Institut für angewandte Ökologie

– Projektendbericht –

Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf

Dr. B. Adam, Dipl.-Geogr. O. Engler & Dr. U. Schwevers
Institut für angewandte Ökologie
Neustädter Weg 25
36320 Kirtorf-Wahlen
Tel.: 06692 / 6044
E-Mail: info@ifoe.eu

Dezember 2018

INHALT

Zusammenfassung 1

1 Veranlassung 6

2 Methode 9
2.1 Projektgebiet 9
2.2 HDX-Technologie 12
2.2.1 HDX in der Fischökologie 12
2.2.2 Zuverlässigkeit der HDX-Technik 16
2.2.3 Berechnung der Auf- und Abstiegsgeschwindigkeit von Fischen 18
2.3 Untersuchungsstandorte 19
2.3.1 Reuschenberger Mühle 19
2.3.2 Auer Kotten 21
2.3.3 Glüder 24
2.3.4 Schaltkotten 26
2.3.5 Buchenhofen 28
2.3.6 Beyenburger Stausee 30
2.4 Beschaffung, Markierung und Besatz von Fischen 32
2.4.1 Aale 33
2.4.2 Lachssmolts 34
2.4.3 Wildfische 36
2.5 Ergänzende Ethohydraulische Untersuchungen und hydrodynamisch-nummerische Modellierungen 39

3 Allgemeine biologische Erkenntnisse 41
3.1 Redetektion HDX-transpondierter Fische 41
3.2 Aktivität der Fische übers Jahr 44
3.3 Circadiane Rhythmik 47
3.4 Homing von Lachsen 48
3.5 Reiseverhalten 50

4 Aufwanderung 54
4.1 Sackgasseneffekt 54
4.2 Wirksamkeit einer Aufwandersperre 59

4.3 Auffindbarkeit, Passierbarkeit und Passagedauer der verschiedenen Fischaufstiegsanlagen 61
4.3.1 Schlitzpass und Raugerinne-Beckenpass Auer Kotten 61
4.3.2 Raugerinne-Beckenpass Glüder 63
4.3.3 Fischrampe in Riegelbauweise am Schaltkotten 65
4.3.4 Umgehungsgerinne in Riegelbauweise Buchenhofen 67
4.3.5 Umgehungsgerinne in Riegelbauweise Beyenburger Stausee 68
4.4 Vergleich der Fischaufstiegsanlagen 70
4.5 Wanderstrecken in der Wupper nach stromauf 76

5 Abwanderung 79
5.1 Annäherung an einen Ausleitungsstandort 79
5.2 Schutzwirkung des 12 mm-Schrägrechens 80
5.3 Bypässe und andere Abwanderkorridore 82
5.3.1 Wirksamkeit der verschiedenen Abwanderkorridore 82
5.3.2 Größen- und Artselektivität der Abwanderkorridore 88
5.3.3 Passagedauer 90
5.3.4 Kopplung der Freilandbefunde mit Erkenntnissen aus 3d-HN-Modellen 91
5.4 Gesamtdurchgängigkeit der Wupper für Lachssmolts nach stromab 101

6 Literatur 103

Danksagung 108

Anhang I Tierschutzrechtliche Genehmigung der Markierung von Fischen 109
Anhang II Details der Ausstattung mit HDX-Antennen an den Untersuchungsstandorten 110
Anhang III Reisetagebücher 112

ZUSAMMENFASSUNG

Das von Herbst 2013 bis Juli 2018 durchgeführte fischökologische Monitoring „HDX-Wupper“ erstreckte sich über einen knapp 70 km langen Wupperabschnitt. Auf dieser Flusstrecke waren die Wasserkraftstandorte Auer Kotten, Glüder (synonym Neuenkotten), Schaltkotten, Buchenhofen und Beyenburger Stausee mit HDX-Technik ausgestattet worden. Während am Auer Kotten alle vorhandenen Wanderkorridore und in Glüder der Fischpass am Ausleitungswehr sowie das Unterwasser des Krafthauses überwacht wurden, beschränkte sich die Dokumentation der Fischbewegungen an den übrigen Untersuchungsstandorten auf den Ein- und Ausstieg der Fischaufstiegsanlagen. Um Fischbewegungen mittels HDX-Technik detektieren zu können, wurden über die gesamte Projektlaufzeit 564 Blankaale, 3.500 Lachssmolts und 3.088 Wildfische individuell mit einem HDX-Transponder markiert und in verschiedenen Besatzkampagnen an unterschiedlichen Stellen in die Wupper entlassen.

Parallel zu dem fischökologischen Monitoring „HDX-Wupper“ und einer Freilanduntersuchung zur Funktionsfähigkeit der Aufwandersperre an der Reuschenberger Mühle, waren im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) ethohydraulische Untersuchungen zur Wirksamkeit von Bypässen an der Technischen Universität Darmstadt (TU Darmstadt) durchgeführt worden (LEHMANN et al. 2014). Für diese Verhaltensbeobachtungen mit lebenden Aalen, Lachssmolts sowie potamodromen Wildfischen verschiedener Arten, waren in einem 30 m langen, verglasten und beliebig durchströmbaren Laborgerinne Bypässe ähnlich denen am Auer Kotten installiert worden. Zu Validierung und Visualisierung der hydraulischen und geometrischen situativen Ähnlichkeit zwischen den realen existierenden und den im wasserbaulichen Labor modellierten Bypässen, wurden von der TU Darmstadt aufwändige dreidimensionale hydraulische nummerische Modelle vom Auer Kotten erstellt. Da die Erkenntnisse aus dem BfN-Projekt zu Verständnis der Ergebnisse aus dem Freilandprojekt „HDX-Wupper“ beitragen, fließt diese ethohydraulische Studie ergänzend in den vorliegenden Bericht ein.

Nachstehend werden die zahlreichen Erkenntnisse des fischökologischen Monitorings „HDX-Wupper“, unterteilt nach der „Methode“, „Allgemeinen biologischen Erkenntnissen“, sowie der „Auf-“ und „Abwanderung“ der Fische in der Wupper zusammengefasst dargestellt.

Methode HDX

- Die RFID-Technik unter Verwendung von HDX-Transpondern, hat sich als verlässliche Methode für fischbiologische Freilanduntersuchungen erwiesen, wenngleich die Funktion von HDX-Antennen aufgrund lokaler elektromagnetischer Störeinflüsse aus der Umgebung beeinträchtig werden kann. Unter solchen Gegebenheiten wurden die im Projekt verwandten HDX-Antennen, um einige Meter versetzt, an störungsfreien Positionen installiert.
- Im Laufe des Projekts zeigte sich, dass für die Installation von HDX-Antennen insbesondere an Positionen, die einem Strömungsangriff ungeschützt ausgesetzt sind, stabile Befestigungsmöglichkeiten erforderlich sind, wie in die Sohle einbetonierte U-Profile. An geschützten Einbausituationen, wie in den Fischpass hingegen, liefen die HDX-Antennen über die gesamte Projektlaufzeit störungsfrei.
- Bei gut getunten HDX-Antennen erreicht die Redetektionssicherheit für „schwimm durch“-Rahmenantennen Quoten von über 90 % und für Seilantennen etwa 80 %. Die „schwimm drüber“-Antennen erreichen an Gewässerquerschnitten mit einer maximalen Wassertiefe von etwa 0,5 m eine Lesewahrscheinlichkeit von immerhin knapp 70 %.
- Alle markierten Fischarten und -größen vertrugen die intraabdominal applizierten HDX-Transponder sehr gut, was die zahlreichen Redetektionen und Fänge transpondierter Individuen noch viele Jahre nach der Kennzeichnung der Tiere belegen.

Allgemeine biologische Erkenntnisse

- Die HDX-Antennen detektierten im Untersuchungszeitraum ca. 85 % der besetzten Blankaale, je nach Besatzstrategie und-ort zwischen 30 % und 70 % der Lachssmolts sowie annähernd 20 % der potamodromen Wildfische.
- Stromauf- und stromabwärts gerichtete Wanderungen fanden zu allen Zeiten übers Jahr verteilt und vor allem bei allen Wassertemperaturen statt.
- Es lassen sich artspezifische Hauptwanderzeiten abgrenzen, die allerdings zeigen, dass die immer wieder postulierte Hauptaufstiegszeit von Cypriniden im Frühjahr nicht existiert.
- Eine Auswertung der circadianen Rhythmik für abwandernde ana- und potamodrome Wildfische zeigt, dass die meisten Fische in der Zeit von Sonnenuntergang bis

morgens gegen 9 Uhr aktiv sind. Die wenigen auch über den Tag dokumentierten Abwanderungen betreffen vor allem die Nase.

- Lachssmolts und Aale passierten ebenfalls vorwiegend über Nacht den Auer Kotten stromab.
- Bei der circadianen Rhythmik des Aufstiegs sind artspezifische Unterschiede zu beobachten: während die eher im Winterhalbjahr aktiven Arten Bachforelle und Äsche sowohl bei Tag als auch bei Nacht in den Fischpässen der Wupper aufgestiegen sind, wanderten Barben im Sommer vorwiegend in der Dämmerung bzw. Nacht stromauf.
- Der individuelle Beleg zweier adulter Lachsrückkehrer, die zum Beginn des Projekts als Smolts besetzt worden waren, unterstreicht das Homing dieser Art in die Wupper.
- Die von über 653 Wildfischen erstellten individuellen Reisetagebücher zeigen, dass sich der dokumentierte Aktionsradius einzelner potamodromer Wildfische in der Wupper maximal über gut 40 Flusskilometer erstreckt.

<u>Aufwanderung</u>

- An den Ausleitungsstandorten Auer Kotten und Glüder wurde nachgewiesen, dass aufwandernde Fische grundsätzlich stets gegen die Hauptströmung im Gewässerquerschnitt anschwimmen. Entsprechend muss primär dort eine Fischaufstiegsanlage errichtet werden, wo sich die der Hauptströmung folgenden Fische konzentrieren.
- Die Aufwandersperre, die am Zusammenfluss von Turbinenuntergraben und Mutterbett der Reuschenberger Mühle errichtet worden war, um Aufwanderer aus dem stärker durchströmten Turbinenuntergaben in das Mutterbett zu zwingen, hat sich als funktionsuntüchtig erwiesen. Damit ist die Auffindbarkeit der am Ausleitungswehr positionierten Fischaufstiegsanlage nach wie vor eingeschränkt.
- Die Funktionsfähigkeit der mit HDX-Technik untersuchten Fischaufstiegsanlagen stellt sich wie folgt dar:
    - Am Auer Kotten beträgt die Auffindbarkeit sowohl des Schlitzpass am Krafthaus, als auch des Raugerinne-Beckenpasses am Ausleitungswehr etwa 50 %, während die Passierbarkeit beider Anlagen mit etwa 70 % etwas besser ist.
    - In Glüder wird die eingeschränkte Auffindbarkeit der am Ausleitungswehr positionierten Fischaufstiegsanlage zur Zeit durch eine vergleichsweise hohe

Beaufschlagung des Mutterbettes infolge eines reduzierten Schluckvermögens des Wasserkraftwerks gelindert. Allerdings ist der vorhandene Raugerinne-Beckenpass hydraulisch stark überlastet, weshalb z. B. 75 % der aufstiegswilligen Haseln und etwa die Hälfte der Nasen den Versuch diese Anlage zu passieren abbrachen und ins Unterwasser zurückkehrten.

- Die am Schaltkotten ebenfalls pessimal am Ausleitungswehr errichtete Fischrampe in Riegelbauweise weist vergleichsweise hohe Passagequoten von etwa 70 % auf und kann auch von leistungsschwachen Nasen stromaufwärts durchschwommen werden.
- Für das Umgehungsgerinne in Buchenhofen wurde eine Passagequote von 67 % ermittelt. Diese Quote ist dadurch reduziert, dass in jedem Herbst Großsalmoniden abgefangen und entnommen werden.
- Das Umgehungsgerinne am Beyenburger Stausee liegt am Ausleitungswehr eines Stollenkraftwerks. Aufgrund seiner geringen Frequentierung bzw. offensichtlich fehlender Motivation der aufsteigenden Fische erreichte die Passagequote dort nicht einmal 40 %.
- Eine sehr gut funktionierende Fischaufstiegsanlage mit einer Funktionsfähigkeit von mindestens 95 %, wie dies von diversen Autoren erwartet wird (DUMONT et al. 2005, LUWG 2008, FGE Ems 2009, HENNEBERG 2011), wurde an der Wupper demnach nirgends vorgefunden. Die untersuchten Fischpässe lassen sich in Hinblick auf ihre Funktionstüchtigkeit (Passierbarkeit) in folgende Rangfolge bringen: Schlitzpass und Raugerinne-Beckenpass am Auer Kotten (gut), Schaltkotten (mäßig), Buchenhofen (mäßig) und Glüder (schlecht); das Umgehungsgerinne am Beyenburger Stausee ist mangels ausreichender Datengrundlage nicht abschließend bewertbar, hat aber keine augenscheinlichen Defizite in der Bauweise.

- Für die Gesamtdurchgängigkeit der Wupper bedeuten die Erkenntnissen zur Funktionsfähigkeit der einzelnen Fischaufstiegsanlagen, dass 45 % der von unterstrom aufsteigenden potamodromen Wildfische den Auer Kotten passiert haben. Etwa 10 % ist es darüber hinaus gelungen, auch den darauf folgenden Standort Glüder zu überwinden. Da nur einzelne aufstiegswillige Anadrome mit einem HDX-Transponder markiert werden konnten, ist keine Einschätzung der Gesamtdurchgängigkeit der Wupper für diese Fischgilde möglich.

Abwanderung

- Der vor dem Turbineneinlauf des Auer Kotten installierte Rechen mit horizontalen Rechenstäben einer lichten Weite von 12 mm erfüllt nachweislich seine Schutzfunktion gegenüber abwandernden Aalen und Lachssmolts.
- Am Auer Kotten folgten 80 % der abwandernden Fische der Hauptströmung zum Krafthaus, während der Wanderkorridor über das Ausleitungswehr eine untergeordnete Rolle spielte. Aus dieser Erkenntnis folgt, dass an Ausleitungsstandorten ein sicher auffindbarer und passierbarer Abwanderkorridor an der Wasserkraftanlage unverzichtbar ist, um den Fischabstieg zu gewährleisten.
- Als der effizienteste Abwanderkorridor erwies sich am Auer Kotten der Weg über das nur episodisch für wenige Minuten geöffnete Spülschütz. Hier erzeugt die sich bei der Öffnung ausbildende Sogströmung günstige hydraulische Bedingungen, die die Auffindbarkeit und Akzeptanz des Abwanderpfades über den Leerschuss unterstützen.
- Es wurde darüber hinaus der Beleg erbracht, dass ein an die Abwanderperiode von Lachssmolts angepasster Öffnungsmodus des Spülschützes die Anzahl stromabwärtiger Passagen von Fischen dieser Art erheblich steigern kann. Blankaale und Wildfische profitieren hingegen von einem solchen Betriebsmanagement weniger.
- Weitere am Krafthaus des Auer Kotten von vielen Exemplaren frequentierte Abwanderkorridore sind der Schlitzpass und der nur 0,3 x 0,6 m große oberflächennahe Bypass. Während sich ersterer durch eine gute Anbindung an Strömung und Sohle im Turbinenobergraben sowie einen permanent offenen großen Einstieg auszeichnet, ist der zweite am Ende der Zuströmung zum Kraftwerk gelegene Abwanderpfad hydraulisch vom weitaus größeren Volumenstrom zur Turbine entkoppelt und deshalb für Fische noch vergleichsweise gut auffindbar, sofern er nicht mit Treibgut verlegt ist.
- Als weitgehend nutzlos haben sich der nahezu über den gesamten Projektzeitraum verlegte sohlennahe Bypass und der sogenannte Smoltbypass erwiesen.
- Die Situation der stromabwärts gerichteten Durchgängigkeit der Wupper wurde anhand von teilweise weit im Oberlauf besetzten Lachssmolts ermittelt. Demnach erreichte etwa ein Drittel der besetzten Exemplare den Unterlauf der Wupper.

1 VERANLASSUNG

Im aktuellen Bewirtschaftungsplan zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie für Nordrhein-Westfalen ist die Wupper explizit als Zielartengewässer für den Schutz und die Förderung der Populationen von Lachs *(Salmo salar)* und Aal *(Anguilla anguilla)* ausgewiesen, wovon auch potamodrome Arten profitieren sollen. Ein prioritäres Sanierungsziel liegt dabei auf der Wiederherstellung der stromauf- und -abwärts gerichteten Durchgängigkeit insbesondere an Wehrstandorten, an denen Strom aus Wasserkraft gewonnen wird (MUNLV 2009).

So wurde im Jahr 1999 etwa 5 km stromaufwärts der Mündung der Wupper in den Rhein das Ausleitungswehr der Reuschenberger Mühle mit einer großzügigen Fischaufstiegsanlage in Form einer Fischrampe in Riegelbauweise ausgestattet. Zudem wurde hier am Zusammenfluss von Turbinenuntergraben und Mutterbett eine Aufwandersperre errichtet, um die Fische zur Fischaufstiegsanlage am Wehr zu leiten.

Im Jahr 2009 wurde der Weiterbetrieb des stromaufwärts folgenden Wasserkraftwerks Widdert am Wehr Auer Kotten nur unter der Auflage erlaubt, dass ein 12 mm-Feinrechen mit horizontalen Stäben zum Schutz abwandernder Fischen vor dem Turbineneinlauf installiert wird und zwei neue Fischaufstiegsanlagen nebst diversen Bypässen gebaut werden, um abwandernden Fischen einen sicheren Abwanderkorridor unter Umgehung der Kraftwerksturbine zu eröffnen.

Um die Wirksamkeit dieser Maßnahmen zu monitoren, startete im Jahr 2013 die erste Phase des fischökologischen Projekts „HDX-Wupper“, in dem erstmals in einem nordrhein-westfälischen Fließgewässer die RFID-Technologie unter Einsatz von HDX-Transpondern eingesetzt wurde (Abb. 1). Im Fokus standen die Auf- und Abstiegsbewegungen von Fischen über sämtliche am Wasserkraftstandort Auer Kotten vorhandenen Wanderkorridore sowie das Umgehungsgerinne am etwa 40 Flusskilometer stromaufwärts gelegenen Wehr des Beyenburger Stausees. Beide Standorte wurden mit HDX-Technik ausgestattet. Ergänzend wurde die Wirksamkeit der Aufwandersperre der Reuschenberger Mühle im Rahmen einer Elektrobefischung im Unterwassergraben des Krafthauses überprüft (ENGLER & ADAM 2013). Die bei dieser Aktion sowie in anderen Wupperabschnitten elektrisch gefangenen Wildfische, ergänzt um Lachssmolts aus der Fischzucht des LANUV in Albaum und Blankaale von der Mosel, wurden mit einem HDX-Transponder individuell gekennzeichnet und an ausgewählten Stellen in die Wupper entlassen. Damit waren die Voraussetzung geschaffen, die Ortsbewegungen der transpondierten

Exemplare mittels der installierten HDX-Antennen kontinuierlich, zeit- und ortsgenau sowie unter allen Umweltbedingungen und vor allem schonend für die Fische nachvollziehen zu können. Alle in Projektphase I erarbeiteten Ergebnisse sind im Internet publiziert (ENGLER & ADAM 2014).

Da sich das methodische Vorgehen in Phase I des Projekts als außerordentlich zielführend erwiesen und zahlreiche neue Erkenntnisse erbracht hatte, wurde das Projekt von der Bezirksregierung Düsseldorf um eine zweite Phase verlängert. Der letzte Datenabruf erfolgte hierbei am 10. 07. 2018. Im Rahmen der zweiten Projektphase wurden nicht nur die HDX-Anlagen am Auer Kotten und am Beyenburger Stausee weiter betrieben, sondern zusätzlich die Fischaufstiegsanlagen dreier weiterer Wasserkraftstandorte mit HDX-Antennen ausgestatten. Auf diese Weise wurden in Projektphase II etwa drei Jahre lang die Fischbewegungen am Auer Kotten, in Glüder (synonym Neuenkotten), am Schaltkotten, in Buchenhofen und am Beyenburger Stausee überwacht. Hierfür waren wiederum Fische verschiedener Gilden mit HDX-Transpondern markiert und an mehreren Stellen in der Wupper ausgesetzt worden.

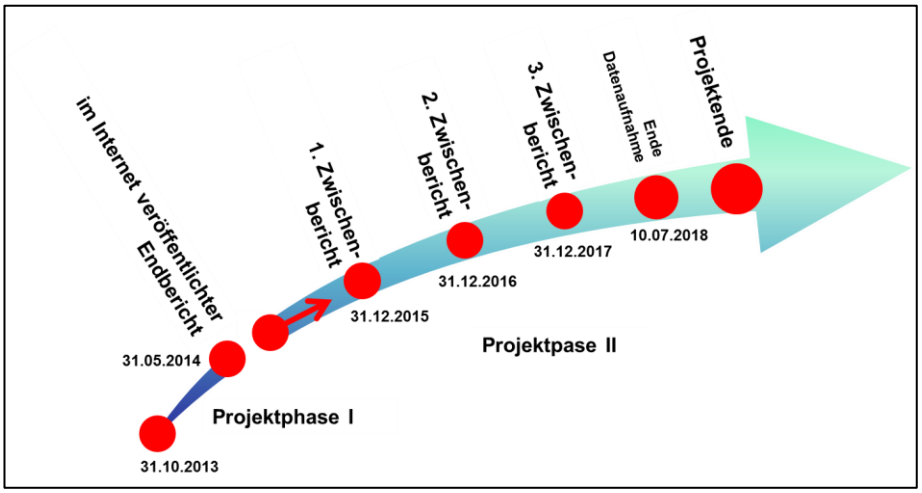


Abb. 1: Projektablauf

Somit wurde über eine Projektlaufzeit von über 4,5 Jahren an fünf Wehrstandorten über eine Distanz von etwa 65 Flusskilometern in der Wupper das Auf- und Abstiegsgeschehen von Fischen unterschiedlicher Wandergilden lokal und großräumig mit der HDX-Technik überwacht. Im Zentrum stand letztlich die Frage nach der Wirkweise und Effizienz der vorhandenen Fischschutz-, Fischauf- und -abstiegsanlagen. Daneben interessierte auch das Verhalten von Lachssmolts, Lachs-, Meerforellen- und Flussneunaugen-Rückkehrern aus

der Gilde anadromer Arten, von abwanderwilligen katadromen Aalen sowie potamodromen Wildfischen. Schließlich galt es, Erfahrung und Erkenntnisse über die Einsetzbarkeit der HDX-Technik für fischökologische Freilanduntersuchungen zu gewinnen.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit diesen verschiedenen Fragestellungen, die im Rahmen des fischökologischen Monitorings „HDX-Wupper“ an den verschiedenen Standorten in unterschiedlicher Tiefe untersucht worden waren. Im Sinne der Vollständigkeit wurden auch die Befunde ergänzender Untersuchungen in den vorliegenden Endbericht aufgenommen, zumal diese maßgeblich dazu beitragen, ein Gesamtbild von der Situation der Durchgängigkeit der Wupper zu vermitteln.

