp.</i>	17	3		14	
<i>Valvata cristata</i>	17			15	2
Ephydridae	16			15	1
<i>Radix peregra</i>	15	14	1		
<i>Asellus aquaticus</i>	14	1	8	5	
<i>Caenis lactea</i>	14		12		2
Ceratopogonidae	13			12	1

Taxon	Gesamt	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
		OW	UW	OW	UW
<i>Cyrnus trimaculatus</i>	13		13		
<i>Mystacides azurea</i>	13		11	1	1
<i>Potamanthus luteus</i>	13	1	1	6	5
<i>Lestes viridis</i>	12			12	
Limnephilidae	11			4	7
Prodiamesinae	11	2		9	
Planorbidae	10			7	3
<i>Hemiclepsis marginata</i>	9		9		
<i>Holocentropus dubius</i> ³	9	6	3		
<i>Oecetis lacustris</i>	9		1	5	3
Lymnaeidae	8	2		3	3
<i>Mystacides longicornis/nigra</i>	6	2	2		2
<i>Oulimnius sp.</i>	6				6
<i>Tubifex sp.</i>	6		1	2	3
<i>Anabolia furcata</i>	5			3	2
<i>Argulus foliaceus</i>	5				5
<i>Caenis beskidensis/pseudorivulorum</i> ^G	5				5
Culicidae	5	1		4	
<i>Goera pilosa</i>	5	5			
<i>Halesus sp.</i>	5			4	1
Hydroporinae	5			5	
<i>Molanna angustata</i>	5	5			
<i>Acroloxus lacustris</i> ^V	4			4	
<i>Agabus sp.</i>	4	4			
<i>Elmis sp.</i>	4	1	1	2	
<i>Holocentropus picicornis</i> ³	4	2	2		
<i>Limnephilus rhombicus</i>	4			4	
<i>Oecetis sp.</i>	4			1	3
<i>Physella acuta</i> ^N	4				4
<i>Piscicola geometra</i>	4	3			1
<i>Stylaria lacustris</i>	4			4	
<i>Anabolia sp.</i>	3			3	
<i>Arthroplea congener</i>	3			2	1
Asellidae	3			3	
<i>Calopteryx splendens</i>	3		2	1	
<i>Ceraclea dissimilis</i>	3		3		
<i>Cheumatopsyche lepida</i>	3			3	
<i>Chrysops sp.</i>	3		1	2	
<i>Halipus sp.</i>	3			3	
<i>Hyphydrus ovatus</i>	3			3	
<i>Limnephilus lunatus</i>	3			3	
Nematomorpha	3			2	1
<i>Platycnemis pennipes</i>	3	3			
<i>Potamophylax sp.</i>	3	3			
<i>Stenelmis/Macronychus sp.</i>	3	1		1	1
<i>Caenis rivulorum</i>	2				2
<i>Chaetopteryx villosa/fusca</i>	2			2	
<i>Cloeon dipterum</i>	2	2			
<i>Coenagrion puella</i>	2	2			
Coenagrionidae	2		1	1	
Corixidae	2	1		1	

Taxon	Gesamt	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
		OW	UW	OW	UW
Diamesinae	2	1	1		
<i>Dixa</i> sp.	2		2		
<i>Ecnomus tenellus</i>	2				2
<i>Eiseniella tetraedra</i>	2	2			
<i>Ephemera danica</i>	2	1	1		
<i>Ephemerella ignita</i>	2		1	1	
<i>Ephemerella</i> sp.	2			2	
<i>Gyraulus</i> sp.	2			1	1
<i>Holocentropus stagnalis</i>	2				2
<i>Hydropsyche</i> sp.	2			1	1
<i>Limnephilus affinis/incisus</i>	2				2
<i>Oulimnius tuberculatus</i>	2		1		1
<i>Phryganea</i> sp.	2	2			
<i>Pilaria</i> sp.	2				2
Polycentropodidae	2				2
<i>Radix auricularia</i>	2		2		
Scathophagidae	2			1	1
<i>Siphonurus</i> sp.	2			2	
<i>Sphaerium</i> sp.	2			2	
Tabanidae	2			2	
Turbellaria	2		1	1	
Aeshnidae	1				1
<i>Anabolia brevipennis</i>	1			1	
<i>Athripsodes bilineatus</i> ³	1		1		
<i>Athripsodes cinereus</i>	1		1		
<i>Atrichopogon</i> sp.	1				1
<i>Ceraclea annulicornis</i> ³	1				1
<i>Ceraclea fulva</i> ³	1		1		
Dolichopodidae	1				1
Dytiscidae	1			1	
<i>Enochrus melanocephalus</i>	1			1	
<i>Gerris</i> sp.	1		1		
<i>Glossosoma</i> sp.	1			1	
<i>Gomphus pulchellus</i>	1		1		
<i>Gomphus vulgatissimus</i> ^v	1			1	
<i>Hemerodromia</i> sp.	1			1	
<i>Heptagenia</i> sp.	1				1
Heptageniidae	1			1	
<i>Hydrocyphon deflexicollis</i>	1			1	
<i>Hydropsyche pellucidula</i>	1				1
<i>Hydroptila</i> sp.	1				1
<i>Lesteva longolytrata</i>	1			1	
<i>Limnius volckmari</i>	1		1		
Limoniidae	1				1
<i>Lymnaea stagnalis</i> ^v	1				1
Mesoveliidae	1			1	
<i>Micropterna lateralis</i>	1			1	
<i>Nemoura/Nemurella</i> sp.	1				1
<i>Neureclipsis bimaculata</i>	1		1		
<i>Orectochilus villosus</i>	1				1
Psychodidae	1			1	