Der vorliegende Endbericht fokussiert neben der Beschreibung der Methoden und des Projektgebietes mit den verschiedenen Untersuchungsstandorten vor allem auf die zahlreichen „allgemeinen biologischen Grundlagen“ über die betrachteten Fischarten bzw. ihre Wanderstadien sowie ihre „Aufwanderung“ und „Abwanderung“ in der Wupper. Jedes Kapitel zu diesen Hauptaspekten schließt mit einer Schlussfolgerung ab, die primär die praktische Relevanz der gewonnenen Erkenntnisse betrachtet.

Mit Rücksicht auf die Übersichtlichkeit des Endberichts wird auf eine Wiederholung vieler methodischer Ausführungen verzichtet, z. B. über Modifizierungen der technische Ausstattung an den einzelnen HDX-Standorten im Laufe des fischökologischen Monitorings, das genaue Vorgehen bei den Elektrobefischung zur Beschaffung von Fischen oder weitere Erkenntnisse von nachrangiger Bedeutung. Diese Informationen sind den diversen Zwischenberichten zum Projekt zu entnehmen (ENGLER & ADAM 2013, ENGLER et al. 2016, 2018, SCHWEVERS et al. 2017), die beim Dezernat 54 Wasserwirtschaft der Bezirksregierung Düsseldorf vorliegen.

2 METHODE

2.1 PROJEKTGEBIET

Die Wupper ist ein 116 km langer, rechter Zufluss des Rheins mit einem 813 km² großen Einzugsgebiet, das den nordwestlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges entwässert. Der kleine Fluss mündet nach der Aufnahme seines letzten Zuflusses Dhünn mit einer durchschnittlichen Wasserführung von 17,3 m³/s bei Leverkusen in den Rhein. Hydrologisch lässt sich die Wupper am etwa 26 km stromauf der Mündung gelegenen Pegel Glüder durch die in Tab. 1 aufgeführten Hauptkennzahlen charakterisieren.

Tab. 1: Hydrologische Hauptkennzahlen der Wupper am Pegel Glüder für die Jahre 1959 bis 2003 (aus: LUA 2003)

Abfluss	Wert
NQ (11. 10. 1959)	1,76 m³/s
MNQ	4,46 m³/s
Q30	5,34 m³/s
MQ	13,5 m³/s
Q330	26,9 m³/s
MHQ	122 m³/s
HQ (23. 02. 1970)	204 m³/s

Das Projektgebiet in der Wupper erstreckt sich auf die Untere Wupper von dem 4 km stromauf der Mündung gelegenen Ausleitungsstandort Reuschenberger Mühle bis stromauf der Stauhaltung des Beyenburger Stausees bei Dahlerau bei Wupper-km 70 (Abb. 2). Auf dieser etwa 65 km langen Strecke wurden die Wasserkraftstandorte Auer Kotten, Glüder (synonym Neuenkotten), Schaltkotten, Buchenhofen und Beyenburger Stausee mit HDX-Technik ausgestattet. Darüber hinaus fand am Standort Reuschenberger Mühle eine Untersuchung zur Wirksamkeit einer Aufwandersperre in Verbindung mit einer Fangkampagne zur Beschaffung von Fischen für das fischökologische Monitoring „HDX-Wupper“ statt.

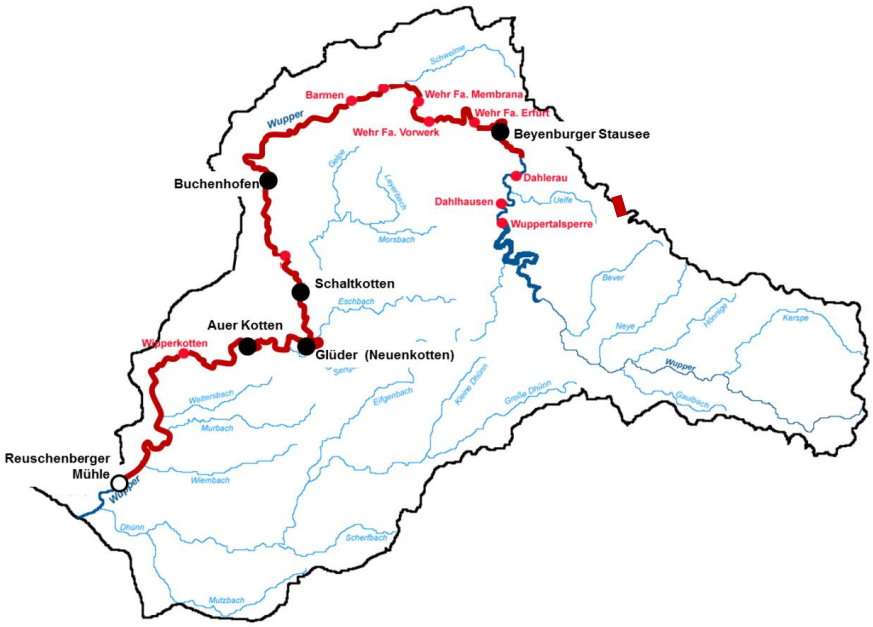


Abb. 2: Einzugsgebiet der Wupper mit allen Wehrstandorten (rote Punkte); hervorgehoben sind das Projektgebiet (rote Linie) und die im Fokus stehenden Standorte: HDX-Standorte (schwarze Punkte) sowie ergänzende Aktivitäten an der Reuschenberger Mühle (schwarzer Kreis)

Um die mit der HDX-Technologie erarbeiteten Daten und Befunde interpretieren zu können, wurden diese nicht nur mit den bauwerksspezifischen Gegebenheiten am jeweiligen Untersuchungsstandort, sondern auch mit Umweltdaten verschnitten. Dazu wurden Informationen über Pegelstände und Wassertemperaturen der Wupper als ungeprüfte Rohdaten u. a. von den Pegeln Opladen und Glüder aus dem Internet entnommen (http://luadb.lds.nrw.de/LUA/hygon/pegel.php?karte=nrw). Zusätzliche Daten zum Abfluss sowie zur Gewässerstationierung der Wupper wurden aus dem Fachinformationssystem ELWAS bezogen (www.elwasweb.nrw.de).

Während die Abflussbedingungen in der Wupper in den Projektjahren 2015 und 2017 mit Hochwässern vor allem in den Wintermonaten Dezember bis März und einer sommerlichen Niedrigwasserperiode von etwa Juli bis September durchschnittlich und damit „normal“ verliefen, war die zweite Jahreshälfte 2016 bis in den Winter hinein vergleichsweise trocken (Abb. 3). Ebenso war das Jahr 2018, abgesehen von sehr kurzen Hochwasserwellen bedingt durch einzelne Starkregenereignisse in der ersten Jahreshälfte, insgesamt sehr trocken. So wurden am Pegel Glüder zum Abschluss des HDX-Projekts im Juli 2018 die geringsten Wasserstände von im Mittel etwa 40 cm verzeichnet. Die maximalen Wasserstände von etwa 240 cm traten während einer Hochwasserperiode im November und Dezember 2015 und bei einem Starkregenereignis am 29. Mai 2018 auf.

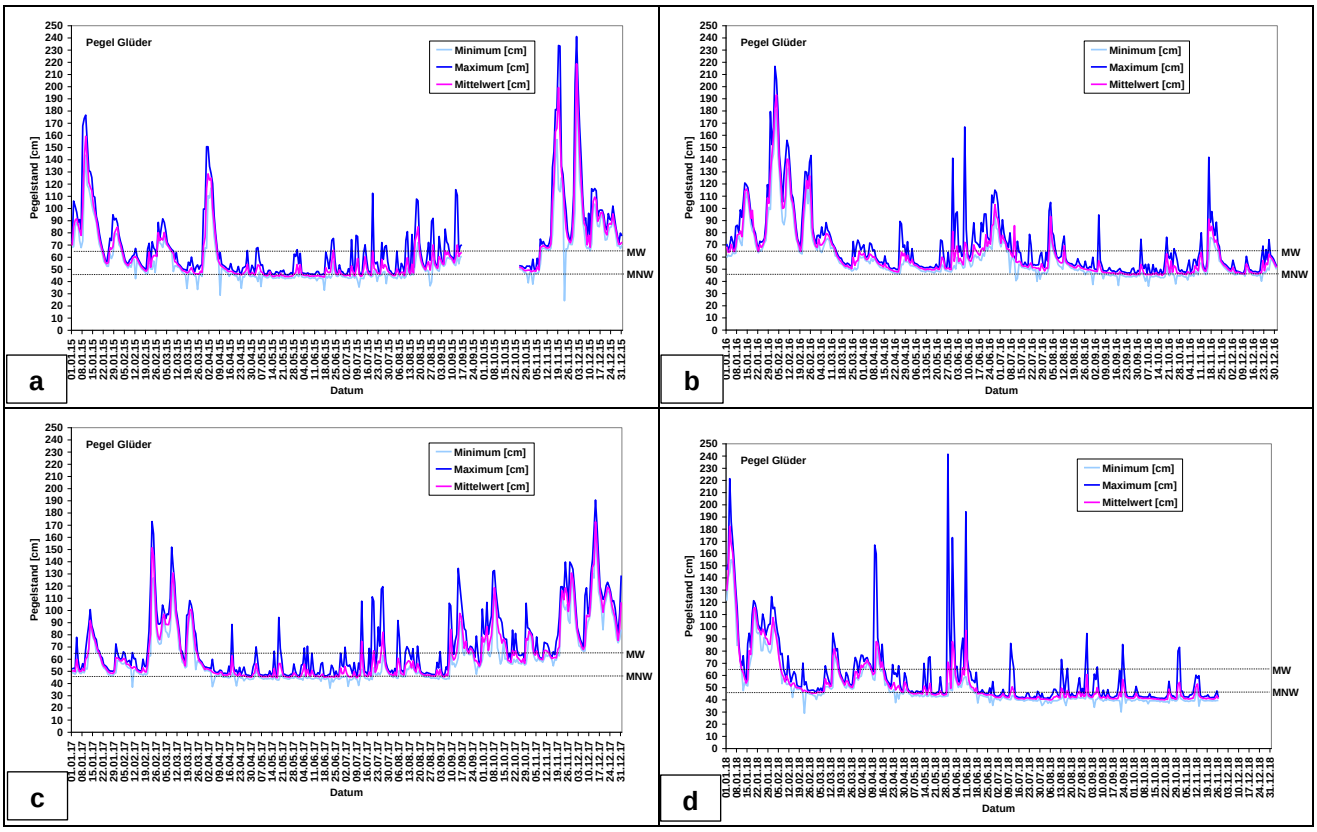


Abb. 3: Vergleich der Ganglinie des Wasserstandes der Wupper am Pegel Glüder: a) 2015, b) 2016, c) 2017 und d) 2018 (ungeprüfte Rohdaten)

Die mittlere Wassertemperatur der Wupper bewegte sich am Pegel Opladen im Unterlauf der Wupper insgesamt zwischen 1,4 °C am 01. März 2018 und 24,9 °C am 04. Juli 2015 (Abb. 4). Ende Februar bis Anfang März begann in der Regel der Anstieg der Wassertemperatur. Die z. B. von JONSSON (1991) als Auslöser für die Aufwanderung von Fischen im Frühjahr angegebene Temperaturschwelle von 8 °C wurde in den Untersuchungsjahren spätestens Mitte März überschritten. Die sommerlichen Höchsttemperaturen wurden im Unterlauf der Wupper normalerweise im Juli und August erreicht; im Jahr 2017 war dies allerdings bereits ab Juni der Fall.

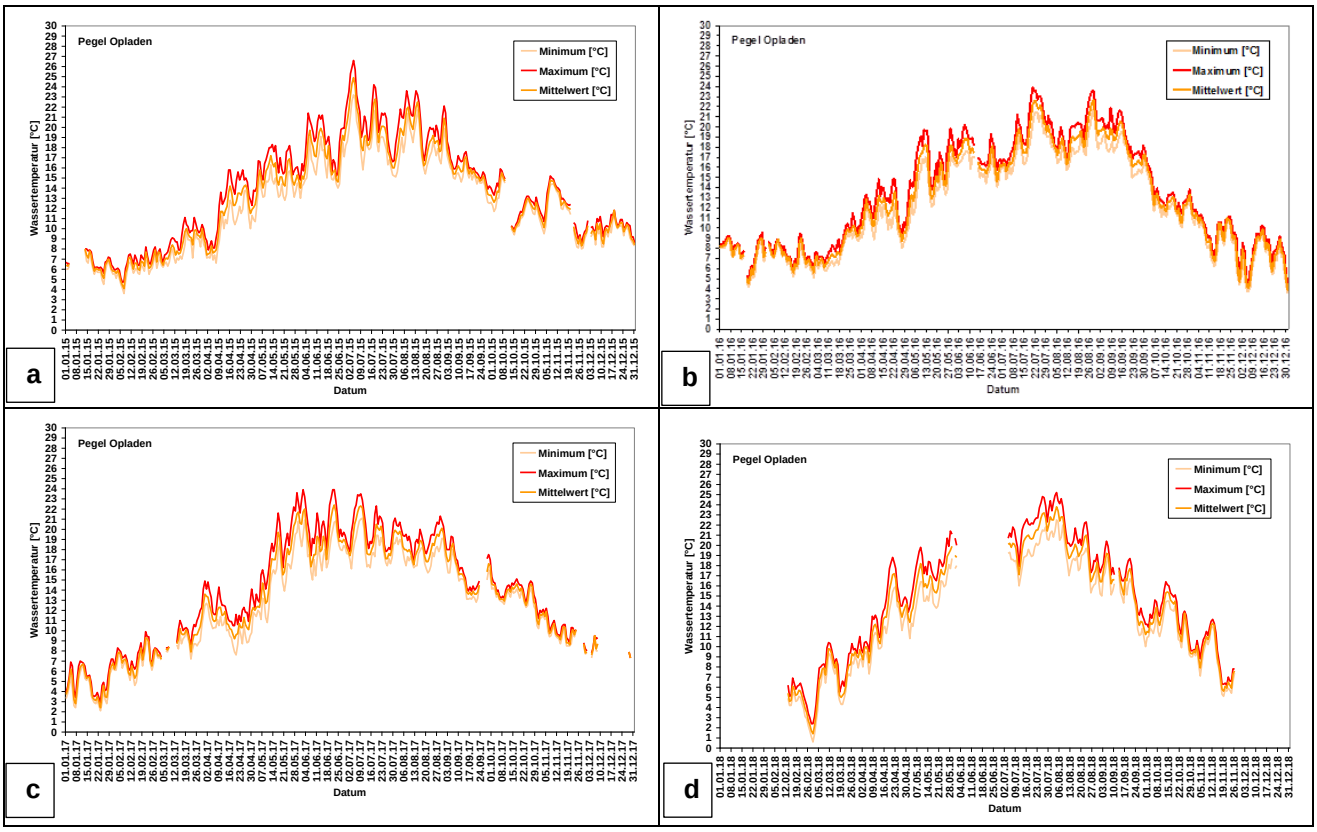


Abb. 4: Vergleich der Ganglinie der Wassertemperatur in der Wupper am Pegel Opladen: a) 2015, b) 2016, c) 2017 und d) 2018 (ungeprüfte Rohdaten)

2.2 HDX-TECHNOLOGIE

2.2.1 HDX in der Fischökologie

Bei der erstmals in NRW in der Wupper eingesetzten Methode handelt es sich mit HDX (Half DupleX) um eine technische Variante der RFID-Technologie (Radio Frequency IDentification) (FINKENZELLER 2015). Das Funktionsprinzip besteht dabei in einer funktechnischen Interaktion eines HDX-Transponders auf einer Frequenz von 134,2 kHz mit einer HDX-Antenne (Abb. 5): Gelangt ein solcher mit einer Spule für die Energieaufnahme ausgestatteter HDX-Transponder in den Schwingkreis einer HDX-Antenne wird er durch magnetisch-induktive Kopplung aktiviert. Derart energetisch aufgeladen sendet der Transponder einen als Signal verschlüsselten Identifikationscode (ID-Code) aus, der von der Antenne empfangen und an ein Lesegerät weiter geleitet wird. Das Lesegerät entschlüsselt den Code und übergibt ihn mit dem Datum und der Uhrzeit der Detektion sowie der Nummer der Antenne an einen PC, der alle solcherart registrierten ID-Codes protokolliert. Damit dieses Grundprinzip funktioniert, wird zwischen der Antenne und ihrem Lesegerät

ein sogenannter Tuner benötigt, der einerseits den Schwingkreis der Antenne aufbaut und andererseits über eine Twinaxleitung die Datenübertragung steuert.

Die Wahrscheinlichkeit mit der ein Transponder von einer Antenne gelesen wird, ist umso größer, je mehr Energie seine Spule aufnehmen und ein entsprechend starkes Signal aussenden kann. Zudem ist es für eine optimale Detektion des ID-Codes entscheidend, dass der Transponder den Schwingkreis der Antenne möglichst orthogonal passiert. Da kleinere Fische entsprechend ihrer Größe stets mit kleineren Transpondern markiert werden und oft weniger exakt gegen die Strömung ausgerichtet leicht schräg eine HDX-Antenne passieren, werden kleine HDX-Transponder grundsätzlich weniger verlässlich registriert, als große.

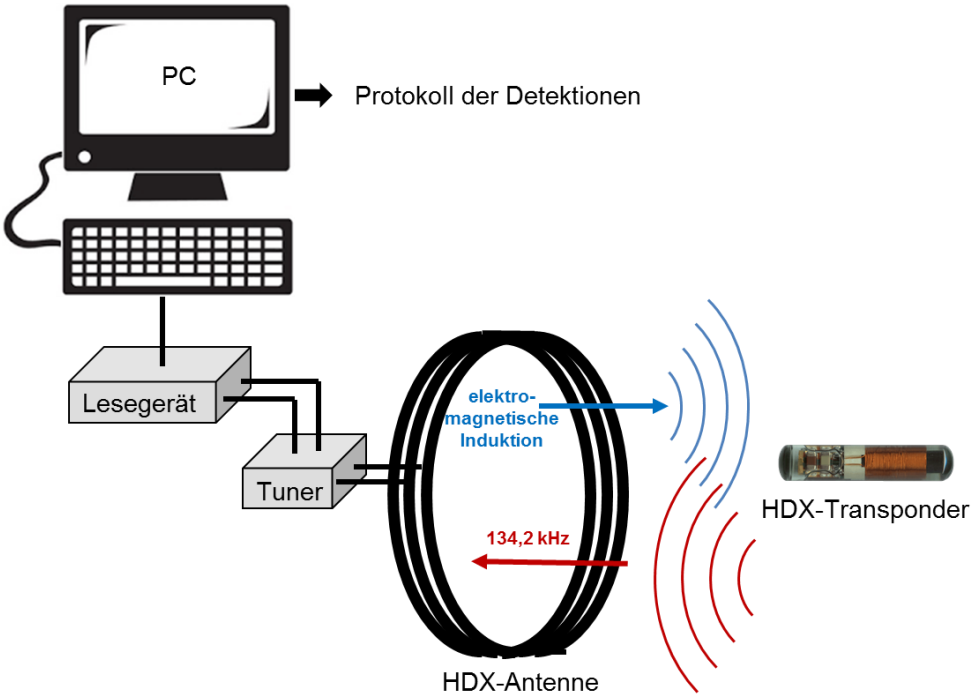


Abb. 5: Funktionsprinzip der HDX-Technologie (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Für das fischökologische Monitoring wurden Tiertransponder eingesetzt, die auch als PIT-Tags (Passive Integrated Transponder) bezeichnet werden. Hierbei handelt es sich um ein von Bioglas ummanteltes Implantat mit einem Ferritkern und einer Kupferspule im Inneren (Abb. 6). Ein Transponder ist mit einem mehrstelligen, unverwechselbaren Code programmiert. An der Wupper wurden HDX-Transponder in den Längen 23 und 32 mm mit jeweils einem Durchmesser von 3,9 mm intraabdominal, d. h. in die Bauchhöhle des Fisches appliziert (Abb. 7, ADAM et al. 2013).

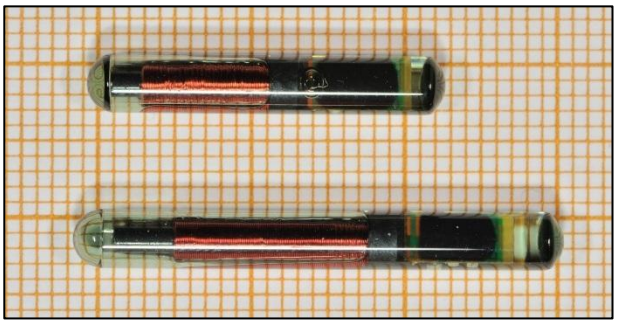


Abb. 6: HDX-Transponder der Größen 23 und 32 x 3,9 mm (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 7: Applikation eines HDX-Transponders in die Bauchhöhle eines Fisches (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Eine HDX-Antenne besteht aus einem spulenartig in eine oder mehrere Windungen gelegten, multifilen Kabel, dessen Querschnitt je nach den Anforderungen am Ort der Installation variiert. Die RFID-Technik funktioniert nur, wenn der Schwingkreis der HDX-Antenne perfekt auf die Frequenz des HDX-Transponders abgestimmt, d. h. getunt ist. Alle im Rahmen des Projekts verwendeten HDX-Antennen wurden vom Institut für angewandte Ökologie selbst gebaut, getunt, installiert und gewartet, sowie bei Bedarf repariert oder erneuert.

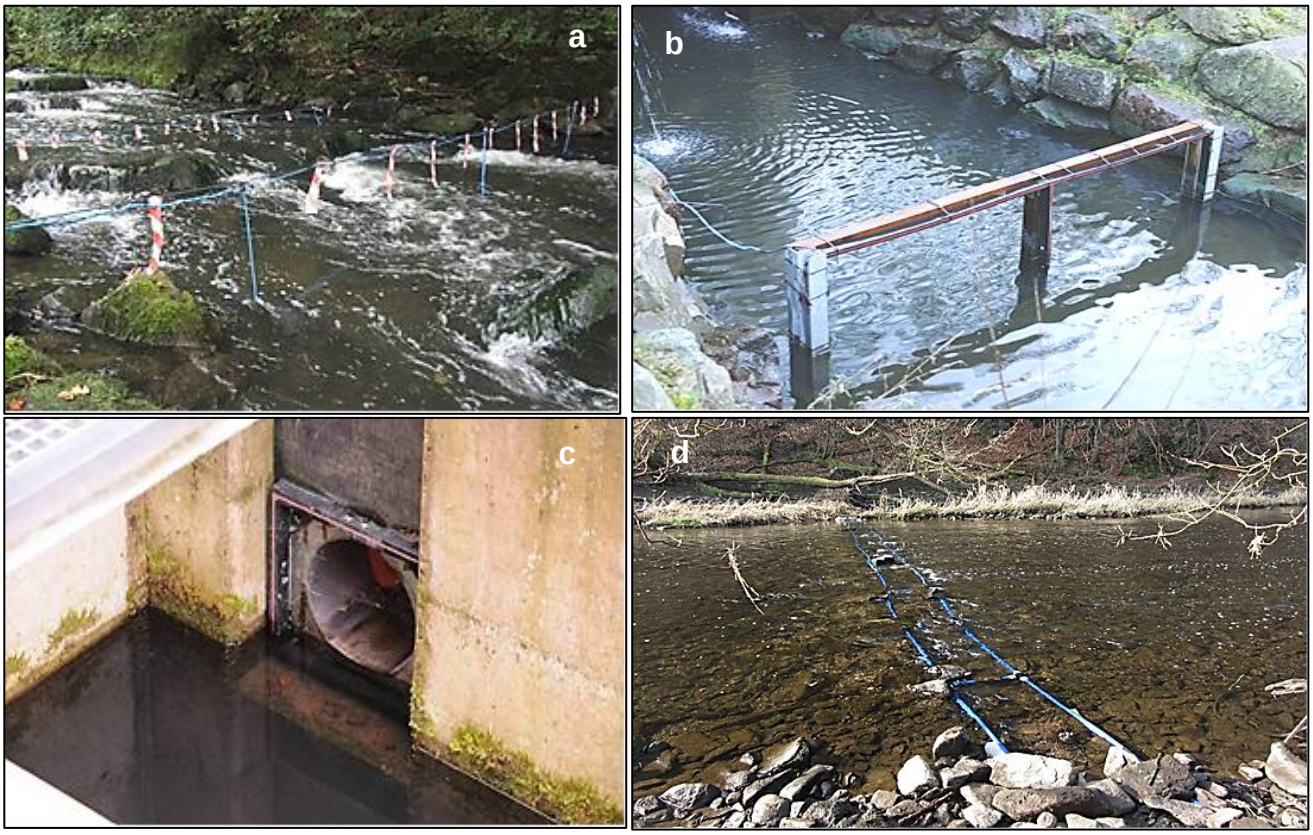


Abb. 8: Konstruktionstypen von HDX-Antennen: a) „schwimm durch“-Antenne als Seilkonstruktion, b) stabile „schwimm durch“-Doppelantenne aus einem Holzrahmen, c) kleine „schwimm durch“-Rahmenantenne aus Polyethylen, d) „schwimm drüber“-Antenne in Strickleiterbauweise (Fotos: Institut für angewandte Ökologie)

Entsprechend der jeweils vor Ort vorhandenen Installationsmöglichkeiten wurden an der Wupper insgesamt 28 sogenannte „schwimm durch“ und 3 „schwimm drüber“-Antennen verbaut (Abb. 8). An den Einlauftoren des Auer Kotten wurden die 6 Rahmenantennen als 3 Doppelantennen betrieben. Die größte an der Wupper installierte „schwimm durch“-Antenne wies Abmessungen von 6,45 x 2,7 m auf und war im Dammbalkenschacht am Auslauf der Turbine des Krafthauses Auer Kotten installiert. Die längsten „schwimm drüber“-Antennen überwachten die jeweils etwa 20 m breiten Gewässerquerschnitte in den Mutterbetten des Auer Kotten und des Kraftwerks Schaltkotten. Die größten gemessenen Reichweiten, in denen Transponder registriert wurden erreichten „schwimm durch“-Antennen mit jeweils bis zu 1,5 m vor und hinter dem Antennenrahmen; die geringsten Reichweiten wiesen die „schwimm-drüber“-Antennen mit maximal 30 cm auf, wobei deren Detektionsfeld Fische nur in einer Richtung registrieren kann (Abb. 9).

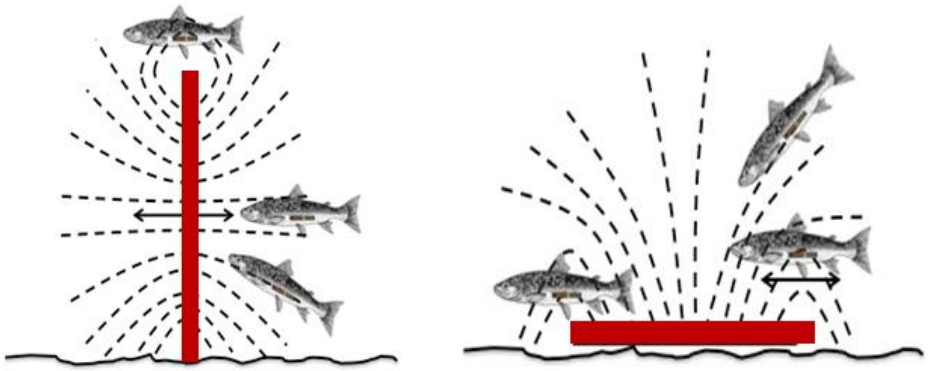


Abb. 9: Vergleich der Ausdehnung des Detektionsfeldes einer „schwimm durch“ (links) und einer „schwimm drüber“-Antenne (rechts) (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Jeder Tuner war in ein spritzwasserdichtes Gehäuse eingebaut, das möglichst hochwassersicher befestigt wurde (Abb. 10). Die übrigen für den Betrieb einer HDX-Anlage an einem Standort benötigten technischen Komponenten wie ein Netzteil für die Spannungsversorgung, das zu einer jeden Antenne gehörende Lesegerät, ein PC für die Datenaufnahme sowie diverse Sicherungsautomaten waren in einem belüfteten resp. beheizbaren Schaltschrank untergebracht (Abb. 11). Es sei an dieser Stelle betont, dass das Institut für angewandte Ökologie über eine eigene Software verfügt, um die zwischen den verschiedenen Antenneneinheiten und dem PC eingesetzte RS 485 Schnittstelle steuern zu können: Dieser Treiber ermöglicht es, bis zu 36 HDX-Antennen zeitgleich mit nur einem PC zu betreiben, während die weltweit zur Verfügung stehende handelsübliche Software lediglich 4 Antennen gleichzeitig ansteuern kann.

Abb. 10: Hochwassersicher aufgeständerte Tunerboxen; links mit geöffnetem Deckel (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

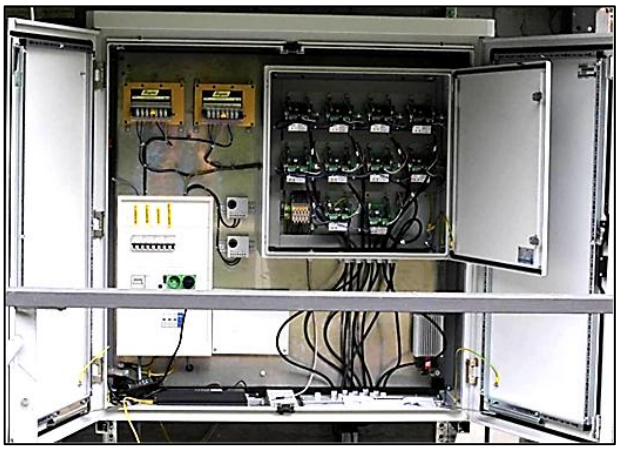


Abb. 11: Blick in einen HDX-Schaltschrank (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.2.2 Zuverlässigkeit der HDX-Technik

Über die gesamte Laufzeit des Projekts haben die insgesamt 31 HDX-Antennen im Wuppersystem vergleichsweise zuverlässig gearbeitet, wenngleich an 15 % von insgesamt 37.323 Betriebstagen über die Projektlaufzeit aus unterschiedlichen Gründen keine Fische detektiert werden konnten (Abb. 12). Die meisten Störungen traten nach Hochwässern auf, denen immer wieder die weniger robusten Kabel- und Strickleiterantennen zum Opfer fielen (Abb. 13). Zudem verursachten Stromabschaltungen der Kraftwerke im Rahmen von Wartungs- und Umbauarbeiten sowie unvorhersehbare Stromausfälle in nennenswertem Umfang Datenverluste.

Abb. 12: Ursachen für Ausfälle der HDX-Antennen

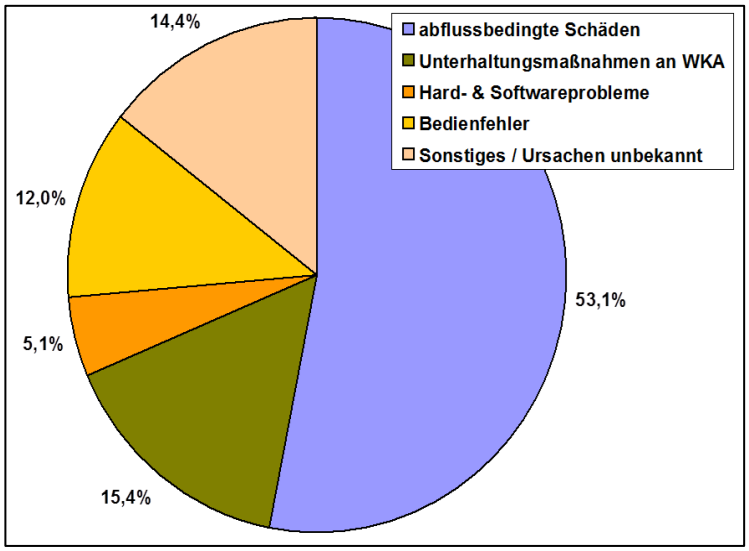


Abb. 13: Durch Hochwasser und Treibgut zerstörte Rahmenantenne und Tunerbox (Fotos: Institut für angewandte Ökologie)

Ein großer Anteil der Ausfallzeiten entfiel von Projektbeginn bis Februar 2016 vor allem auf die im Leerschuss des Auer Kotten als Seilkonstruktion installierte HDX-Antenne (Antenne Nr. 5, Abb. 14), die bei Spülvorgängen durch mitgeführtes Treibgut immer wieder zerstört wurde. Um hier Abhilfe zu schaffen wurde zu beiden Ufern des Leerschusses ein U-Profil in die Sohle gerammt und mit Beton verklammert (Abb. 15, Wasserbauunternehmen Fa. Balter). Die beiden Profile nahmen einen 10 x 10 cm starken Holzrahmen auf, an dessen Rückseite die HDX-Antenne angeschlagen war (Abb. 8b). Nach diesem Umbau arbeitete die nun eingesetzte stabilere Rahmenantenne bis zum Ende des Projekts unterbrechungsfrei.

Abb. 14: Durch Spülvorgänge wurde die zuerst im Leerschuss des Auer Kotten installierte Seilantenne Nr. 5 immer wieder zerstört (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

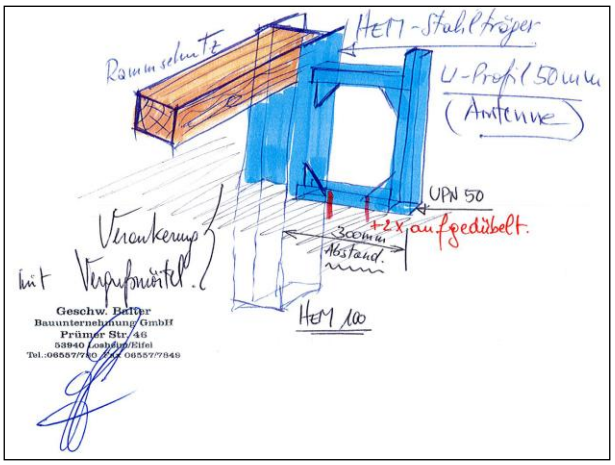


Abb. 15: Skizze einer stabilen Halterung für eine HDX-Rahmenantenne mit Prallschutz (Quelle: Firma Balter)

Die Lesequote ist ein sehr aussagekräftiger Wert hinsichtlich der Sicherheit und Verlässlichkeit, mit der ein transpondierter Fisch von einer HDX-Antenne registriert wird. Im Rahmen des Projekts wurde die Lesequote für eine jede HDX-Antenne ermittelt, indem die Passagen markierter Fische durch mindestens zwei Antennen im Verlauf desselben Wanderwegs miteinander verglichen wurden: Alle Individuen, die die 2. Antenne erreicht haben, müssen zuvor die 1. Antenne passiert haben. Der Anteil der Fische, die vor ihrer Detektion an der 2. Antenne von 1. Antenne erfasst wurden, ist somit die Lesequote der 1. Antenne:

$$\text{Lesequote}_{\text{Antenne1}} = \frac{\text{Detektionen}_{\text{Antenne1}}}{\text{Detektionen}_{\text{Antenne2}}}$$

Schlussfolgerung:

Die Lesequote der „schwimm durch“ HDX-Antennen in Rahmenbauweise betrug je nach Antennen- und Transpondergröße 91 bis 100 %. Für Seilantennen waren die Lesequoten mit 64 bis 92 %, d. h. mit durchschnittlichen 80 % etwas niedriger, was Ausdruck der geringeren Stabilität dieses Konstruktionstyps ist, da die beiden vertikalen Stränge der Wicklung des flexiblen Antennenkabels niemals exakt parallel zueinander verlaufen. Mit maximal 70 % Lesewahrscheinlichkeit erwiesen sich „schwimm drüber“ Antennen als am wenigsten zuverlässig, was sich alleine schon mit ihrer vergleichsweise geringeren Detektionsreichweite von der Gewässersohle zur Wasseroberfläche erklären lässt.

2.2.3 Berechnung der Auf- und Abstiegsgeschwindigkeit von Fischen

Die zeitlich präzise Detektionen von Fischen an HDX-Antennen erlaubt Auswertungen, wie die Ermittlung der Geschwindigkeit, mit der Fische definierte Strecken sowohl in stromauf-, als auch in stromabwärtiger Richtung überwinden. So ist die Aufstiegsgeschwindigkeit $v_{Aufstieg}$ ein wichtiges Maß für die Funktion einer Fischaufstiegsanlage und die Abstiegsgeschwindigkeit $v_{Abstieg}$ für Bypässe und andere Abwanderkorridore. Beide Parameter werden anhand der von HDX-Antennen jeweils am Ein- und Ausstieg eines Wanderkorridors aufgezeichneten Zeitmessungen redetektierter Fische wie folgt berechnet:

$$v = \frac{\text{Distanz}}{\text{Aufstiegsdauer}} = \frac{\text{Antenne}_{\text{Nachweis2}} - \text{Antenne}_{\text{Nachweis1}}}{\text{Zeitpunkt}_{\text{Nachweis2}} - \text{Zeitpunkt}_{\text{Nachweis1}}}$$

2.3 UNTERSUCHUNGSSTANDORTE

2.3.1 Reuschenberger Mühle

An diesem Ausleitungsstandort nahe der Wuppermündung waren zu Beginn des Projekts im November 2013 aufwandernde Wildfische im Turbinenuntergraben des Kraftwerks per Elektrofischerei gefangen worden. Zudem war am oberwasserseitigen Ausstieg der Fischaufstiegsanlage am Ausleitungswehr über fast 4 Wochen bei widrigsten Witterungsbedingungen eine große Garnreuse exponiert, um Aufwanderer abzufangen. Solcherart gefangene Exemplare hinreichender Größe wurden mit einem HDX-Transponder individuell markiert und in der Stauhaltung, d. h. 17 km stromabwärts vom Auer Kotten wieder in der Wupper entlassen (Abb. 16 und 17).

Abb. 16: Fangkampagne mit Garnreuse im Oberwasser der Fischaufstiegsanlage am Wehr Reuschenberger Mühle (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 17: Markierung von Wildfischen an der Reuschenberger Mühle (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Die Befischung in dem 7 m breiten und 750 m langen Turbinenuntergraben wurde bei gedrosseltem Wasserkraftwerk durchgeführt. Sie diente der Überprüfung der Wirksamkeit einer im Jahr 1999 parallel zum Bau der Fischaufstiegsanlage am Ausleitungswehr errichteten Aufwandersperre, die etwa 20 Meter oberhalb des Zusammenflusses von Turbinenuntergraben und Mutterbett positioniert ist (Abb. 18). Die Aufwandersperre war errichtet worden, um aufwandernden Fischen das Einschwimmen in den Turbinenuntergraben hinein zu verwehren und sie stattdessen zu veranlassen, über das Mutterbett zur Fischaufstiegsanlage am Ausleitungswehr aufzusteigen. Die Aufwandersperre besteht aus einem in Fließrichtung leicht ansteigenden Tiroler Rechen, der einen etwa 1 m tiefen Kolk überkragt (Abb. 19). Das Bauwerk erzeugt einen etwa 0,4 m hohen Überfall, der für Fische

nicht überwindbar sein soll (Abb. 20). Die Ergebnisse dieser Funktionsuntersuchung sind sowohl in einem separaten Zusatzbericht detailliert dargestellt (ENGLER & ADAM 2013), als auch in knapper Form im vorliegenden Endbericht zum fischökologischen Monitoring „HDX-Wupper“ (Kap. 4.2).

Abb. 18: Aufwandersperre am Zusammenfluss von Mutterbett und Turbinenuntergraben des Wasserkraftstandortes Reuschenberger Mühle (Quelle: Google Earth)

Abb. 19: In Fließrichtung ansteigendes Tiroler Wehr (Foto: www.floecksmuehle.com/img/e23fbee9fb9accd6.pdf / November 2013)

Abb. 20: Gefällesprung an der Aufwandersperre der Reuschenberger Mühle (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.3.2 Auer Kotten

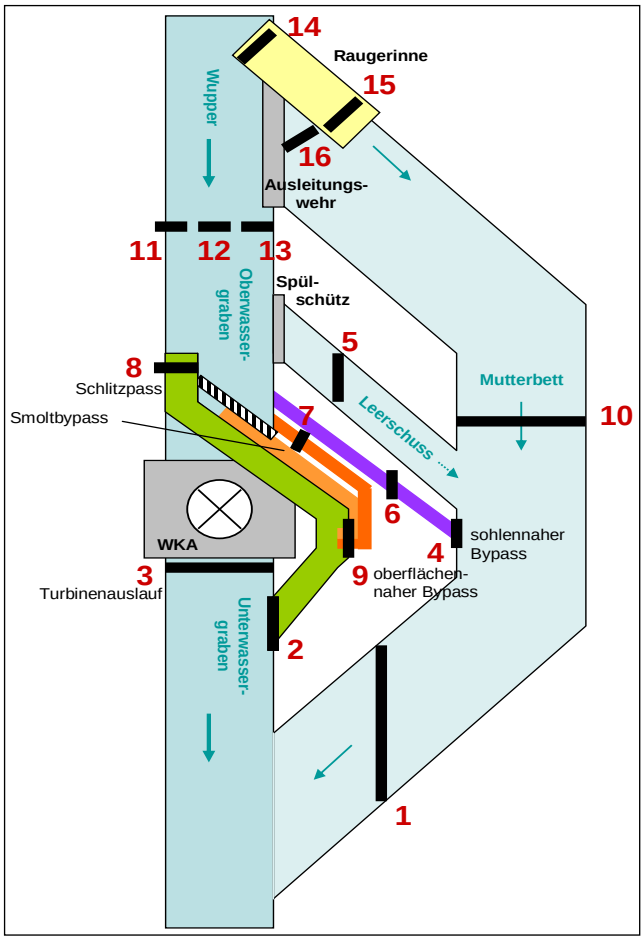
Beim Auer Kotten handelt es sich um einen Ausleitungsstandort mit einer privat betriebenen Wasserkraftanlage. An diesem Standort gingen im Jahr 2010 zur Gewährleistung des Fischaufstiegs zwei neue Fischpässe an Ausleitungswehr und Krafthaus in Betrieb. Zudem wurde zum Schutz abwandernder Fische vor dem Turbineneinlauf, und hier schräg zur Anströmung, ein Rechen mit horizontalen Rechenstäben mit einer lichten Weite von nur 12 mm installiert. Drei neue Bypässe waren zudem als Abwanderkorridore eingebaut worden. Die fischökologisch relevanten Eckpunkte der verschiedenen Bauwerkskomponenten einschließlich der verschiedenen Auf- und Abstiegskorridore sind Tab. 2 zu entnehmen.

Tab. 2: Fischökologisch relevante Bauwerkskomponenten am Auer Kotten

Bauwerksbestandteil	**Kennwert**
Breite des Ausleitungswehrs	ca. 70 m
Fallhöhe Ausleitungswehr	1,85 m
Ausbaudurchfluss	14 m^3/s
Turbinenleistung WKA	340 kW
Anzahl Turbinen	1
lichte Weite des Schrägrechens mit horizontalen Stäben	12 mm
Länge des Schrägrechens	26,25 m
Winkel des Schrägrechens zur Anströmung	30°
Länge Mutterbett	ca. 450 m
Mindestwasser	1,2 m^3/s (500 l/s Fischpass, 700 l/s Wehr plus Sickerwasser)
Länge Oberwassergraben	ca. 300 m
Länge Unterwassergraben	60 m
Länge Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr	ca. 40 m
Anzahl beckenartiger Strukturen Raugerinne-Beckenpass	13
Betriebswasservolumen Raugerinne-Beckenpass	500 l/s
Länge Schlitzpass am Krafthaus	ca. 100 m
Anzahl Becken Schlitzpass	25
Betriebswasservolumen Schlitzpass	400 l/s
oberflächennaher Bypass	0,3 m x 0,6 m
sohlennaher Bypass	Ø 0,3 m
Smoltbypass	(B x H) 12 x 0,6 m über dem Turbineneinlauf mit 35 mm-Gitter zum Schutz vor Treibgut

Vom 31. 10. 2013 bis 10. 07. 2018 überwachten an diesem Standort 16 HDX-Antennen nicht nur die verschiedenen Fischwege und Bypässe, sondern auch den Eingang in den Turbinenobergraben und den Turbinenauslauf, das Mutterbett, einen Teil des Wehrfußes und den mit einem Spülschütz verschlossenen Leerschuss (Abb. 21).

Aufgrund der Distanz von mehr als 350 m zwischen Ausleitungswehr und Krafthaus mussten am Auer Kotten zwei unabhängig voneinander arbeitende HDX-Anlagen mit jeweils einem separaten PC installiert werden. Detailinformationen zu den Antennen finden sich in Anhang II.



Nr. 1 und 10	Mutterbett
Nr. 3	Turbinenauslauf
Nr. 2 und 8	Schlitzpass am Kraft-haus
Nr. 6 und 4	sohlennaher Bypass
Nr. 7 und 9	oberflächennaher Bypass
Nr. 9	Smoltbypass mit einem 35-mm Schutz-gitter
Nr. 5	Leerschuss stromab dem Spülschütz
Nr. 11, 12 und 13	Einlauf in den Turbinenobergraben
Nr. 14 und 15	Raugerinne-Becken-pass am Ausleitungs-wehr
Nr. 16	Wehrfuß

Abb. 21: HDX-Antennen in den diversen Wanderkorridoren am Auer Kotten (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Dem Spülschütz am Leerschuss in Verlängerung des Schrägrechens kam eine besondere Bedeutung zu, da über diese sich episodisch öffnende Klappe nicht nur das vom Rechen-reiniger erfasste Treibgut und Geschwemmsel ins Unterwasser gespült, sondern auch Fischen ein Abwanderkorridor eröffnet wird. Um diese Abstiegsmöglichkeit zu optimieren

vereinbarte die Bezirksregierung Düsseldorf mit dem Betreiber des Wasserkraftwerks im Laufe des Projekts, dass das Spülschütz in der Abwandersaison von Aalen und Lachssmolts häufiger geöffnet wird, als dies aus betrieblichen Gründen notwendig wäre (Tab. 3). Die Absenkung des etwa 60 cm überstauten Spülschützes zur Freigabe des Abstiegsweges dauert etwa zwei Minuten. Vom Kraftwerksbetreiber wurden dankenswerter Weise die Betriebsaufzeichnungen über die Spülvorgänge ausschnittsweise zur Verfügung gestellt, um die Öffnungszeiten mit den von den HDX-Antennen dokumentierten Abstiegsereignisse vergleichen zu können.