Taxon	Gesamt	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
		OW	UW	OW	UW
<i>Riolus sp.</i>	1			1	
Simuliidae	1			1	
<i>Simulium (Eusimulium)/(Nevermannia) sp.</i>	1			1	
<i>Simulium sp.</i>	1				1
Siphonuridae	1			1	
<i>Somatochlora metallica</i>	1			1	
<i>Sphaerium corneum</i>	1	1			
<i>Stenelmis canaliculata</i> ¹	1			1	
Gesamtsumme	12.033	1.373	1.759	7.139	1.762

Tabelle 22 Durchschnittliche Zellzahlen pro mm² aller am Standort Eixendorf entnommenen Periphyton-Taxa zusammengefasst nach dem Gewässerbereich (OW = Oberwasser, UW = Unterwasser) und dem Zeitpunkt der Probenahme (vor Kraftwerksbau = 2015, nach Kraftwerksbau = 2017).

Taxon	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
	OW	UW	OW	UW
<i>Achnanthes sp.</i>	203	544	752	516
<i>Actinastrum hantzschii</i>			9	9
<i>Amphora sp.</i>	31	129	23	29
<i>Anabaena sp.</i>	5	91	72	58
<i>Ankistrodesmus sp.</i>	6	16	17	13
<i>Aphanocapsa sp.</i>	134	734	309	62
<i>Aphanothece sp.</i>				1267
<i>Asterionella sp.</i>	20	3	32	14
<i>Audouinella sp.</i>	27	38	3	11
<i>Aulacoseira granulata</i>	1			
<i>Aulacoseira sp.</i>	12	2		5
<i>Blaualge unbekannt</i>		21	51	76
<i>Botryococcus sp.</i>	39	52	137	312
<i>Caloneis amphisbaena</i>	0,3			
<i>Caloneis sp.</i>	0,3			
<i>Carteria sp.</i>		0,3		3
<i>Centrales</i>			324	154
<i>Chamaesiphon sp.</i>	5			
<i>Characium sp.</i>	6	2	1	5
<i>Chlamydomonas sp.</i>	85	174	55	73
<i>Chlorella sp.</i>	519	748	531	584
<i>Chlorococcum infusorium</i>	40	58		
<i>Chlorogonium sp.</i>				1
<i>Chlorophyceae spp.</i>	16	1	66	22
<i>Chroococcus sp.</i>	307	356	417	469
<i>Closterium ehrenbergii</i>	0,3	1		
<i>Closterium sp.</i>		1	1	1
<i>Cocconeis cf. Pediculus</i>		3		1
<i>Cocconeis spec</i>	88	67	96	80
<i>Coelastrum astroideum</i>		5		
<i>Coelastrum microporum</i>	59	206	22	26
<i>Coelastrum sp.</i>	3		15	10
<i>Coenocystis sp.</i>		1		
<i>Cosmarium laeve</i>	0,3	1		
<i>Cosmarium sp.</i>			1	
<i>Crucigenia sp.</i>	3		10	
<i>Crucigenia tetrapedia</i>		9		
<i>Cyclotella sp.</i>	6	25	5	13
<i>Cymatopleura elliptica</i>	0,3	2		
<i>Cymatopleura solea</i>	1		4	3
<i>Cymatopleura sp.</i>		1		
<i>Cymbella sp.</i>	18	63	63	34
<i>Dactylococcopsis sp.</i>		3		
<i>Diatoma sp.</i>	14	24	168	161
<i>Dinobryon sp.</i>		3		
<i>Eremosphaera sp.</i>	6	24		1
<i>Fragilaria crotonensis</i>	4	9		
<i>Fragilaria linearis</i>	1			
<i>Fragilaria sp.</i>	188	329	649	322

Taxon	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
	OW	UW	OW	UW
<i>Gloeocapsa sp.</i>	100	45	137	58
<i>Gloeocystis sp.</i>	64	268	223	130
<i>Gloeotheca linearis</i>				96
<i>Golenkinia sp.</i>	1	0,3		
<i>Golenkinia viridis</i>	1			
<i>Gomphonema sp.</i>	9	22	275	146
<i>Gürtelband unbekannt</i>	1	4	1	4
<i>Gyrosigma sp.</i>	3	6	5	4
<i>Haematococcus sp.</i>	19	25	3	8
<i>Hildenbrandia sp.</i>				6
<i>Hippodonta capitata</i>			1	
<i>Homoeothrix janthina</i>	4160	2767	7541	93
<i>Hyalogonium sp.</i>				1
<i>Hyaloraphidium contortum</i>	0,3			
<i>Hydrodictyon sp.</i>			35	
<i>Kirchneriella sp.</i>	31	32	8	25
<i>Klebsormidium sp.</i>	72	13	230	189
<i>Leptolyngbya foveolaria</i>	279	1461		
<i>Lyngbya limnetica</i>	552	1377	7670	5080
<i>Lyngbya sp.</i>	714	1010	1870	706
<i>Melosira sp.</i>	146	459	390	615
<i>Meridion circulare</i>	10	2	5	
<i>Meridion sp.</i>		0,4		
<i>Merismopedia sp.</i>	127	213	173	81
<i>Microcoleus subtorulosus</i>		184		
<i>Microcystis sp.</i>	410	3078	766	5321
<i>Monoraphidium contortum</i>				5
<i>Monoraphidium griffithii</i>				1
<i>Monoraphidium sp.</i>	2	1	19	19
<i>Mougeotia sp.</i>			6	
<i>Navicula sp.</i>	285	1586	1768	1391
<i>Nitzschia acicularis</i>	15	145	50	61
<i>Nitzschia salinarum</i>		0,4		
<i>Nitzschia sigmoidea</i>	1	6	5	3
<i>Nitzschia sp.</i>	26	141	925	294
<i>Nostoc sp.</i>			32	321
<i>Oocystis elliptica</i>		2		
<i>Oocystis sp.</i>			45	
<i>Oscillatoria limnetica</i>			585	105
<i>Oscillatoria sp.</i>	75	172	245	206
<i>Pandorina sp.</i>	3			
<i>Pediastrum boryanum</i>	15	98	10	8
<i>Pediastrum duplex</i>		5	14	
<i>Pediastrum simplex</i>			10	
<i>Pediastrum sp.</i>				3
<i>Pediastrum tetras</i>	26	115	55	4
<i>Phacus oscillans</i>	3	9	1	1
<i>Phacus sp.</i>				1
<i>Phormidium sp.</i>	61	4166	3646	913
<i>Pinnularia sp.</i>	20	7	30	33
<i>Placoneis sp.</i>	1	3		
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>		2		
<i>Pleurocapsa sp.</i>	145	96	6	261

Taxon	vor Kraftwerksbau		nach Kraftwerksbau	
	OW	UW	OW	UW
<i>Pleurosira</i> sp.				1
<i>Pseudanabaena</i> sp.	8			
<i>Rhoicosphenia</i> sp.	18	75	82	17
<i>Scenedesmus abundans</i>		12		
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	6	18	3	22
<i>Scenedesmus acutus</i>	6	11	7	10
<i>Scenedesmus armatus</i>			41	3
<i>Scenedesmus bicaudatus</i>	4	11	18	8
<i>Scenedesmus brasiliensis</i>				3
<i>Scenedesmus costatus</i>		1		
<i>Scenedesmus denticulatus</i>		5		
<i>Scenedesmus ecornis</i>	38	99		
<i>Scenedesmus intermedius</i>			5	3
<i>Scenedesmus linearis</i>	16	51	64	116
<i>Scenedesmus longispina</i>		1		
<i>Scenedesmus obliquus</i>	46	169	57	30
<i>Scenedesmus obtusus</i>		3		3
<i>Scenedesmus opoliensis</i>			3	2
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	150	408	325	198
<i>Scenedesmus</i> sp.	160	172	37	6
<i>Scenedesmus tenuispina</i>	10	45	18	8
<i>Schizothrix</i> sp.			260	
<i>Schroederia setigera</i>	1			
<i>Schroederia</i> sp.			2	
<i>Spirogyra</i> sp.			3	
<i>Spirulina</i> sp.	5072	535	4609	7323
<i>Staurastrum gracile</i>		1		
<i>Staurastrum</i> sp.	0,3	2		1
<i>Staurastrum tetracerum</i>	1	1	1	
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>			1	
<i>Stigeoclonium</i> sp.	21	18	66	46
<i>Surirella linearis</i>		0,3		
<i>Surirella</i> sp.	15	37	42	17
<i>Synura</i> sp.	3			
<i>Tabellaria</i> sp.				1
<i>Tetraedron caudatum</i>	1	0,3	2	1
<i>Tetraedron minimum</i>	1	1	3	4
<i>Tetraedron muticum</i>			1	
<i>Tetraedron</i> sp.		1		
<i>Tetraedron trigonum</i>			2	
<i>Tetraspora</i> sp.	96			
<i>Tetrastrum glabrum</i>	29	21	52	17
<i>Tetrastrum staurogeniaeforme</i>			3	
<i>Trachelomonas</i> sp.	1	2	1	2
<i>Trebouxia</i> sp.			5	1
<i>Ulothrix</i> sp.	89	370	416	79
<i>Willea irregularis</i>	28			
<i>Zygnema</i> sp.		30	4	