Tab. 3: Betriebsmanagement des Spülschützes am Auer Kotten seit 2016

Zeitraum	Maßnahme	Intervall	Uhrzeit
01.09. bis 31.05.	vollständige Absenkung des Spülschützes	mind. alle 30 min	19:00 bis 06:00
01.06. bis 31.08.		mind. alle 2 h	19:00 bis 06:00

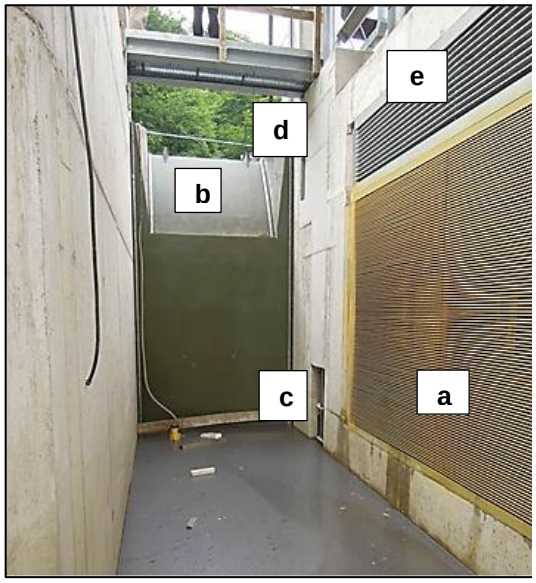


Abb. 22: Einlauf ins Kraftwerk: a) 12 mm-Horizontalrechen, b) Spülschütz, c) sohlennaher Bypass, d) oberflächennaher Bypass, e) Smoltbypass mit 35 mm-Schutzgitter (Foto: Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH)

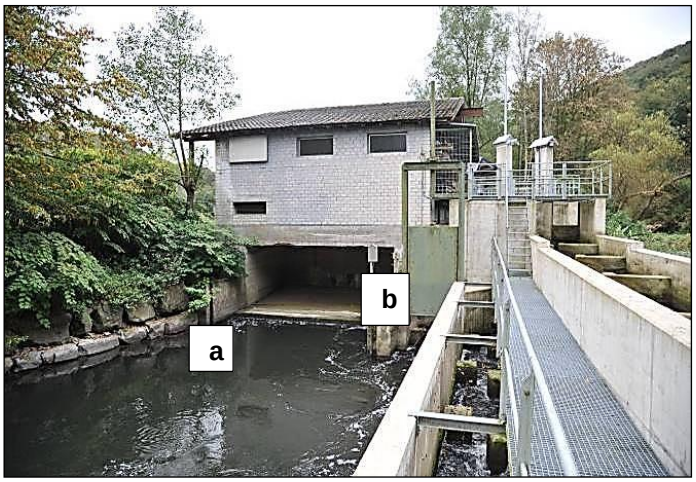


Abb. 23: Unterwasser des Krafthaus: a) Turbinenauslauf, b) Einstieg in den Schlitzpass (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 24: Einlauf in den Schlitzpass während dem Bau (Foto: Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH)

Abb. 25: Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr Auer Kotten (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.3.3 Glüder

Das Ausleitungskraftwerk Glüder, das synonym auch als Neuenkotten bezeichnet wird, befindet sich im Besitz der Stadtwerke Solingen und wird auch von diesen betrieben. Der Standort besteht aus einem etwa 1,1 km langen Turbinenobergraben und einem etwa 1,6 km langen Mutterbett. Letzteres bildet eine große Schleife mit einem reichhaltigen naturnahen Strukturinventar. Aufgrund der großen räumlichen Entfernung zwischen Ausleitungswehr und Krafthaus waren zwei separate HDX-Anlagen erforderlich, die einerseits mit drei großen HDX-Antennen die unterwasserseitige Annäherung von Fischen an das Krafthaus (Antennen Nr. 21 bis 23) und mit 2 HDX-Antennen (Nr. 24 und Nr. 25) das Geschehen in der Fischaufstiegsanlage am Wehr überwachten. In dem als Raugerinne-Beckenpass konstruierten Fischpass konnte die stromabwärtige HDX-Antenne aus Gründen fehlender Befestigungsmöglichkeiten nicht im unmittelbaren Einstiegsbereich installiert werden, sondern erst etwa 17 m stromauf davon im mittleren Abschnitt der Aufstiegsanlage. Die zweite Antenne war hingegen am Übergang ins Oberwasser positioniert. Die technischen Charakteristika des Standortes Glüder sind Tab. 4 zu entnehmen, einen schematischen Lageplan gibt Abb. 26 wieder und Angaben zu Größe, Fertigungsart und Reichweite der HDX-Antennen sind in Anhang II aufgeführt.

Tab. 4: Fischökologisch relevante Kenndaten des Wasserkraftstandorts Glüder

Bauwerksbestandteil	Kennwert
Breite Ausleitungswehr (Kronenlänge)	66 m
Fallhöhe Ausleitungswehr	ca. 3 m
Turbinenleistung	max. 340 kW
Anzahl Turbinen (in Betrieb)	1
lichte Weite des konventionellen Flachstabrechens	ca. 40 mm
Länge Mutterbett	ca. 1.600 m
Länge Oberwassergraben	ca. 1.100 m
Länge Unterwassergraben	ca. 140 m
Länge des Raugerinne-Beckenpass	ca. 35 m
Breite des Raugerinne-Beckenpass	2,5 bis 3 m
Anzahl beckenartiger Strukturen	13
mittleres Sohlengefälle	1:12,5
Betriebswasservolumen Fischaufstiegsanlage	400 l/s

Abb. 26: HDX-Antennen Nr. 21 bis 25 in Glüder (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

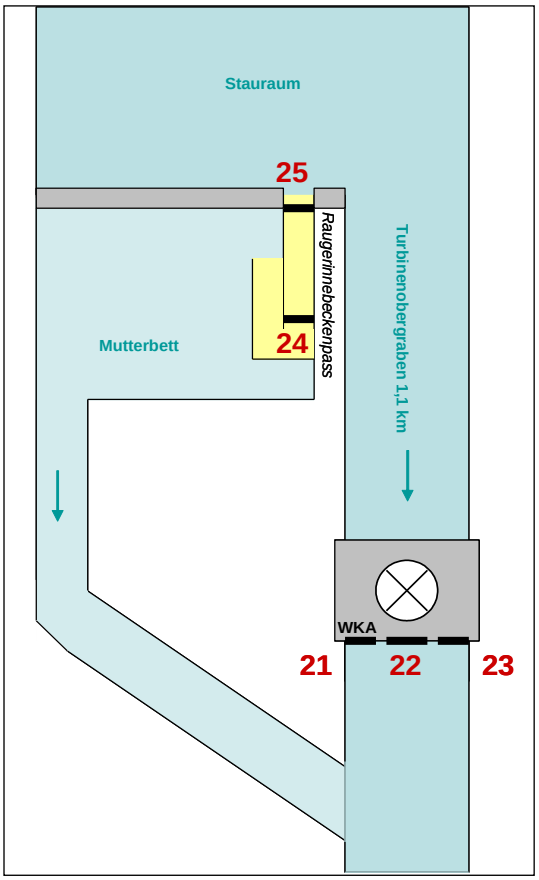


Abb. 27: Unterwasseransicht des Krafthauses mit laufender Turbine und drei HDX-Antennen (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 28: Bogenförmiges Ausleitungswehr, im Vordergrund zweigt der Turbinen-obergraben zum Krafthaus ab (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 29: Hydraulisch überlasteter Raugerinne-Beckenpass (links), der gewendelt ins Unterwasser des Ausleitungswehres mündet (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 30: HDX-Seilantenne Nr. 24 im mittleren Abschnitt der Fischaufstiegsanlage (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.3.4 Schaltkotten

Das Ausleitungskraftwerk Schaltkotten in Müngsten ist in Privatbesitz. Am Wehr ist eine Fischrampe in aufgelöster Riegelbauweise vorhanden. Deren Einstieg ist auf gesamter Baulänge ins Unterwasser vorgelagert, so dass zwischen dem Einstieg in den Fischpass und dem Wehrfuß eine etwa 45 m lange Sackgasse entsteht. Im Rahmen des Projekts galt es prioritär den Fischaufstieg zu untersuchen, weshalb unter Berücksichtigung der Machbarkeit drei HDX-Antennen im unteren Abschnitt der Fischaufstiegsanlage befestigt wurden. Die unterste HDX-Antenne (Nr. 31) befand sich direkt am Einstieg der Fisch-rampe, während die beiden anderen Antennen Nr. 32 und Nr. 33 im Abstand von 9,5 m und nach weiteren 3 m folgten. Die restliche Länge der Fischrampe bis zum Ausstieg ins

Oberwasser beträgt etwa 57 m. Eine weitere HDX-Antenne wurde zur Beobachtung der Annäherung von Fischen an das Wehr in Strickleiterbauweise als „schwimm drüber“-Antenne ca. 35 m stromab vom Wehrfuß und damit etwa 10 m stromauf der Fischaufstiegsanlage installiert. Die technischen Charakteristika des Standortes Schaltkotten sind in Tab. 5 gelistet, Abb. 31 skizziert den Standort und Angaben zu Größe, Fertigungsart und Reichweite der Antennen sind in Anhang II aufgeführt.

Tab. 5: Kenndaten des Kraftwerksstandorts Schaltkotten

Bauwerksbestandteil	Kennwert
Breite Ausleitungswehr	ca. 30 m
Fallhöhe Ausleitungswehr	1,9 m
Turbinenleistung WKA	160 kW
Anzahl Turbinen	1
lichte Weite des Rechens	20 mm
Länge Mutterbett	ca. 130 m
Länge Oberwassergraben	ca. 30 m
Länge Unterwassergraben	ca. 65 m
Länge der Fischrampe	ca. 70 m
Breite der Fischrampe	4 bis 5 m
Anzahl Riegel	ca. 19

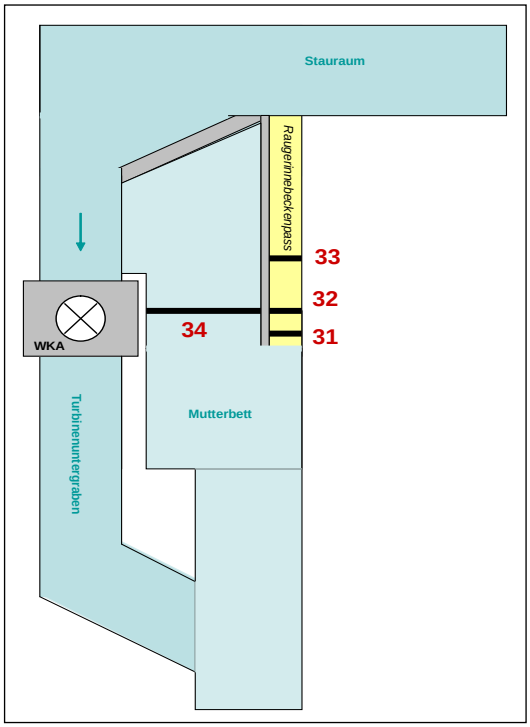


Abb. 31: HDX-Antennen Nr. 31 bis 34 am Schaltkotten (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 32: Seilantennen Nr. 32 und 33 in der Fischrampe (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 33: Montage der „schwimm drüber"-Antenne am Wehrfuß (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.3.5 Buchenhofen

In Buchenhofen ist das vom Wupperverband betriebene Flusskraftwerk in ein Wehr mit mehr als 7 m Fallhöhe integriert. Der Auslauf des als Umgehungsgerinne in mehr oder weniger aufgelöster Riegelbauweise konstruierten Fischpasses mündet am rechten Ufer etwa 25 m stromab vom Turbinenauslauf und nutzt zur Erhöhung seiner Leitströmung den Auslauf der Kläranlage Wuppertal. Zur Überwachung dieser Fischaufstiegsanlage wurden eine HDX-Antenne (Nr. 41) 5 m stromauf des Einstiegs und eine weitere Antenne 15 m stromab des Ausstiegs ins Oberwasser (Nr. 42) eingebaut. Die technischen Charakteristika des Wasserkraftstandorts Buchenhofen sind in Tab. 6 aufgeführt, während Abb. 34 die Verhältnisse vor Ort skizziert. Angaben zu Größe, Fertigungsart und Reichweite der HDX-Antennen finden sich in Anhang II.

Tab. 6: Kenndaten des Kraftwerksstandorts Buchenhofen

Bauwerksbestandteil	Kennwert
Breite Wehr	ca. 20 m
Fallhöhe Wehr	ca. 7,2 m
Turbinentyp der WKA	Kaplanrohrturbine
Ausbaudurchfluss	10 m³/s
Turbinenleistung	560 kW
lichte Weite Rechen	ca. 50 mm
Länge des Umgehungsgerinnes	ca. 200 m
Breite des Umgehungsgerinnes	ca. 1,5 bis 3 m
Anzahl Riegel	ca. 41
Betriebswasservolumen Fischaufstiegsanlage	0,3 bis 0,5 m³/s
mittleres Sohlengefälle Fischaufstiegsanlage	1:27

Abb. 34: HDX- Antennen Nr. 41 und 42 in Buchenhofen (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

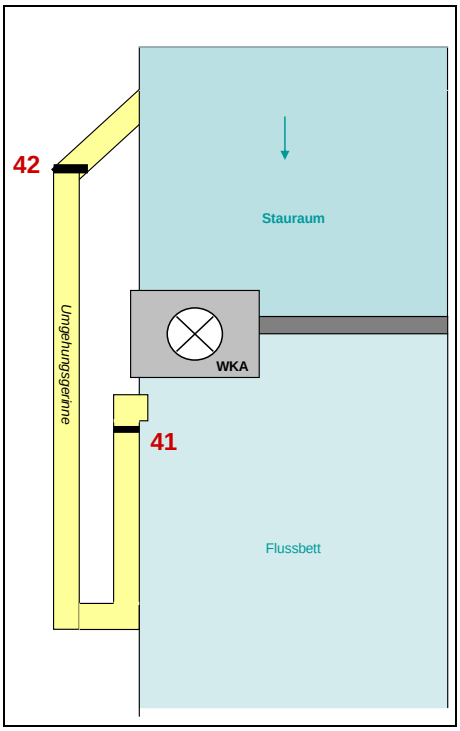


Abb. 35: HDX-Antenne am unterwasserseitigen Einstig ins Umgehungsgerinne (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 36: HDX-Antenne am Ausstieg des Fischpasses (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Alljährlich wird von Ende September bis Mitte Dezember im Rahmen des Wanderfischprogramms NRW eine Vorrichtung im Fischpass installiert, um aufsteigende Meerforellen (cf.) und Lachse für die Gewinnung von Geschlechtsprodukten abzufangen (MKULNV 2015). In dieser aus Absperrgittern mit jeweils zwei Eintrittskehlen bestehenden Fangvorrichtung wurden im Herbst 2016 ein Lachs, vierzehn Meerforellen und fünf Bachforellen gefangen sowie im Herbst 2017 zwei Lachse, neun Meerforellen und fünf Bachforellen (WUTTKE, mündl. Mitteilung, 2016 und 2017).

Abb. 37: Vorrichtung zum Fang von Großsalmoniden im Umgehungsgerinne Buchenhofen (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.3.6 Beyenburger Stausee

Der Beyenburger Stausee speist ein Stollenkraftwerk, weshalb die stromab des Ausleitungswehres anschließende 1,6 km lange Wupperschleife das abflussärmere Mutterbett darstellt. Das Wehr ist mit einem etwa 190 m langen, in Riegelbauweise konstruierten Umgehungsgerinne versehen, dessen Einstieg nahe am Fuße des Ausleitungswehres positioniert ist. Der Ein- und Auslauf des Fischpasses wurden seit Beginn des fischökologischen Monitorings im Jahr 2013 mit je einer HDX-Antenne (Nr. 51 und Nr. 52) überwacht. An diesem für die Öffentlichkeit vergleichsweise leicht zugänglichen Standort wurde die HDX-Anlage immer wieder von Unbekannten sabotiert, in dem z. B. die Schlösser des Schaltschrankes mit Sprühfarbe verklebt sowie die Antennen zerbrochen wurden.

Die technischen Charakteristika des Wasserkraftstandortes Beyenburg sind in Tab. 7 aufgeführt, während Abb. 38 die Verhältnisse vor Ort skizziert und sich Angaben zu Größe, Fertigungsart und Reichweite der HDX-Antennen in Anhang II finden.

Tab. 7: Kenndaten des Kraftwerksstandorts Beyenburger Stausee

Bauwerksbestandteil	Kennwert
Breite Wehr	120 m
Fallhöhe Wehr	6 m
WKA	Stollenkraftwerk
Turbinenleistung	k. A.
lichte Weite Rechen	20 mm
Länge Mutterbett	1,6 km
Länge Umgehungsgerinne	ca. 190 m
Breite Umgehungsgerinne	ca. 4,5 m
Anzahl Riegel	ca. 50

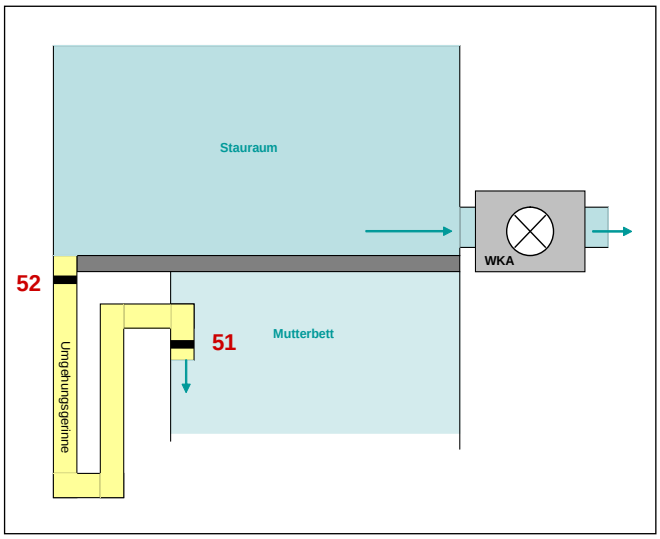


Abb. 38: HDX-Antennen Nr. 51 und 52 am Beyenburger Stausee (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 39: Wehranlage des Beyenburger Stausees, der Einstieg in den Fischpass ist mit Pfeil markiert (Foto Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 40: Umgehungsgerinne in Riegelbauweise (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 41: Rahmenantenne am Einstieg in den Fischpass (Foto Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 42: Rahmenantenne am oberwasserseitigen Ausstieg (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

2.4 BESCHAFFUNG, MARKIERUNG UND BESATZ VON FISCHEN

Fische dürfen nur mit einer tierschutzrechtlichen Genehmigung gekennzeichnet werden, da es sich bei diesem Eingriff um einen Tierversuch handelt, der für das Tier mit Schmerzen und Leiden verbunden ist (TierSchG 2013). Markierungen dürfen zudem nur von speziell für die Durchführung von Tierversuchen mit Fischen legitimierten Personen durchgeführt werden, die nach den Regeln der FELASA (Federation of European Laboratory Animal Science Associations) zertifiziert sind. Alle wissenschaftlichen Mitarbeiter des Instituts für angewandte Ökologie, die im Rahmen des Projekts „HDX-Wupper“ Fische transpondiert haben, erfüllen diese Voraussetzungen. Eine tierschutzrechtliche Genehmigung für die Markierung von Fischen war vor Beginn des Projekts vom zuständigen Fachbereich 84 des LANUV erteilt worden (Anhang I).

Zudem wurden alle Angler als potentielle Fischkonsumenten im Einzugsgebiet der Wupper über Fischereibehörden, Fischereiverbände und die lokale Presse darüber informiert, dass transpondierte Fische in der Wupper schwimmen (u. a. LÖSER & ADAM 2013). Um Informationen über die Ausbreitung und den Verbleib ggf. gefangener Exemplare zu erhalten, lobte das Institut für angewandte Ökologie für jeden eingesandten und mit der Angabe des Fangortes und -datums versehenen Transponder eine Prämie von 20 € aus. Bis zum Projektende wurde diese Prämie für drei Bachforellen, eine Barbe und eine Nase ausgezahlt.

2.4.1 Aale

Die in den Jahren 2013 und 2016 in der Wupper ausgesetzten Aale stammten aus dem Kontingent der Fänge aus dem „Trap & Truck“ der Aalschutzinitiative Mosel (KLOPRIES et al. 2016). Diese Fische wurden von Mitarbeitern des Fachbereichs Fischereiökologie des LANUV von der Mosel an die Wupper transportiert. Dort wurden die zwischen etwa 50 und 110 cm langen Aale von Mitarbeitern des Instituts für angewandte Ökologie mit 32 x 3,9 mm großen HDX-Transpondern markiert (Abb. 43 und 44). Die Aale, die aufgrund ihrer silbrigen Färbung als Blankaale angesprochen werden konnten, wurden anschließend im Bereich der Straßenbrücke Glüder, d. h. etwa 3 km stromauf des Auer Kotten in den Fluss entlassen (Abb. 45). Da sich der im Jahr 2013 getätigte Besatz im unmittelbaren Einlauf des Turbinenobergrabens des Auer Kotten aufgrund der zu geringen Distanz zum Kraft-haus als nicht sinnvoll erwiesen hatte, wurde dieser Besatzort 2016 fallen gelassen. Im Jahr 2013 wurden insgesamt 269 und im Jahr 2016 nochmals 295 transpondierte Aale stromauf des Auer Kotten in die Wupper entlassen.

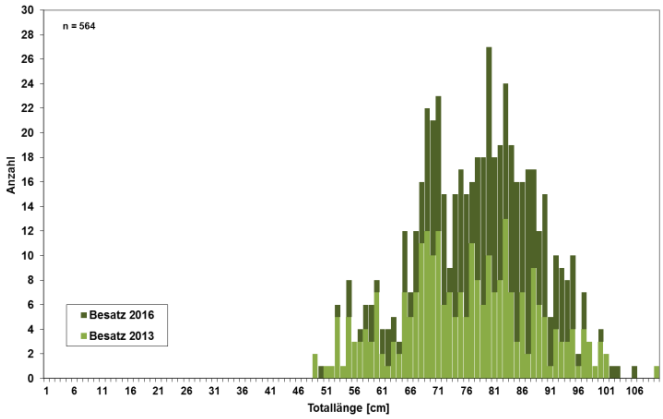


Abb. 43: Längenfrequenz der besetzten Aale (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 44: Transpondierung von Aalen am Ufer der Wupper (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

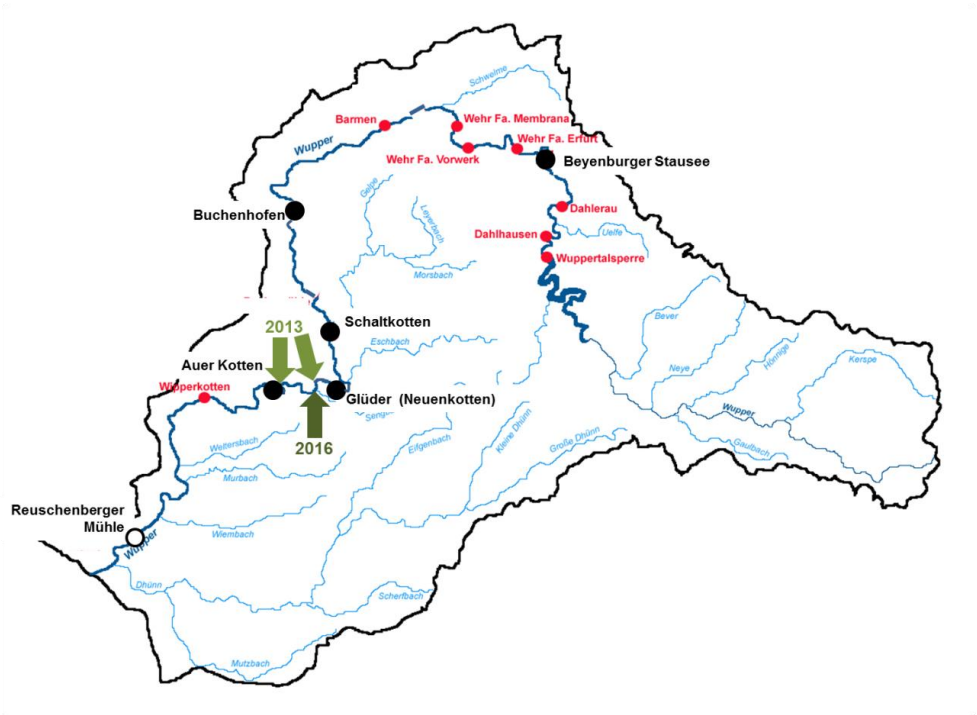


Abb. 45: Lage der Besatzstellen von Aalen aus der Mosel in den Jahren 2013 und 2016 (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

2.4.2 Lachssmolts

Bei den 1.000 im Jahr 2014 und den 500 im Jahr 2015 in der Wupper ausgesetzten Lachssmolts handelte es sich um Nachkommen von Lachsrückkehrern aus dem Wanderfischprogramm NRW (MKULNV 2015). Diese Junglachse mit Längen von 13 bis 25 cm wurden in den Laborräumlichkeiten des Fachbereichs für Fischereiökologie des LANUV in Albaum von Mitarbeitern des Instituts für angewandte Ökologie unter leichter Narkose mit 23 x 3,9 mm kleinen HDX-Transpondern markiert. Nach einer jeweils zweitägigen Ruhepause wurden die Junglachse auf zwei gleichgroße Chargen aufgeteilt. Mitarbeiter des LANUV und der Bezirksregierung Düsseldorf entließen die transpondierten Lachssmolts an ausgewiesenen Stellen. Diese Besatzstellen befanden sich im Jahr 2014 im Turbinenobergraben des Auer Kotten und 3 km stromauf davon im Flussabschnitt der Wupper an der Straßenbrücke Glüder. Da der Besatz im Turbinenobergraben aufgrund einer zu großen Nähe zu den Abwanderkorridoren am Krafthaus keine aussagekräftigen Befunde erbracht hatte, wurden im Folgejahr die Lachssmolts an der Straßenbrücke Glüder und etwa 15 km stromauf vom Auer Kotten in Kohlfurt in die Wupper entlassen.

Für den Besatz im Frühjahr 2018 waren 2.000 Lachssmolts vom Stamm Lagan beim Danmarks Center for Vildlaks angekauft worden. Diese Fische wurden direkt bei Anlieferung unter Freilandbedingungen an der Wupper transpondiert und anschließend an 6 Besatzstellen zwischen dem Unterwasser Glüder (Wupper-km 25) bis nach Dahlerau (Wupper-km 70) stromauf vom Beyenburger Stausee besetzt (Abb. 46 und 47).

Abb. 46: Anlieferung von 2.000 Lachssmolts am 20.03.2018 aus Dänemark (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 47: Markierung eines narkotisierten Lachssmolts mit einem HDX-Transponder (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Die Größenverteilung der zwischen 12 und 25 cm großen Lachssmolts ist aus Abb. 48 zu ersehen, die Lage der Besatzstellen in den verschiedenen Projektjahren stellt Abb. 49 dar.

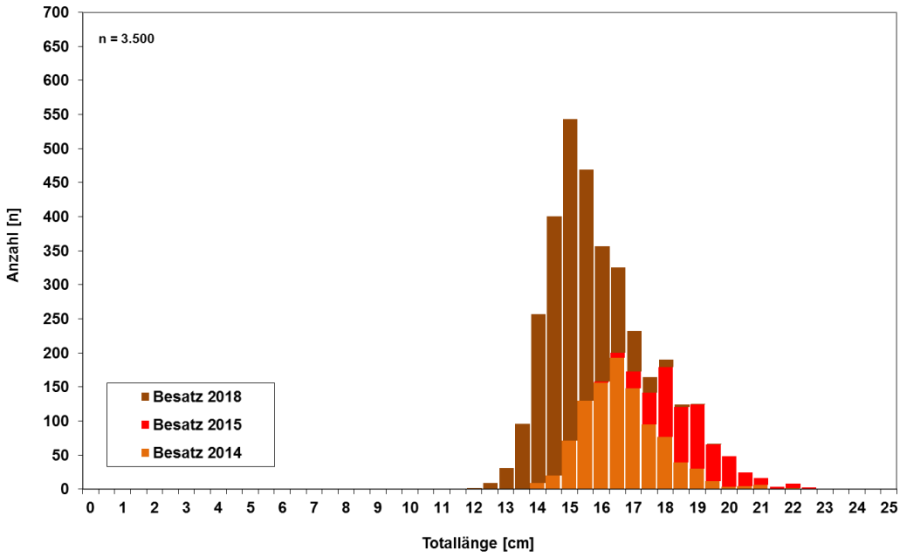


Abb. 48: Längenfrequenz der Lachssmolts (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

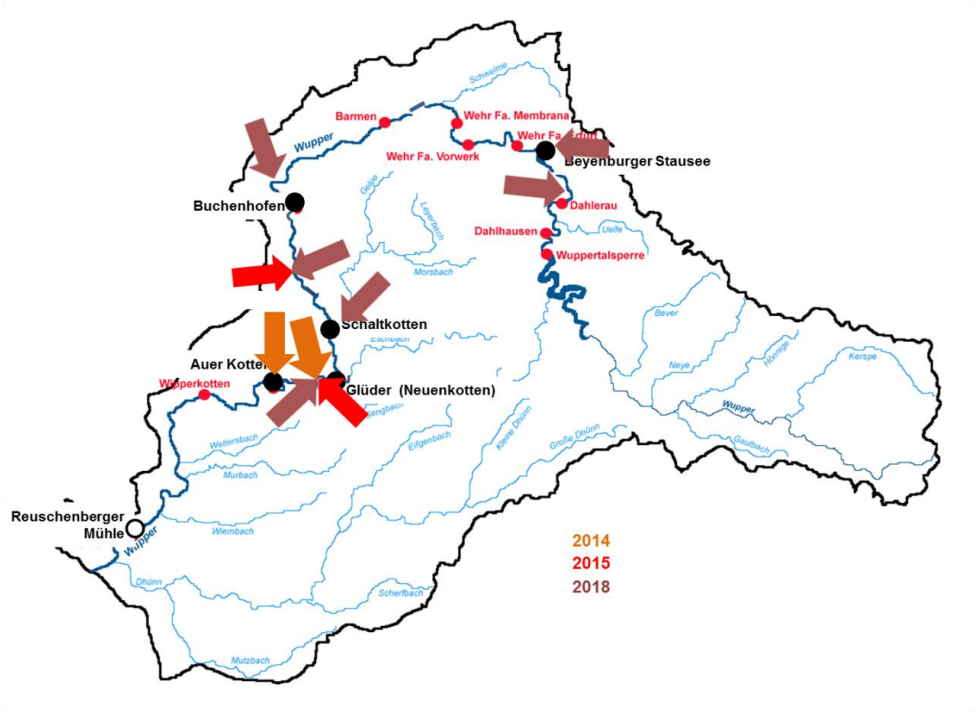


Abb. 49: Lage der Besatzstellen von Lachssmolts in den Jahren 2014, 2015 und 2018 (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

2.4.3 Wildfische

Da sich zu Beginn des Projekts im Herbst 2013 der Einsatz einer Garnreuse am Wehr der Reuschenberger Mühle aufgrund zu geringer Fangzahlen als nicht zielführend erwiesen hatte, wurden in den Folgejahren mehrere Befischungskampagnen mit Elektrofanggeräten in diversen Abschnitten der Wupper mit einer Gesamtlänge von 31,4 km durchgeführt. Insgesamt wurden auf diese Weise 3.088 Wildfische gefangen, bei denen es sich zu 99 % um Vertreter der potamodromen Gilde und nur einzelne katadrome Aale sowie anadrome Lachs- und Meerforellenrückkehrer und Flussneunaugen gehandelt hat. Da in der Wupper neben kapitalen Bachforellen *(Salmo trutta f. fario)* verschiedentlich Forellen mit einer Totallänge über 50 cm auftreten, die äußerlich zwar Meerforellen ähnlich sehen, deren Herkunft aber letztlich ungeklärt ist, wurden solche Fische als „Meerforellen cum falsum“ *(Salmo trutta f. trutta* cf.*)* angesprochen.

Die Markierung von Wildfischen mit einem HDX-Transponder erfolgte stets parallel zu den Elektrobefischungen, wofür ein separates Boot mit Narkosebad, einer Arbeitsfläche und der übrigen benötigten Gerätschaften mitgeführt wurde (Abb. 50). Nach der Markierung wurden die Fische quasi am Ort ihrer Beschaffung wieder in die Wupper entlassen (Abb. 52).

Abb. 50: Transpondierung von Wildfischen während der Durchführung einer Elektrobefischung (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

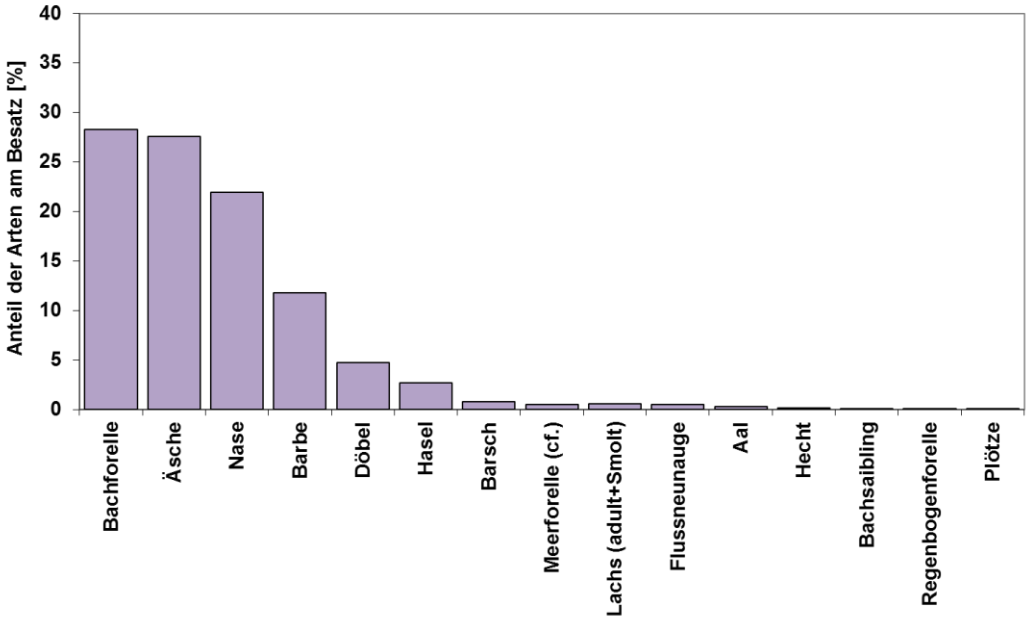


Abb. 51: Anteil der Arten transpondierter Wildfische (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

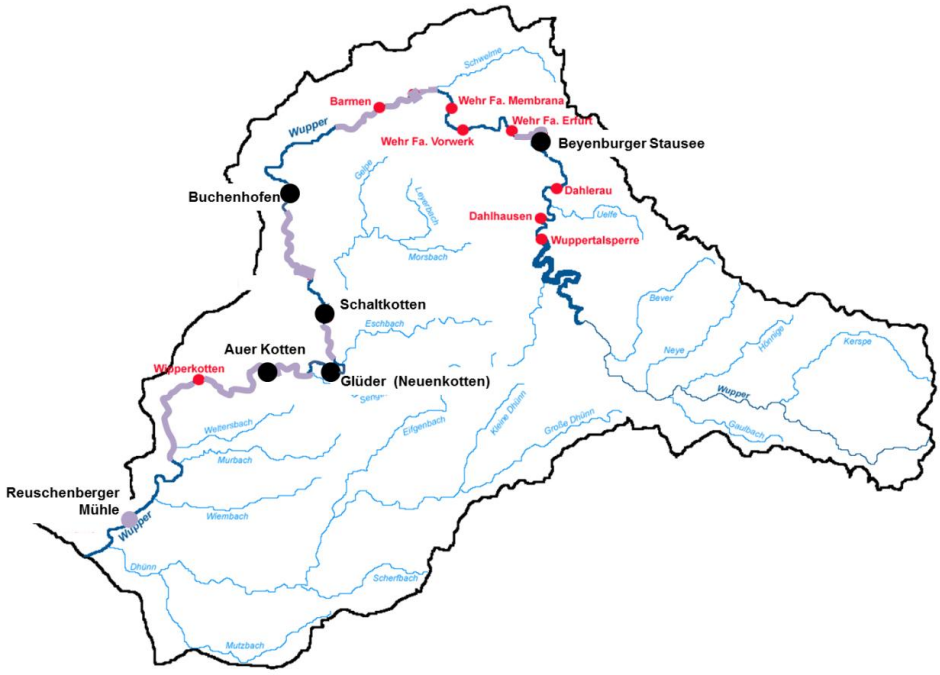


Abb. 52: Besatzstrecken mit Wildfischen (violett markiert) (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

2.5 ERGÄNZENDE ETHOHYDRAULISCHE UNTERSUCHUNGEN UND HYDRODYNAMISCH-NUMMERISCHE MODELLIERUNGEN

Parallel zur ersten Projektphase war das Institut für Wasserbau der TU Darmstadt unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. B. Lehmann vom Bundesamt für Naturschutz mit der Durchführung eines Forschungs- und Entwicklungsvorhabens zum „Orientierungs- und Suchverhalten abwandernder Fische zur Verbesserung der Dimensionierung und Anordnung von Fischschutzeinrichtungen vor Wasserkraftanlagen“ beauftragt worden (UFOPLAN FKZ 3513 85 0300). Ziel des Projekts war es, u. a. durch Kopplung der Befunde aus den Freilanduntersuchungen an der Wupper diejenigen Parameter und ggf. Grenzwerte zu identifizieren, die über die Funktion von Bypässen und anderen Abwanderkorridoren für Fische entscheiden. Im Gegenzug wurden die aus dem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse dazu verwendet, ggf. Optimierungsmöglichkeiten für die Abwanderkorridore am Auer Kotten aufzuzeigen. Folgende Methoden kamen im Rahmen des Forschungsprojekts zum Einsatz:

1. Im wasserbaulichen Versuchslabor der TU Darmstadt wurden ethohydraulische Untersuchungen mit lebenden Fischen in einer verglasten, 30 m langen, 2 m breiten und 1,5 m tiefen Laborrinne durchgeführt (Abb. 53, ADAM & LEHMANN 2011). In diese Rinne wurden Aale, Lachssmolts und Potamodrome gemischter Arten mit hydraulisch-konstruktiven Situationen konfrontiert, wie sie real auch an den Bypässen am Auer Kotten anzutreffen sind. Da sich das Verhalten von Fischen unter Freilandbedingungen nicht unmittelbar observieren lässt, war es das Ziel der ethohydraulischen Tests, die Auffindbarkeit und Akzeptanz diverser Bypasskonfigurationen u. a. bei unterschiedlichen Anströmbedingungen zu untersuchen und zu verstehen.

2. Darüber hinaus erstellten die Wasserbauingenieure der TU Darmstadt, basierend auf originalen Planunterlagen und den Daten aus einer mehrtägigen hydrometrischen Messkampagne am Auer Kotten im September 2013 unter Einsatz eines ADV (Accoustic Doppler Velocimeter), mit Hilfe der Software Flow3D maßstabsgerechte, dreidimensionale hydrodynamisch-numerische Strömungsmodelle (3d-HN-Modell). Diese dienten dazu, räumlich hoch aufgelöst die Strömungen und Fließgeschwindigkeiten im Bereich der diversen Abwanderkorridore am Krafthaus des Auer Kotten zu visualisieren. Eine dezidierte Beschreibung des methodischen Vorgehens ist der Publikation von LEHMANN et al. (2016) zu entnehmen. Anhand der erstellten 3d-HN-Modelle werden in Kap. 5.3.2 die hydraulischen Gegebenheiten im Oberwasser des

Krafthauses des Auer Kotten nachvollzogen (Abb. 54) und jene Strömungscharakteristika identifiziert, die an Bypässen und Abwanderkorridoren über deren Auffindbarkeit und Akzeptanz für abwandernde Fische und damit letzten Endes über die Effizienz entscheiden.

Abb. 53: In der Laborrinne der TU Darmstadt wurde das Verhalten von Fischen gegenüber unterschiedlichen Bypassöffnungen untersucht (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

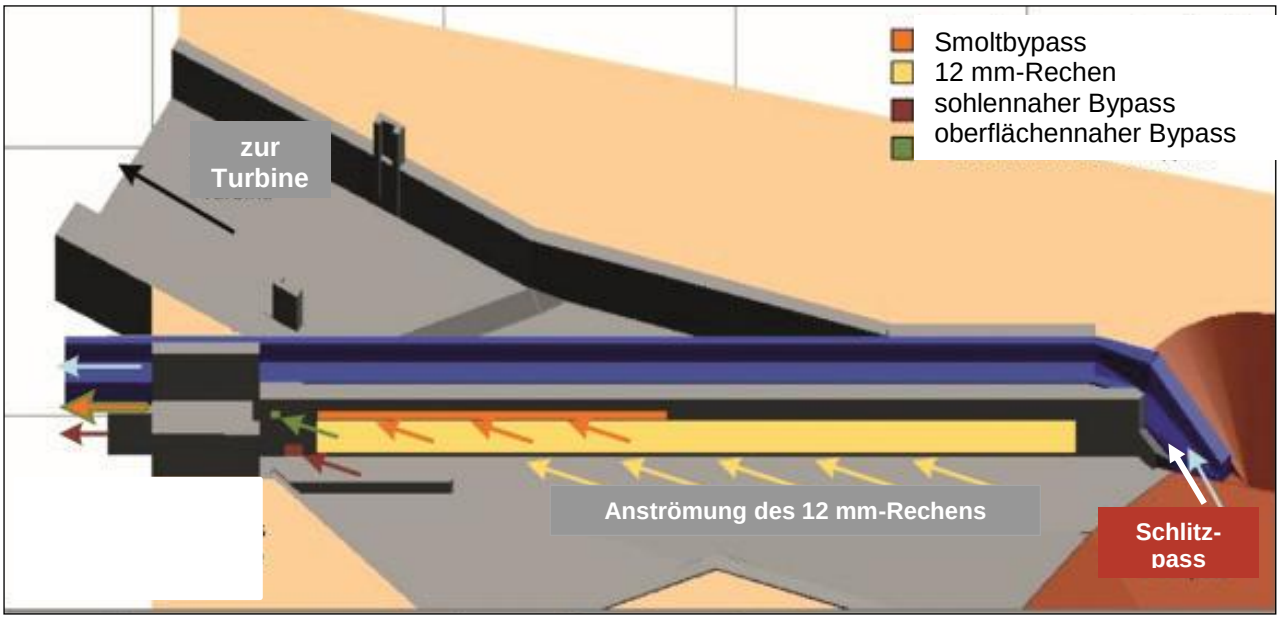


Abb. 54: Systemgeometrie der verschiedenen Abwanderkorridore am Auer Kotten im 3d-HN-Modell (Quelle: LEHMANN et al. 2016)

3 ALLGEMEINE BIOLOGISCHE ERKENNTNISSE

Mit der HDX-Technik lässt sich nicht nur das stromauf- und -abwärts gerichtete Wanderverhalten transpondierter Fische auf individuellem, art- und gildenspezifischem Niveau analysieren. Darüber hinaus gestattet die Methode, die Aktivität von Fischen zu jeder Tages- und Nachtzeit unter realen Umweltbedingungen über lange Zeit nachzuvollziehen. Auf diese Weise konnten im Rahmen des Projekts „HDX-Wupper“ grundlegende Erkenntnisse erarbeitet werden, die über die eigentlichen Fragen zur Passierbarkeit der Wehrstandorte und zur Durchgängigkeit der Wupper hinausgehen. In Hinblick auf ein besseres Verständnis der bisher allenfalls ansatzweise bekannten Biologie einheimischer Arten, werden diese Erkenntnisse den projektspezifischen Befunden zur Auf- und Abwanderung von Fischen vorangestellt.

3.1 REDETEKTION HDX-TRANSPONDIERTER FISCHE

Während der Laufzeit des Projekts vom 31. Oktober 2013 bis 10. Juli 2018 wurden von den HDX-Antennen in der Wupper insgesamt 196.773 Leseereignisse aufgezeichnet, wobei diese Zahl bereits um die etwa 10-fach zahlreicheren Mehrfachlesungen bereinigt ist, die innerhalb einer Minute aufgezeichnet wurden. Die Redetektionen lassen sich 2.747 Individuen zuordnen, die sich wie folgt auf die verschiedenen Gilden verteilen:

- 483 abwanderwillige Aale,
- 1.662 Lachssmolts und
- 602 potamodrome Wildfische, einschließlich einiger aufsteigenden anadromern Flussneunaugen, Meerforellen und Lachse.

Von den 269 im Herbst 2013 in die Wupper entlassenen Aalen wurden bis Projektende insgesamt 84,4 % und von den 295 Exemplaren des Besatzes im Jahr 2016 86,8% redetektiert. Allerdings befanden sich unter der Besatzcharge 2013 zahlreiche Aale, die erst in den Folgejahren sukzessive aus der Wupper in Richtung Rhein abgewandert sind, z. B. 4 Exemplare im Jahr 2016, 10 im Jahr 2017 und 1 Aal gegen Ende der Datenaufnahme am 10. 07. 2018. Unter der Besatzcharge aus dem Jahr 2016 befanden sich sogar 99 Aale, die verzögert abgewandert sind; 95 Aale im darauf folgenden Jahr 2017 und 4 im Jahr 2018.

Die im Jahr 2014 besetzten Lachssmolts waren mit einer Rate von 68,1 %, die von 2015 zu 65,8 % und die im Frühjahr 2018 bis weit in den Oberlauf hinein ausgebrachten Smolts zu 32,6 % redetektiert worden. Die Abwanderung der Smolts erfolgte dabei jeweils innerhalb weniger Wochen nach dem Besatz. Lediglich einzelne Nachzügler traten erst im Herbst des jeweiligen Jahres als Abwanderer in Erscheinung.

Für die Wildfische betrug die durchschnittliche Redetektionsrate 19,5 %. Zählt man hinzu, dass im Rahmen der diversen Elektrobefischungen mehrere bereits transpondierte Fische mit Handlesegeräten identifiziert und einige Transponder von geangelten Fischen zurück gemeldet wurden, liegt die Gesamtredetektionsquote von Wildfischen bei 21,1 %. Für die sechs am häufigsten markierten Wildfischarten liegt die artspezifische Redetektionsquote für Barbe, Nase und Hasel zwischen 33 und 38 %, für Bachforelle und Äsche bei jeweils etwa 12 % und für den Döbel bei 5 %.

Schlussfolgerung:

Vergleichsweise hohe Redetektionsraten wurden bei den abwanderwilligen Aalen mit knapp 90 % und bei Lachssmolts mit um die 70 % ermittelt.

Bei den Aalen erwies es sich einmal mehr, dass Exemplare dieser Art keinesfalls gemäß der tradierten Vorstellung abwandern, sobald ihr Erscheinungsbild dem eines sogenannten Blankaals gleicht, d. h. die Bauchseite silbrig umgefärbt und der Augendurchmesser vergrößert ist. Vielmehr unterstreicht das Ergebnis die Erkenntnisse aus anderen über mehrere Jahre laufende Freilandstudien mit markierten Aalen (SCHWEVERS et al. 2011), dass sich selbst phänotypisch als Blankaal anzusprechende Exemplare z. T. erst nach Jahren tatsächlich auf die Reise in Richtung Meer begeben. Entsprechend können sich auch im Hebst als offensichtliche Blankaale transpondierte und in die Hälterung genommene Exemplare im darauffolgenden Frühjahr wieder zu Gelbaalen zurück färben (THALMANN 2015).

Bei den Lachssmolts lässt sich trefflich über die Ursache der vergleichsweise geringen Redetektionsrate spekulieren. Zum Teil ist dies sicherlich Ausdruck wasserkraftbedingter Verluste, wie dies beispielsweise bei den Untersuchungen von TSVETKOV et al. (1972) und HVIDSTEN & JOHNSEN (1997) für russische bzw. norwegische Gewässer nachgewiesen wurde. Es ist aber auch nicht auszuschließen, dass der Prädationsdruck durch fischfressende Vögel und in den Stauräumen besetzte Raubfische die Überlebenschancen

abwandernder Lachssmolts reduziert, was wiederum die Redetektionsraten verringert (CLEPPER 1979, JEPSEN et al. 1998, THOMPSON et al. 2012, JEPSEN 2017, SCHWINN et al. 2017). Solche predationsbedingten Einflüsse wurden jüngst im Zusammenhang mit telemetrischen Abstiegsuntersuchungen mit Lachssmolts im Bereich der Wasserkraftanlage Unkelmühle für die Sieg von ØKLAND et al. (2016) postuliert. Im Falle der Wupper ließe sich als Indiz für die stark erhöhte Mortalität infolge Prädation in Stauräumen anführen, dass von den im Jahr 2018 stromauf des Beyenburger Stausees bei Dahlerau besetzen 350 Junglachsen nur 20 und damit knapp 6 % am Auer Kotten redetektiert wurden.

Auch über die Redetektion transpondierter Potamodromer liegen einige Vergleichsdaten vor. Beispielsweise wurden im Rahmen von Aufstiegsuntersuchungen in Gambsheim am Rhein in den Jahren 2011 bis 2012 insgesamt 330 potamodrome Fische transpondiert, die in einem maximalem Abstand von 200 m zur Fischaufstiegsanlage und damit von den Antennen besetzt worden waren. Nach Angaben von TETARD et al. (2015) wurden von diesen transpondierten Fischen bis 2013 stattliche 65,8 % redetektiert. In der belgischen Maas wurden von BENITZ et al. (2018) insgesamt 532 markierte Individuen aus 11 potamodromen Arten entlassen, von denen in der Projektlaufzeit von 2012 bis 2016 in einem 32 km langen Flussabschnitt einschließlich dem Zufluss Ourthe an drei Antennenstationen 32,9 % der Individuen redetektiert wurden Und schließlich wurden im Hochrhein im Rahmen eines seit 2017 laufenden und sich über 26 Flusskilometer erstreckenden Projekts bisher 19.157 transpondierte potamodrome Fische ausgebracht (INSTITUT FÜR ANGEWANDTE ÖKOLOGIE 2018, mündl. Mitt., August 2018). Bis Ende 2018 wurden von den in 8 Fischaufstiegsanlagen installierten HDX-Antennen 23,7 % dieser Individuen redetektiert, wobei die Wiedernachweisquote mit zunehmender Projektlaufzeit sukzessive steigt.

Während sich in der vergleichsweise sehr hohen Redetektionquote für den Fischpass in Gambsheim die große räumliche Nähe der Besatzstellen zu den Antennen wiederspiegelt, passen die an der Wupper ermittelten Redetektionsraten recht gut in das Bild der Befunde vom Hochrhein, wo sich die transpondierten Fische im Fluss genauso wie in der Wupper über etliche Flusskilometer verteilen können.

3.2 AKTIVITÄT DER FISCHE ÜBERS JAHR

Verteilt man alle im Rahmen des Projekts von HDX-Antennen registrierten Detektionen Potamodromer auf die einzelnen Monate eines Jahres, erhält man ein Muster der Jahresaktivität der Fische (Abb. 55). Dieses lässt sich weiter nach Arten aufschlüsseln und auch nach der Richtung der festgestellten Ortsbewegungen differenzieren. So lässt beispielsweise die Barbe zwei Aufstiegspeaks erkennen: Während im Mai/Juni die adulten Exemplare das Aufstiegsgeschehen dominieren, sind im Oktober insbesondere kleinere Exemplare um 20 cm Länge unterwegs.

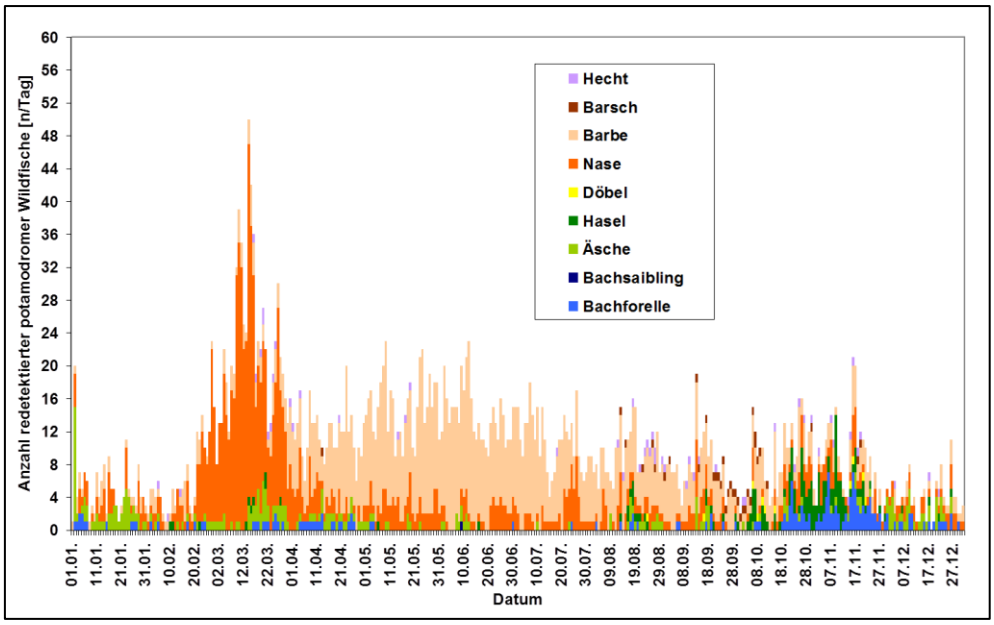


Abb. 55: Aktivität verschiedener Fischarten in der Wupper über das Jahr (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Konkrete Angaben über den Zeitraum der Abwanderung von Aalen lassen sich nicht machen, zumal stromab vom Auer Kotten keine Wächterantennen installiert waren, die ein echtes kataromes Abwanderverhalten hätten belegen können. So überwachten die HDX-Antennen am Auer Kotten lediglich lokale Aal-Passagen über die vor Ort vorhanden Abwanderkorridore und geben keine Auskunft darüber, ob es sich dabei um Redektionen potamodromer Umherkreuzer gehandelt hat, oder um ein großräumiges und damit katadromes Abwanderverhalten.

Die Verteilung der Jahresaktivät der Aale lässt ein enormes Grundrauschen erkennen, das von Individuen stammt, die immer wieder sowohl nach stromabwärts schwammen, als auch nach stromauf (Abb. 56). In den Monaten Oktober und November lassen sich hingegen Aktivitätspeaks identifizieren, die abwandernden Blankaalen zugeordnet werden

können, da diese Individuen nur wenige Male und ausschließlich in stromabwärtiger Richtung detektiert wurden, bevor sie in der gesamten restlichen Laufzeit des Monitorings nie wieder in Erscheinung traten.

Die die meisten abwandernden Lachssmolts wurden zwischen Ende März bis Anfang Juni von den HDX-Antennen registriert. Damit fügt sich die Abstiegstätigkeit dieser Art in der Wupper in das hinlänglich bekannte Zeitfenster von Anfang März bis Ende Juni ein (Abb. 55, LÖBF 2003).

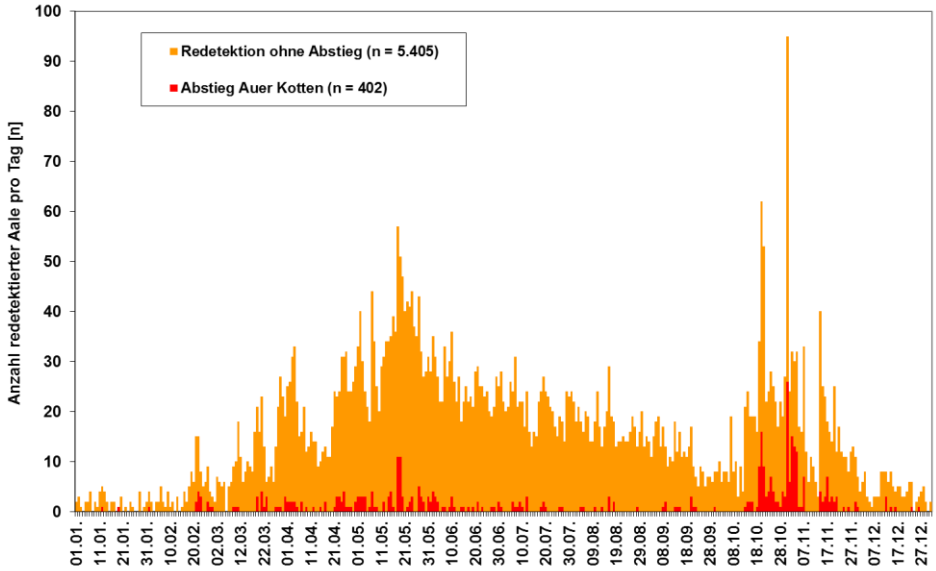


Abb. 56: Abwanderaktivität von Aalen am Auer Kotten übers Jahr (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

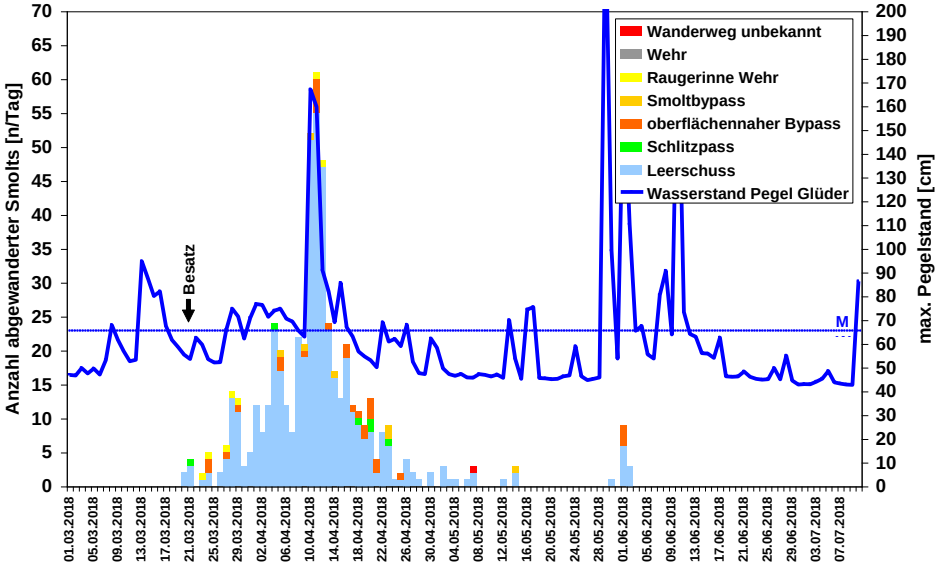


Abb. 57: Abwanderung von Lachssmolts über die verschiedenen Wanderkorridore am Auer Kotten im Jahr 2018 (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Potamale Wildfische führen in der Wupper zu jeder Zeit des Jahres Ortsbewegungen sowohl gegen, als auch mit der Strömung durch (Abb. 55). Zwar lassen sich für die verschiedenen Arten bestimmte Monate abgrenzen, in denen sie besonders aktiv nach stromauf- oder stromab unterwegs sind, doch lässt sich keine Zeitspanne im Jahr benennen, in der keine Wanderbewegungen stattfinden. Selbst in den Wintermonaten mit den niedrigsten Wassertemperaturen führen Salmoniden und diverse Cypriniden sowohl nach stromauf, als auch stromab Ortsbewegungen durch.

Die aus der Auswertung der Aufzeichnungen der HDX-Antennen resultierenden artspezifischen Aktivitätszeiten für die Auf- und Abwanderung sind in Tab. 7 zusammengestellt.

Tab. 7: Jahreskalender der nachgewiesenen artspezifischen Auf- und Abwanderaktivität diverser Arten

Art		Monat											
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Aufwanderung	Äsche												
	Hecht												
	Flussneunauge												
	Nase												
	Barbe												
	Hasel												
	Bachforelle												
	Döbel												
	Aal												
	Lachs, adult												
	Meerforelle (cf.)												
Abwanderung	Nase												
	Meerforelle (cf.)												
	Hasel												
	Barbe												
	Bachforelle												
	Lachssmolts												
	Äsche												
	Hecht												
	Flussneunauge												
	Aal												

Schlussfolgerung:

Erwartungsgemäß konzentrierte sich die Abwanderung von Lachssmolts aus der Wupper, wie in anderen Wiederansiedlungsgewässern, auf ein Zeitfenster von März bis Ende Juni. Viele der besetzen Aale sind zweifellos in den Herbstmonaten Oktober und November abgewandert, was sich anhand von Peaks ausdrückt, die ein kollektives, synchronisiertes Abwanderverhalten belegen und exakt in die durch fischereiliche Beobachtungen vielfach belegte Abwandersaison fallen. Doch bereits das Ende der Abwandersaison lässt sich für den Aal nicht trennscharf benennen, da ab Februar bis über den gesamten Sommer Aal-Passagen nach stromab in erheblicher Anzahl registriert wurden. Während es sich im Februar wahrscheinlich noch um echte Abwanderereignisse gehandelt hat (ADAM 2006), sind die den nachfolgenden Monaten verzeichneten Ortsbewegungen Ausdruck einer zu jeder Zeit des Jahres Jahr nach stromauf- und -abwärts gerichtet erfolgenden, und damit als „potamal“ zu bezeichnende Aktivität der Fische (ADAM & SCHWEVERS 2018).

In Hinblick auf potamodrome Arten ist einmal mehr die als fischbiologisches Allgemeinwissen etablierte Ansicht widerlegt, dass sich Aufstiegsuntersuchungen an Fischpässen auf das Frühjahr konzentrieren sollten, da dann die höchste Aufstiegsaktivität zu erwarten sei (u. a. EBEL et al. 2006). In Konsequenz aus den Befunden von der Wupper sollten Funktionskontrollen an Fischwegen vielmehr grundsätzlich über mindestens einen Jahresgang durchgeführt werden, um das gesamte im jeweiligen Gewässer anzutreffenden Artenspektrum erfassen zu können (DWA 2014).

3.3 CIRCADIANE RHYTHMIK

Abwanderung:

Die stromabwärts orientierten Ortsbewegungen potamodromer Fische über die permanent offenen Abwanderkorridore in der Wupper lassen eine ausgeprägte Tagesdynamik erkennen, wobei die größte Aktivität zwischen 17 Uhr bis zum nächsten Morgen um etwa 9 Uhr registriert wurde (Abb. 58). Hingegen waren zwischen 9 Uhr und 17 Uhr nur wenige Individuen unterwegs, bei denen es sich nahezu ausschließlich Nasen gehandelt hat. Entsprechend fanden 83 % der stromabwärts gerichteten Passagen während der Dämmerung und in der Nacht statt, während nur 17 % der Fische über Tag abgewandert sind.

Auch Lachssmolts und Aale waren bevorzugt in der Nacht nach stromabwärts unterwegs. Insbesondere für erstere ist bekannt, dass sich die Abwanderaktivität zu Beginn der

Saison vorwiegend auf die Nachtstunden konzentriert, später in der Saison aber auch auf die Tagesstunden ausdehnt (ØKLAND et al. 2016).

Aufwanderung:

Die Aufwanderung über die Fischaufstiegsanlagen an der Wupper findet bei den vorwiegend im Winterhalbjahr aktiven Bachforellen und Äschen sowohl über Tag, als auch in der Nacht statt (Abb. 59). Im Gegensatz dazu beschränkt sich der Aufstieg von Barben im Sommer strickt auf die Nachtstunden. Insgesamt ereigneten sich 68 % der Aufstiegsbewegungen während der Dämmerungsphasen und in der Nacht, während 32 % zwischen Sonnenauf- und -untergang bei Tageslicht registriert wurden.

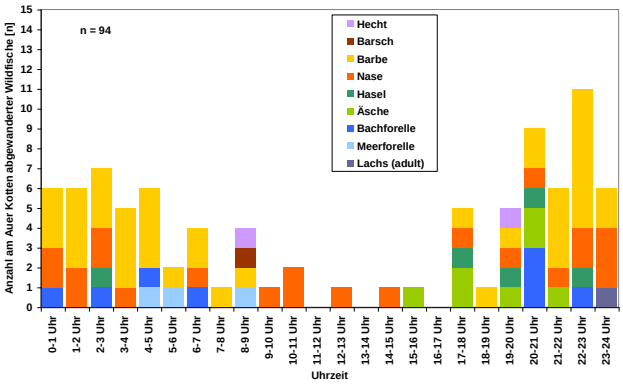


Abb. 58: Circadiane Rhythmik abwandernder Potamodromer (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

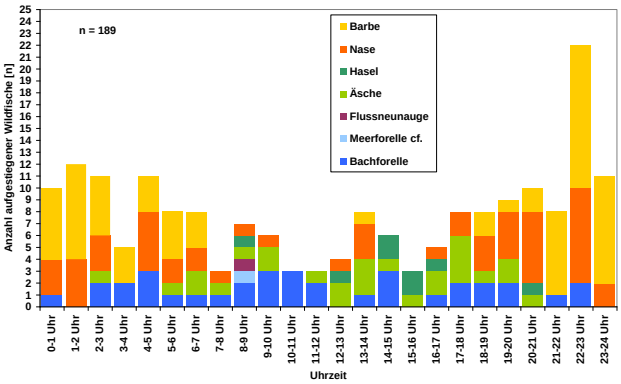


Abb. 59: Circadiane Rhythmik aufwandernder Potamodromer (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Schlussfolgerung:

Die verschiedenen Fischarten in der Wupper zeigen über die 24 Stunden eines Tages sowohl hinsichtlich ihrer Aktivität, als auch ihrer Orientierung ganz unterschiedliche Muster. Allerdings sind die meisten im Gewässer nach stromabwärts orientierten Fische unabhängig von ihrer Art vor allem während der Dunkelheit aktiv. Hinsichtlich des Aufstiegs ist zwar eine Tendenz erkennbar, dass auch diese Ortbewegungen bevorzugt bei Dunkelheit stattfinden, doch führen Bachforelle, Äsche, Hasel und Nase auch tagsüber gegen die Strömung gerichtete Ortsveränderungen durch.

3.4 HOMING VON LACHSEN

Es ist hinlänglich bewiesen, dass Lachse mit Ausnahmen einiger sogenannter „Strayer“ zur Fortpflanzung in denjenigen Fluss zurückkehren, in dem sie geschlüpft sind, bzw. besetzt wurden. Dennoch ist es erwähnenswert, dass im Rahmen des Projekts „HDX-

Wupper“ zwei als Smolts besetzte Lachse tatsächlich als adulte Rückkehrer von den HDX-Antennen am Auer Kotten registriert wurden. In Tab. 8 und 9 sind die Stationen dieser beiden Exemplare dokumentiert, an denen sie im Laufe der Jahre registriert wurden.

- Der 15,5 cm lange Smolt mit dem ID-Code 183 596 363 wanderte Mitte März 2014 aus der Wupper ab und kehrte Ende November 2017 nach 3,5 Jahren wieder zurück.
- Der aus der gleichen Besatzcharge stammende zweite Junglachs mit 16 cm Länge, wurde Anfang Januar 2018 am Auer Kotten wieder registriert.

In welchem körperlichen Zustand die beiden Rückkehrer allerdings gewesen waren und ob bzw. wo sich die beiden potentiellen Elternfische in der Wupper selbst oder in Zuflüssen fortgepflanzt haben, ließ sich im Rahmen des vorliegenden Projekts nicht klären.

Tab. 8: Reisetagebuch des Lachses mit dem ID-Code 183 596 363

Datum	**Aktion**	**Uhrzeit**
Abwanderung		
14.03.2014	Besatz des Lachssmolts 183 596 363 in Glüder	11:30
15.03.2014	Detektion am Einlauftor zum Turbinenobergraben am Auer Kotten an Antenne Nr. 12	00:54
	Detektion am oberflächennahen Bypass durch Antenne Nr. 7	01:51
20.03.2014	Erneute Detektion am Einlauftor des Turbinenobergrabens an den Antennen Nr. 12 und 13	12:59 und 13:07
Aufwanderung		
27. bis 28.11.2017	Redetektion durch Antenne Nr. 1 im Mutterbett des Auer Kotten	22:07 bis 02:51

Tab. 9: Reisetagebuch des Lachses mit dem ID-Code 183 590 256

Datum	**Aktion**	**Uhrzeit**
Abwanderung		
14.03.2014	Besatz des Lachssmolts 183 590 256 im Turbinenobergraben des Auer Kotten	11:00
15.03.2014	Detektion am oberflächennahen Bypass durch Antenne Nr. 7	02:06
16.03. bis 06.04.2014	fortwährende Detektion am Einlauftor des Turbinenobergrabens an den Antennen Nr. 11, 12 und 13	22 Tage
Aufwanderung		
03.01.2018	Redetektion am Fuß des Ausleitungswehres Auer Kotten durch Antenne Nr. 16	12:07

3.5 REISEVERHALTEN

Ausgehend vom Besatzort, im Sinne eines Startpunktes, bis zur Station seiner letztmaligen Redetektion (Zielpunkt) konnten die individuellen Ausbreitungsbewegungen der transpondierten Fische mit Hilfe der an den Wasserkraftstandorten verteilten HDX-Antennen über etwa 65 Flusskilometer sowohl stromauf, wie auch stromab, zeitlich präzise rekonstruiert werden (Tab. 10). In Tab. 11 ist als Beispiel das Bewegungsmuster einer Barbe dargestellt.

Solche detaillierten Aufstellungen sind kaum hilfreich um einen Überblick über die Ortsbewegungen möglichst aller transpondierten potamodromen Fische in der Wupper zu geben. Zu diesem Zweck wurden vereinfachte „Reisetagebücher“ in tabellarischer Form mit reduzierterem Informationsgehalt entwickelt. Diese Reisetagebücher stellen ohne Datums- und Zeitangaben dar, an welchem HDX-Standort das Individuum stromauf- oder -abwärts von seinem jeweiligen Besatzpunkt automatisch redetektiert, oder im Rahmen der alljährlichen Elektrobefischungen per „Handscan“ nachgewiesen, oder aber gefangen und damit final aus dem Untersuchungsgebiet entnommen wurde. Nachstehend ist das Reisetagebuch der oben genannten Barbe abgebildet (Abb. 60).

Tab. 10: Stationen, an denen transpondierte Fische besetzt und detektiert wurden

Abstand von der Mündung	Station	Funktion
4 km	Reuschenberger Mühle	Besatzpunkt
16 km	Wipperkotten	Besatzpunkt
21 km	WKA Auer Kotten	HDX-Standort
↓	zwischen Auer Kotten und Glüder	Besatzpunkt
26 km	WKA Glüder	HDX-Standort
↓	zwischen Glüder und Schaltkotten	Besatzpunkt
32 km	WKA Schaltkotten	HDX-Standort
↓	zwischen Schaltkotten und Buchenhofen	Besatzpunkt
40 km	WKA Buchenhofen	HDX-Standort
50 km	Flusstrecke bei Wuppertal	Besatzpunkt
↓	Mutterbett Beyenburger Stausee	Besatzpunkt
65 km	WKA Beyenburger Stausee	HDX-Standort
70 km	Dahlerau	Besatzpunkt

Tab. 11: Rekonstruktion der Ortsbewegungen von Barbe 183 972 955 (siehe Abb. 60)

Barbe *Barbus barbus* ID-Code: 183 972 955 Totallänge: 46 cm markiert: 17.08.2016 Besatzort: stromab vom Auer Kotten	

Station	**HDX-Antenne Nr.**	**Datum**	**Uhrzeit**
Besatz stromab Auer Kotten		17.08.2016	10:15
WKA Auer Kotten Turbinenuntergraben	3	07./08.10.2016	20:14 - 00:29
Einstieg Fischpass am Krafthaus	2	08.10.2016	01:06 - 01:09
Ausstieg Fischpass am Krafthaus	8		03:23 - 05:20
Turbinenobergraben	11 - 13		05:51 - 05:54
WKA Glüder Einstieg Fischpass Wehr	24	06.11.2016	20:52 - 21:07
Ausstieg Fischpass Wehr	25		21:35 - 21:41
Schaltkotten Mutterbett	34	07.11.2016	22:16 - 23:00
Einstieg Fischrampe am Wehr	31	08.11.2016	04:58
Passage Fischrampe am Wehr	32 - 33		05:06 - 05:09
Abstiegskorridor unbekannt			
Einstieg Fischrampe am Wehr	31	11.12.2016	20:01 - 20:10
Passage Fischrampe am Wehr	32 - 33		20:12 - 20:15

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183972955	Barbe																

Legende:

	Besatzort bzw. Besatzstrecke
	Aufenthalt / Nachweis
WF	Entnahme nach Fang (durch Angler, Fangeinrichtung Buchenhofen etc.)
	Wehrstandorte bzw. Wupperabschnitte ohne HDX-Anlagen
WF	Wiederfang durch Elektrobefischung IfÖ
WF	Wiederfang stromab Reuschenberger Mühle durch IfÖ
← ?	Wanderweg fraglich

Abb. 60: Vereinfachtes tabellarisches Reisetagebuch derselben Barbe 183 972 955 (siehe Tab. 11)

Auf diese Weise lassen sich die z. T. sehr komplexen Ortsbewegungen zumindest in Hinsicht auf die maximal nachgewiesenen Auf- bzw. Abwanderstrecken für die einzelnen Fische im Wupperverlauf nachvollziehbar darstellen. In Anhang III sind die Reisetagebücher von insgesamt 653 Wildfischen aus 13 Arten enthalten (Tab. 12).

Abb. 61 stellt die Verteilung der nach stromauf- und stromabwärts registrierten Ortsbewegungen dar. Danach führten seit Beginn des Projekts im Oktober 2013 bis zum 10. Juni 2018 mehr als zwei Drittel der transpondierten und wenigstens einmal an einer HDX-Antenne registrierten potamodromen Exemplare sowie die wenigen markierten anadrome Rückkehrer nach stromauf gerichtete Ortsbewegungen durch.

Tab. 12: Anzahl individueller Reisetagebücher pro Art

Art	Individuen [n]
Aal	6
Äsche	102
Bachforelle	107
Bachsaibling	1
Barbe	139
Barsch	6
Döbel	8
Flussneunauge	2
Hasel	27
Hecht	3
Lachs	4
Meerforelle (cf.)	9
Nase	239
Summe	**653**

Die demgegenüber deutlich geringer Anzahl stromabwärts gerichteter Ortsbewegungen ist leider wenig belastbar und damit allenfalls als ein Trend zu verstehen, da die meisten HDX-Antennen in den Fischaufstiegsanlagen installiert waren, während keine Möglichkeit bestand, Abwanderbewegungen über die Wehre zu detektieren. Allerdings verharrten nur vergleichsweise wenige Exemplare an ihrem Besatzort, wo sie bei der nächsten Elektrobefischung wieder gefangen wurden oder sie hatten sich nach stromauf- und stromab über eine annähernd gleiche Distanz vom Besatzort entfernt. Hervorzuheben ist, dass etliche

potamodrome Individuen, insbesondere Nasen, die Wupper in einem Aktionsradius von mehr als 40 Flusskilometern durchstreift haben.

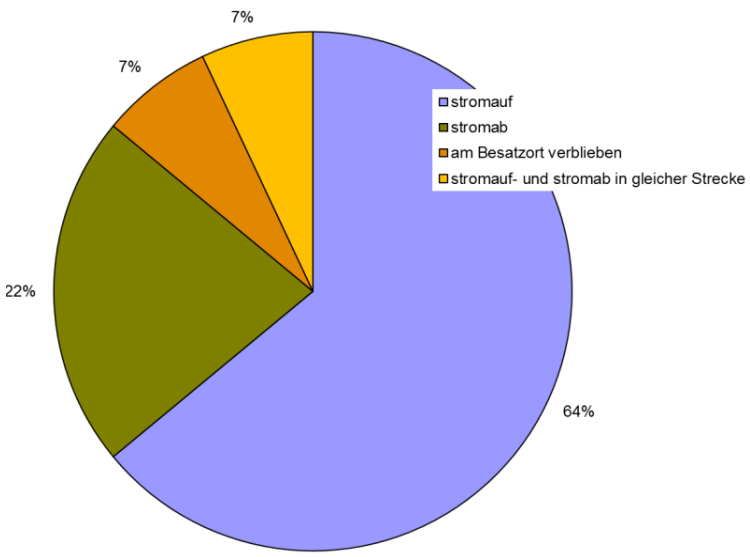


Abb. 61: Richtungsverteilung der Ortsbewegungen

Schlussfolgerung:

Eine wesentliche Erkenntnis aus der vorliegenden Untersuchung ist, dass die Einteilung der potamodromen Fischarten in „Kurz-“, und „Mitteldistanzwanderfische“, wie sie beispielsweise von JUNGWIRT et al. (2003) vorgenommen wurde, der Realität nicht gerecht wird. Bei fast allen Arten entfernte sich nämlich ein Teil der Exemplare während des gesamten Untersuchungszeitraumes kaum vom Besatzort, während andere Exemplare derselben Art großräumige Wanderungen, z. T. über mehrere Staustufen hinweg unternahmen. Selbst der aus ausgesprochener „Standfisch“ geltende Hecht, hat in einem Fall mehrere Dutzend Flusskilometer zurückgelegt und dabei sogar die Fischaufstiegsanlage am Schaltkotten überwunden. Auch von den wenigen anadromen Rückkehrern der Arten Flussneunauge, Meerforelle und Lachs wurden nicht nur zügige nach stromaufwärts gerichtete Bewegungen, sondern auch Ortswechsel nach stromab registriert und einige Fische verharrten sogar über mehrere Tage an derselben Station.

4 AUFWANDERUNG

4.1 SACKGASSENEFFEKT

Dem deutschsprachigen Regelwerk (DWA 2014) sowie dem vom Umweltministerium NRW heraus gegebenen Handbuch Querbauwerke (DUMONT et al. 2005) ist zu entnehmen, dass sich aufwandernde Fische stets an der Hauptströmung orientieren, die sie im Falle von Ausleitungskraftwerken in der Regel entsprechend der Abflussaufteilung über den Turbinenuntergraben zum Krafthaus leitet, so dass dort die Errichtung einer Fischaufstiegsanlagen unverzichtbar ist. Empfohlen wird darüber hinaus eine zweite Fischaufstiegsanlage am Ausleitungswehr (Abb. 62). An den Standorten Auer Kotten und Glüder (Abb. 63) erlaubte es die Antennenausstattung nun, die tatsächliche Aufteilung der aufwandernden Fische auf diese beiden Wanderkorridore zu dokumentieren.

Ergänzend zu den mit der HDX-Technik erarbeiteten biologischen Befunden, war die TU Darmstadt von der Bezirksregierung Düsseldorf damit beauftragt worden, 3d-HN-Modelle von den Strömungsverhältnissen am Standort Glüder anzufertigen (LEHMANN et al. 2017, Abb. 64).

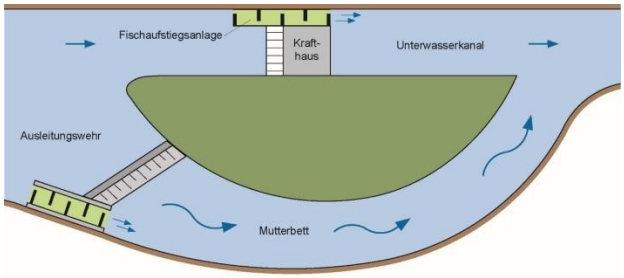


Abb. 62: Empfohlene Anordnung von Fischaufstiegsanlagen an einem Ausleitungskraftwerks (Quelle: DWA 2014)

Abb. 63: Zusammenfluss von Mutterbett (links) und Turbinenuntergraben in Glüder (rechts) (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Über die Projektlaufzeit haben die HDX-Antennen registriert, dass sowohl am Auer Kotten, als auch in Glüder 56 % der aufwandernden Fische das Mutterbett präferierten, während nur 44 % in den Turbinenuntergraben einschwammen. Diese Befunde scheinen auf den ersten Blick in Wiederspruch zur gängigen Lehrmeinung zu stehen. Deshalb ist ein detaillierterer Blick auf die Ergebnisse von den beiden Standorten unter Berücksichtigung der jeweiligen hydraulischen Gegebenheiten nach LEHMAN et al. (2017) erforderlich.

Auer Kotten

In Tab. 13 ist die artspezifische Verteilung der Erstdetektion von Fischen in Mutterbett und Turbinenuntergraben aufgeführt. Demnach sind die meisten Fische in das Mutterbett eingeschwommen. Hierbei handelte es sich vor allem um Nasen, während die Barben eine deutliche Bevorzugung des Turbinenuntergrabens zeigten. Die Äschen teilten sich je etwa zur Hälfte auf die beiden Wanderkorridore auf, die anderen Arten zu unterschiedlichen Anteilen, wobei die geringen Individuenzahlen keine abschließende Einschätzung zulassen.

Tab. 13: Verteilung der Erstnachweise verschiedener Arten auf Turbinenuntergraben und Mutterbett

Art	Turbinen-unter-graben [n]	Mutterbett [n]	Summe
Nase	39	95	134
Barbe	38	18	56
Äsche	25	25	50
Hasel	4	6	10
Bachforelle	4	3	7
Lachs	3	0	3
Döbel	1	1	2
Flussneunauge	0	2	2
Meerforelle (cf.)	2	0	2
Summe	**116**	**150**	**266**

Aufschlussreich in Hinblick auf die Wahl des Wanderkorridors ist ein Vergleich der bevorzugten Aufstiegszeiten von Barbe und Nase (Kap. 3.1) mit den in diesen Zeiträumen herrschenden Abflussverhältnissen (Kap. 2.1). Die Barben fangen im Mai an, im Gewässer umherzuziehen. In dieser Zeit strömt der Hauptabfluss der Wupper dem Kraftwerk zu und fließt somit über den Turbinenuntergraben ab, während das Mutterbett nur noch mit dem Restwasserabfluss von 1,2 m^3/s beaufschlagt wird. Die Barben teilen sich also ähnlich auf wie der Abfluss, indem die meisten Exemplare der Hauptströmung über den Unterwasserkanal zum Kraftwerk folgen.

Die Nasen hingegen sind bereits wesentlich früher im Jahr aktiv: Ihre Hauptaufstiegszeit entfällt auf die Monate Februar bis April. In diesem Zeitraum herrschen typischerweise so hohe Abflüsse in der Wupper, dass die Ausbaukapazität des Kraftwerks überschritten ist und weit mehr Wasser das Mutterbett durchfließt, als der Restwasserabfluss von 1,2 m^3/s.

Eine genauere Analyse der Aufteilung der aufwandernden Fische in Anhängigkeit von der Abflussaufteilung ist schwierig, denn Messwerte zur Abflussaufteilung existieren nicht und vom Pegel Glüder liegen für den Untersuchungszeitraum nur Wasserstände vor, aber keine Abflussdaten. Es ist lediglich bekannt, welche Abflüsse den Wasserständen bei Mittelwasser sowie mittlerem Hoch- und Niedrigwasser entsprechen (Tab. 14). Weil das Kraftwerk etwa auf Mittelwasser ausgelegt ist ergibt sich aus diesen Daten, dass im Bereich eines Wasserstandes zwischen 50 und 70 cm am Pegel Glüder der Ausbaudurchfluss des Kraftwerks Auer Kotten erreicht wird und der Abfluss im Mutterbett anfängt, über den Mindestabfluss von 1,2 m³/s hinaus anzusteigen. Bei Wasserständen < 50 cm ist also sicher, dass das Mutterbett nur vom Restwasser durchflossen wird; bei Wasserständen > 70 cm, dass der Abfluss im Mutterbett deutlich erhöht ist.

Tab. 14: Aus den Abflüssen am Auer Kotten extrapolierte Wasserstände

Wasserstand		Abfluss	
MNW	45 cm	MNQ	5,8 m³/s
MW	65 cm	MQ	13,7 m³/s
MHW	218 cm	MHQ	119,3 m³/s

Aus Tab. 15 ist ersichtlich, dass die Wahl des Aufstiegskorridors im hohem Maße von der Abflussaufteilung abhängig ist: Wird das Mutterbett ausschließlich vom Restwasserabfluss durchströmt (Wasserstand < 50 cm), dann orientieren sich 80 % der Nasen in Richtung Turbinenuntergraben, folgen also der Hauptströmung. Umgekehrt ist das Verhältnis jedoch, wenn das Mutterbett stärker beaufschlagt wird (Wasserstand > 70 bzs., > 90 cm), so dass es aufgrund höher Fließgeschwindigkeiten und größerer Wassertiefen einen attraktiven Wanderkorridor darstellt: In dieser Situation bevorzugen die Nasen zu 69 bzw. 82 % das Mutterbett. Ob die Attraktivität des flacheren Mutterbettes für Nasen ggf. auch deshalb größer ist, weil hier ein besseres Nahrungsangebot in Form von Algenaufwuchs vorhanden ist, als im tieferen Turbinenuntergraben, lässt sich nicht ausschließen.

Im Falle der Barbe ist die Abhängigkeit der Wahl des Wanderkorridors von der Abflussaufteilung vergleichbar, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägt

Tab. 15: Erstdetektionen von Nase und Barbe in Mutterbett oder Turbinenuntergraben in Abhängigkeit vom Wasserstand

Wasserstand	Nase				Barbe			
	Turbinen-untergraben		Mutterbett		Turbinen-untergraben		Mutterbett	
	n	%	n	%	n	%	n	%
< 50 cm	8	80%	2	20%	14	74%	5	26%
50 - 70 cm	15	38%	24	62%	17	65%	9	35%
70 - 90 cm	10	31%	22	69%	3	60%	2	40%
> 90 cm	6	18%	28	82%	0	-	0	-

Glüder

Auch in Glüder ist die Attraktivität des Mutterbettes für aufwandernde Fische größer als diejenige des Turbinenuntergrabens. Die Ursache hierfür ist, dass an diesem Standort aktuell nur eine der drei Turbinen des Kraftwerks betrieben wird, so dass das Mutterbett an diesem Standort im Mittel von 55 % des Wupperabflusses durchflossen wird. Hydraulische Messungen von LEHMANN et al. im Jahr 2017 ergaben, dass diese hohe Beaufschlagung des Mutterbettes am Zusammenfluss mit dem Turbinenuntergraben eine Fließgeschwindigkeit von mehr als 0,3 m/s erzeugt. Der Grenzwert für die rheoaktive Fließgeschwindigkeit, ab der sich Fische gegen eine Strömung ausrichten und gegen sie anschwimmen wird hier also überschritten und begünstigt ein Einschwimmen ins Mutterbett (Abb. 64). Unterstützt wird dies durch die sich am rechten Ufer der Wupper anlegende Strömung aus dem Turbinenuntergraben, so dass sich 56 % der nachgewiesenen aufwanderwilligen Fische nach stromauf ins Mutterbett zum Ausleitungswehr orientiert haben.

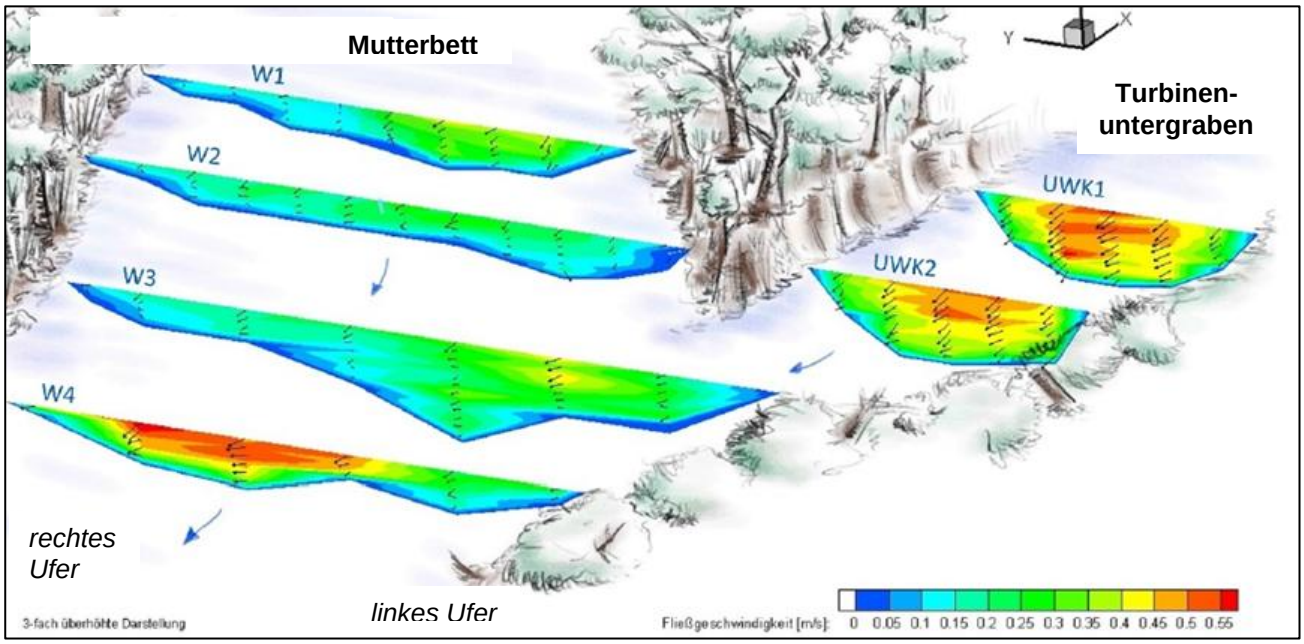


Abb. 64: Strömungsverteilung auf die beiden Wanderkorridore über das Mutterbett zum Ausleitungswehr (links) und über den Turbinenuntergraben zum Krafthaus (Quelle: LEHMANN et al. 2017)

Schlussfolgerung:

Handbuch Querbauwerke (DUMONT et al. 2005) und DWA-Merkblatt (DWA 2014) gehen vom Regelfall aus, bei dem der Hauptabfluss an Ausleitungsstandorten über das Kraftwerk erfolgt, während das Mutterbett nur von einer geringen Restwasserdotation durchflossen wird. Dass eine Fischaufstiegsanlage am Krafthaus unverzichtbar ist, bestätigen die Untersuchungsbefunde vom Auer Kotten, denn die Nasen schwammen in dieser Situation zu 80 % und die Barben zu 74 % in den Turbinenuntergraben ein. Am Ausleitungskraftwerk Niedermarsberg an der Diemel, wo die Restwasserdotation des Mutterbetts mit 0,1 m³/s wesentlich geringer ist, folgen die Aufwanderer der Hauptströmung sogar zu 95 % in den Unterwasserkanal (SCHWEVERS & ADAM 2018).

Darüber hinaus zeigen die vorliegenden Befunde aber auch, dass die Wahl des Aufstiegskorridors ganz wesentlich von der konkreten Abflussaufteilung beeinflusst wird: In Glüder wandert die Mehrzahl der Fische in das Mutterbett ein, weil dort der Hauptabfluss erfolgt und am Auer Kotten verlagert sich der Hauptaufstieg vom Turbinenuntergraben um so mehr hin zum Mutterbett, je stärker der Abfluss dort bei Überschreitung des Schluckvermögens des Kraftwerks zunimmt. Je nachdem, wie sich die Abflussdynamik des Gewässers und die artspezifische Jahresrhythmik des Fischaufstiegs überlagern, kann dies bei

verschiedenen Arten zu einer ganz unterschiedlichen Aufteilung auf die beiden Wanderkorridore führen.

Grundsätzlich bestätigt sich somit die Darstellung des Regelwerks, dass an Ausleitungsstandorten eine Fischaufstiegsanlage am Krafthaus unverzichtbar ist. Die Notwendigkeit einer zweiten Aufstiegsmöglichkeit am Ausleitungswehr ergibt sich aus der konkreten Abflussaufteilung am jeweiligen Standort. Im Falle des Ausleitungskraftwerks Auer Kotten hat es sich als zweifelsfrei richtig erwiesen, zwei Aufstiegsanlagen zu errichten und für den Standort Glüder ergibt sich die Notwendigkeit, auch am Krafthaus eine zweite Anlage nachzurüsten.

4.2 WIRKSAMKEIT EINER AUFWANDERSPERRE

Die an der Reuschenberger Mühle vorhandene Aufwandersperre am Zusammenfluss von Turbinenuntergraben und Mutterbett (Kap. 2.3.1) soll Fischen, die sich an der Hauptströmung nach stromauf orientieren, das Hineinschwimmen in den Turbinenuntergraben verwehren, und sie stattdessen dem Mutterbett zuführen, an dessen Ende sich neben dem Ausleitungswehr eine großzügig dimensionierte Fischrampe in Riegelbauweise befindet.

Die als Tiroler Rechen konstruierte Aufwandersperre war zum Zeitpunkt der Untersuchung im November 2013 vollständig mit Treibgut, d. h. Laub, Ästen und Plastikmüll verlegt, die Überfallhöhe zwischen Rechenoberkante und Unterwasserspiegel betrug in dieser Situation 0,4 m und die lichte Weite variierte zwischen 3 und 6 cm, da viele der Rechenstäbe verbogen waren. Im Rahmen der Elektrobefischung, die exakt zur Hauptaufstiegszeit anadromer Großsalmoniden stattfand, wurden im Turbinenuntergraben insgesamt 630 Fische und Neunaugen aus 21 Arten registriert (Tab. 16). Besonders hervorzuheben sind die Nachweise folgender anadromer Arten, für die das Einschwimmen in die Sackgasse des Turbinenuntergrabens zur Folge hat, dass diese potentiellen Elterntiere für eine Reproduktion ausfallen:

- 18 adulte Flussneunaugen mit Totallängen von 37 bis 41 cm,
- 4 adulte weibliche Meerforellen mit Totallängen von 49 bis 67 cm, wovon ein Rogner vollreif war, d. h. die Eier traten bereits bei leichtem Druck auf den Bauch aus, und schließlich
- 11 adulte Lachse mit Totallängen von 58,5 bis 78 cm, davon zwei vollreife Rogner.

Tab. 16: Übersicht über die im Turbinenuntergraben der Reuschenberger Mühle trotz Aufwandersperre nachgewiesenen Fische und Neunaugen (farbig hinterlegt sind anadrome Rückkehrer)

Art	**Totallänge bis [cm]**									
	5	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**Σ**
Aal			2	7	8	16	12	12	7	64
Äsche			2	2						4
Bachforelle		2	5	4	3					14
Bachneunauge			1							1
Barbe		1	18	8	3	2	9	1		42
Barsch			3	1						4
Döbel		5	11	15	2					33
Elritze	51	84	6							141
Flussneunauge					17	1				18
Giebel			1							1
Groppe		13	3							16
Gründling		18	26							44
Hasel	10	125	16	2						153
Lachs							3	7	1	11
Meerforelle						1	2	1		4
Nase					2					2
Neunauge (Querder)	1	1								2
Plötze		13	6							19
Regenbogenforelle					1					1
Dreistacheliger Stichling	1	1								2
Schmerle		1								1
Schwarzmundgrundel	4	29	20							53
Summe										**630**

Schlussfolgerung:

Im Turbinenuntergraben der Reuschenberger Mühle wurden trotz der Aufwandersperre verschiedenste potamodrome Wildfische und Individuen diadromer Arten in erheblicher Dichte angetroffen. Wenngleich auf der Grundlage einer einmalig durchgeführten Elektrobefischung nicht zu klären war, ob insbesondere die potamodromen Exemplare nun von oberstrom über das Wasserkraftwerk, oder von stromab aus der Wupper in den Turbinenuntergraben eingewandert sind, so sind die Nachweise von 33 anadromen Rückkehrern der Arten Flussneunauge, Lachs und Meerforelle ein sicherer Beleg dafür, dass die Aufwandersperre unwirksam ist. Auch kann ausgeschlossen werden, dass erhöhte Wasser-

stände in der Wupper dafür verantwortlich waren, dass Anadrome die als unpassierbare Wanderbarriere konzipierte Anlage überwinden konnten, denn solche Bedingungen hatten zuletzt Anfang Juni 2013, also deutlich vor Beginn der Aufwandersaison geherrscht.

4.3 AUFFINDBARKEIT, PASSIERBARKEIT UND PASSAGEDAUER DER VERSCHIEDENEN FISCHAUFSTIEGSANLAGEN

4.3.1 Schlitzpass und Raugerinne-Beckenpass Auer Kotten

Da am Auer Kotten mit dem Schlitzpass am Krafthaus und dem Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr zwei potentielle Aufwanderkorridore vorhanden sind, die von diversen HDX-Antennen überwacht wurden, lässt sich das Aufwandergeschehen an diesem Standort besonders differenziert darstellen. Als Voraussetzung für die Bewertung der Auffindbarkeit der beiden Fischaufstiegsanlagen wurde die Aufteilung der Aufwanderer auf Mutterbett und Turbinenuntergraben bereits eingehend betrachtet und diskutiert (Kap. 4.1).

Für die Beurteilung der Wirksamkeit der beiden Fischaufstiegsanlagen gilt es zu berücksichtigen, dass sich jedes Exemplar unabhängig davon, welchen Aufstiegskorridor es bei seiner Annäherung zunächst gewählt haben mag, stets umentscheiden kann. Tatsächlich zeigte sich anhand der Redetektionen der HDX-Antennen, dass ein beträchtlicher Teil der aufwandernden Fische nach mehr oder weniger kurzer Zeit, oft sogar mehrfach, zwischen den beiden vorhandenen Aufwanderkorridoren gewechselt hat. Entsprechend kamen zu den 116 direkt in den Turbinenuntergraben hinein geschwommenen Exemplaren weitere 54 Fische hinzu, die zuvor im Mutterbett registriert worden waren. Umgekehrt wurden im Mutterbett neben 150 Erstnachweisen zusätzlich 56 Fische dokumentiert, die zunächst den Turbinenuntergraben aufgesucht hatten. Die Grundgesamtheit der Fische, die sich dem Schlitzpass am Krafthaus angenähert haben besteht somit aus 170 Exemplaren. Der Anteil von ihnen, der nachfolgend auch am Einstieg in den Schlitzpass registriert wurde, ist in Tab. 17 als Auffindbarkeits-Quote ausgewiesen. Die Passierbarkeits-Quote gibt den Anteil der am Einstieg registrierten Exemplare an, die diese Fischaufstiegsanlage auf gesamter Länge passiert haben und nachfolgend auch an der Antenne am Ausstieg detektiert wurden. Analog errechnen sich die Quoten für den Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr, wobei der Berechnung insgesamt 206 Exemplare als Annäherer zugrunde liegen, die in das Mutterbett eingeschwommen sind.

Tab. 17: Quote der Auffindbarkeit und Passierbarkeit für die beiden Fischaufstiegsanlagen am Krafthaus und Ausleitungswehr des Auer Kotten

Art	Schlitzpass am Krafthaus			Raugerinne-Beckenpass am Wehr		
		Quote			Quote	
	Annäherer [n]	Auffind-barkeit	Passier-barkeit	Annäherer [n]	Auffind-barkeit	Passier-barkeit
Äsche	41	51 %	76 %	30	20 %	83 %
Bachforelle	6	83 %	100 %	3	0 %	0 %
Barbe	48	79 %	61 %	32	38 %	83 %
Döbel	1	0 %	0 %	2	50 %	0 %
Flussneunauge	0	0 %	0 %	2	50 %	100 %
Hasel	6	83 %	100 %	8	63 %	100 %
Lachs	3	67 %	100 %	0	0 %	0 %
Meerforelle (cf.)	2	100 %	100 %	0	0 %	0 %
Nase	63	14 %	22 %	129	67 %	70 %
Summe	**170**	**48 %**	**67 %**	**206**	**54 %**	**73 %**

Abgesehen von den zwei transpondierten Meerforellen (cf.) die den Schlitzpass am Krafthaus aufgefunden und passiert haben, stellen sich für die meisten Arten die Quote für die Auffindbarkeit der beiden Aufstiegsanlagen als ernüchternd gering dar. So wies der Schlitzpass mit seinem günstig positionierten Einstieg im Turbinenuntergraben in Summe mit 48 % eine geringere Auffindequote auf, als der nur über das Mutterbett erreichbare Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr, dessen durchschnittliche Quote für die Auffindbarkeit immerhin 54 % beträgt. Dieses bessere Ergebnis kam zudem zu Stande, obwohl leistungsstarke Arten wie Lachs, Meerforelle (cf.) und Bachforelle ausschließlich den Schlitzpass nutzten, während sie den Raugerinne-Beckenpass offenbar nicht gefunden haben bzw. erst gar nicht in das Mutterbett eingeschwommen sind.

Auch bei der Quote für die Passierbarkeit unterschieden sich die beiden Fischpässe, insbesondere bei der Betrachtung verschiedener Arten: Die höchsten Passagequoten mit 100 % zeigen wiederum die wenigen transpondierten anadromen Exemplare von Lachs, Meerforelle (cf.) und Flussneunauge, die nur den Schlitzpass am Krafthaus für ihren Aufstieg nutzten. Als gut passierbar erwiesen sich beide Fischaufstiegsanlagen auch für die potamodromen Arten Bachforelle und Hasel, sofern sie den Einstieg erst einmal gefunden hatten. Barbe und Äsche hingegen erreichten nur Quoten für die Passage der beiden Fischwege zwischen 61 und 83 %. Am schlechtesten war die Passagequote des Schlitzpasses für die Nase mit nur 22 %.

Die Passage des etwa 100 m langen Schlitzpasses meisterten die schnellsten Exemplare in etwa 10 Minuten, während die langsamsten Fische dafür mehrere Stunden benötigten. Bachforellen passierten diesen Wanderkorridor in durchschnittlich 45 Minuten, Hasel in etwa 60 Minuten und Äschen benötigen dafür etwa 80 Minuten.

Schlussfolgerung:

Mangels Vergleichsdaten von anderen Fischaufstiegsanlagen lässt sich kaum valide entscheiden, ob die ermittelten Quoten für die Auffindbarkeit und Passierbarkeit der untersuchten Fischpässe normal sind, oder auf Defizite bezüglich der Hydraulik, der Dimensionierung oder der Substratverhältnisse hinweisen (Kap. 4.4).

Auf der Grundlage der derzeitigen Kenntnislage sind die beiden Fischaufstiegsanlagen am Auer Kotten als nahezu gleich gut auffindbar und passierbar zu bewerten. Allerdings werden beide Anlagen nur von jedem dritten Exemplar, das in den Turbinenuntergraben bzw. das Mutterbett einschwimmt, auch erfolgreich aufgefunden und passiert. Anzumerken ist an dieser Stelle freilich, dass die ermittelten Quoten mangels einer adäquaten Anzahl transpondierter anadromer Aufwanderer fast ausnahmslos auf dem Verhalten potamodromer Arten basieren.

4.3.2 Raugerinne-Beckenpass Glüder

In Glüder unterscheidet sich die Situation für aufwandernde Fische insofern vom Auer Kotten, als hier nur am Ausleitungswehr eine Fischaufstiegsanlage vorhanden ist. Die HDX-Ausstattung an diesem Standort beschränkte sich auf das Unterwasser am Krafthaus sowie den Fischpass mit einer HDX-Antenne etwa 13 m stromauf des Einstiegs sowie einer zweiten Antenne am Ausstieg ins Oberwasser. Weder im Mutterbett, noch im unmittelbaren Einstiegsbereich des Raugerinne-Beckenpasses am Ausleitungswehr konnten HDX-Antennen installiert werden, weshalb keine Gesamtzahl der sich dem Fischpass annähernden Exemplare ermittelt werden konnte.

Immerhin kehrten von 71 am Krafthaus detektierten Fischen mindestens 15 Exemplare aus dieser Sackgasse ins Mutterbett zurück und schwammen bis in den Raugerinne-Beckenpass hinein. Die Gesamtzahl der „Auffinder“, die den Fischpass bereits auf gut einem Drittel der Länge passiert hatten, betrug 100 Individuen. Von diesen wurden 62 Exemplare an der oberwasserseitigen HDX-Antenne der Fischaufstiegsanlage registriert,

so dass die Passagequote 62 % beträgt (Tab. 20). Auch an diesem Standort haben die beiden einzigen Anadromen, ein Lachs und eine Meerforelle cf. den Aufstieg über den Fischpass erfolgreich absolviert. Bei den Potamodromen zeichnen sich bei der Passierbarkeit artspezifische Unterschiede ab: Während die Passagequote des Raugerinne-Beckenpasses bei den Salmoniden und Barben zwischen 78 und 100 % lag, haben Hasel und Döbel offensichtlich Probleme mit der Überwindung des Raugerinne-Beckenpasses. Auch konnten nur wenige adulte Nasen die gesamte Fischaufstiegsanlage komplett überwinden, während etwa die Hälfte der registrierten Fische dieser Art lediglich an der untersten Antenne redetektiert wurde.

Bachforellen und Äschen benötigen zur Überwindung der ca. 17 m langen, hochturbulenten Strecke zwischen den beiden HDX-Antennen im Raugerinne-Beckenpass mindestens 4 bis maximal 32 Minuten. Die schnellsten Barben und Nasen bewältigten diesen Aufwanderkorridor in 12 Minuten, wobei einzelne Fische auch mehrere Stunden in der Anlage verbrachten.

Tab. 20: Quote der Passierbarkeit des Raugerinne-Beckenpasses in Glüder

Art	**Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr**	
	Auffinder [n]	**Quote Passierbarkeit**
Äsche	6	83 %
Bachforelle	9	78 %
Barbe	26	88 %
Döbel	1	0 %
Hasel	8	25 %
Lachs	1	100 %
Meerforelle (cf.)	1	100 %
Nase	48	48 %
Summe	**100**	**62 %**

<u>Schlussfolgerung:</u>

Der steile und hochturbulente Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr Glüder entspricht in zahlreichen Kriterien nicht dem Stand der Technik. Dies spiegelt sich in der niedrigen Passagequote von 62 % wieder, die im Vergleich zu den übrigen Fischaufstiegsanlagen an der Wupper zudem deutlich überschätzt ist, da die von der untersten HDX-Antenne redetektierten Fische bereits gut ein Drittel der Wegstrecke ins Oberwasser

erfolgreich zurückgelegt haben. Angesichts der deutlichen hydraulischen Überlastung dieses Fischpasses muss davon ausgegangen werden, dass viele aufstiegswillige Exemplare die unterste HDX-Antenne gar nicht erst erreicht haben. Ein weiteres Indiz für die schlechte Passierbarkeit sind zahlreiche Abbrüche des Aufstiegs von Fischen der Arten Hasel, Döbel und Nase, die in der Mehrzahl nur an der unteren Antenne registriert wurden.

4.3.3 Fischrampe in Riegelbauweise am Schaltkotten

Auch am Wasserkraftstandort Schaltkotten existiert lediglich am Ausleitungswehr eine Fischaufstiegsanlage in naturnaher Bauweise, die auf gesamter Länge vom Oberwasser des Wehres ins Unterwasser vorgebaut ist. Außer der Sackgasse des Turbinenuntergrabens des Kraftwerks, wo keinerlei Aufstiegsmöglichkeit vorhanden ist, besteht damit eine zweite Sackgasse zwischen dem Wehrfuß und dem Einstieg in den Fischpass. Diese nachfolgend als Mutterbett bezeichnete und mit einer HDX-Antenne überwachte Gewässerstrecke wird nur durchflossen, wenn der Abfluss der Wupper den Ausbaudurchfluss des Kraftwerks überschreitet. Da dies während der meisten Zeit des Jahres nicht geschieht, konkurriert die Leitströmung aus der Fischaufstiegsanlage nur selten mit einem zusätzlichen Teilabfluss über das Wehr. Dies immerhin begünstigt die Auffindbarkeit der Fischrampe im Querschnitt des Mutterbettes.

Insgesamt näherten sich 54 Fische dem Einstieg des Raugerinne-Beckenpass, wobei 6 zunächst zum Wehrfuß aufgeschwommen waren, bevor sie sich nach stromabwärts umorientierten und so die Fischaufstiegsanlage auffanden. Von allen Annäherern passierten 70 % die im unteren Abschnitt des Fischpasses installierten Antennen. Dabei waren deutliche artspezifische Unterschiede festzustellen (Tab. 21): Außer der einzigen aufgestiegenen Meerforelle (cf.) waren Bachforellen mit einer Passagequote von 84 % am erfolgreichsten, gefolgt von Nase und Barbe mit jeweils etwa 70 %. Von den Äsche passierte hingegen nur jede Dritte (33 %) die Fischrampe. Für alle anderen nur in Einzelexemplaren registrierten Arten wurde keine einzige erfolgreiche Passage dokumentiert. Mit Blick auf die Beurteilung der Passierbarkeit ist anzumerken, dass nur die stromabwärtige Hälfte der Fischaufstiegsanlage von HDX-Antennen überwacht werden konnte, und damit nicht sicher ist, ob jeder in die Anlage hineingeschwommene Fisch, diese auf gesamter Länge bis ins Oberwasser durchschwommen hat.

Aufgrund der geringen Distanz bis zur obersten HDX-Antenne wurden jeweils Passagezeiten von nur wenigen Minuten Dauer ermittelt.

Tab. 21: Quote der Passierbarkeit der Fischrampe in Riegelbauweise am Schaltkotten

Art	**Fischrampe am Ausleitungswehr**	
	Auffinder [n]	**Quote Passierbarkeit**
Äsche	3	33 %
Bachforelle	19	84 %
Bachsaibling	1	0 %
Barbe	13	69 %
Döbel	1	0 %
Hasel	1	0 %
Meerforelle (cf.)	1	100 %
Nase	15	73 %
Summe	**54**	**70 %**

Schlussfolgerung:

Über den vermutlichen Sackgasseneffekt des Turbinenuntergrabens sowie die Auffindbarkeit des Fischpasses im Mutterbett des Schaltkotten konnten keine Aussagen getroffen werden, da die im Fischpass installierten Antennen nur den unteren Einstiegsbereich überwachten.

Die Quoten für die Passierbarkeit waren artspezifisch sehr unterschiedlich, was nicht zuletzt auf die vergleichsweise geringe Anzahl von Annäherern zurückzuführen sein dürfte. Für die häufiger nachgewiesenen Arten Bachforelle, Barbe und Nase ergaben sich mit 70 bis 85 % vergleichbare Passagequoten wie am Auer Kotten. Allerdings steigt bei Abflüssen über Mittelwasser die Fließgeschwindigkeit auf der Fischrampe stark an und die Anlage ist in solchen Fällen hydraulisch überlastet. In wie weit dies zu einer Einschränkung der Passierbarkeit führt, konnte nicht abschließend geklärt werden, da die anfälligen HDX-Kabelantennen gerade bei hoher Beaufschlagung oft durch Treibgut beschädigt wurden.

4.3.4 Umgehungsgerinne in Riegelbauweise Buchenhofen

Am Flusskraftwerk Buchenhofen wurden der unmittelbare Aus- und Einlauf des in Beckenbauweise angelegten Umgehungsgerinnes mit HDX-Antennen überwacht. Von 36 transpondierten Fischen, die sich vom Unterwasser her dem Einstieg genähert haben, erreichten 24 Individuen das Oberwasser (Tab. 22).

Für diesen Standort kann insbesondere für Großsalmoniden und Bachforellen keine genaue Passagequote errechnet werden, da in deren Hauptaufstiegszeit eine Fangvorrichtung im mittleren Abschnitt des Umgehungsgerinnes betrieben wird, die die vollständige Passage bis ins Oberwasser verhindert. Lachse, Meer- und Bachforellen wurden deshalb nur von der HDX-Antenne am Einstig registriert. Eine der drei dort detektierten Meerforellen (cf.) wurde nach Angaben von WUTTKE (mündl. Mitteilung, 2015) der Fanganlage entnommen, während sich die beiden anderen dem Fang entzogen hatten. Offensichtlich brachen sie ihre Aufwanderung vor der Fanganlage ab und kehrten ins Unterwasser zurück.

Bei der Bachforelle errechnet sich eine Passagequote von 73 %. Hierbei handelt es sich jedoch um einen Mindestwert, denn ohne den Betrieb der Fanganlage wäre diese Quote vermutlich höher ausgefallen. Bemerkenswert ist immerhin, dass sämtliche eingeschwommenen Äschen und Barben die Fischaufstiegsanlage erfolgreich durchschwommen haben. Bei der Nase hingegen haben nur 5 von 8 Exemplaren das Oberwasser erreicht, woraus eine Passagequote von 63 % resultiert.

Außerhalb der Stellzeiten der Fanganlage benötigten die schnellsten Großsalmoniden für die etwa 170 m lange Strecke zwischen den beiden HDX-Antennen etwa eine Stunde. Sämtliche aufgestiegenen Exemplare potamodromer Arten hatten die Fischaufstiegsanlage spätestens innerhalb von 4 Stunden überwunden.

Tab. 22: Quote der Passierbarkeit des Umgehungsgerinnes in Buchenhofen

Art	**Umgehungsgerinne**	
	Auffinder [n]	**Quote Passierbarkeit**
Äsche	1	100 %
Bachforelle	22	> 73 %
Barbe	2	100 %
Meerforelle (cf.)	3	-
Nase	8	63 %
Summe	**36**	**> 67 %**

Schlussfolgerung:

Leider lassen sich im Rahmen des fischökologischen Monitorings keine Aussagen zur Auffindbarkeit des Umgehungsgerinnes Buchenhofen für die 307 im Unterwasser besetzten Exemplare machen. Mit nur einer einzigen Antenne am Einstieg in die Fischaufstiegsanlage ließ sich nämlich nicht ermitteln, wie viele Fische sich überhaupt diesem Standort annäherten. Gravierende Mängel in Form von Abweichungen von den Vorgaben des gültigen Regelwerks (DWA 2014) ergab jedoch eine Vermessung der Anlage durch das Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH im Jahr 2017 (HOFFMAN & FEY 2017). Zudem ist davon auszugehen, dass die Einleitung des geklärten Abwassers der Kläranlage Wuppertal wenige Meter stromauf des Einstiegs die Auffindbarkeit des Umgehungsgerinnes nicht unterstützt, sondern dessen Auffindbarkeit sogar zusätzlich einschränkt, weil sich das eingeleitete Klärwasser bezüglich seiner chemischen Zusammensetzung und seiner Temperatur stark vom Wasser der Wupper unterscheidet.

Aufgrund erheblicher Abweichungen von den geometrischen und hydraulischen Grenzwerten des Regelwerks stuften HOFFMAN & FEY (2017) das Umgehungsgerinne als für Fische nicht passierbar ein. Diese pessimale Einschätzung wird durch die vorliegenden fischökologischen Befunde nicht unterstützt, denn immerhin zwei Drittel der eingeschwommenen Fische erreichten auch das Oberwasser. Hierbei handelte es sich allerdings um größere, adulte Exemplare, die aufgrund ihrer Schwimmleistung in der Lage sind, die bis zu 0,4 m hohen Gefällesprünge im Verlauf des Umgehungsgerinnes zu passieren. Leistungsschwächere Arten und Engwicklungsstadien hingegen werden daran scheitern.

4.3.5 Umgehungsgerinne in Riegelbauweise Beyenburger Stausee

Von der HDX-Antenne am Einstieg in das Umgehungsgerinne am Beyenburger Stausee wurden 28 Fische redetektiert, bei denen es sich um 26 Bachforellen, einen nicht zweifelsfrei als Meerforelle bestimmbaren Großsalmoniden und eine Äsche gehandelt hat (Tab. 23).

Die Meerforelle (cf.) war als Rückkehrer im Mai 2016 stromab des Auer Kotten markiert und danach an allen HDX-Antennenanlagen bis ins Oberwasser der Staustufe Glüder detektiert worden. Danach allerdings verlor sich die Spur des Fisches, bis er am 28. 11. 2016 von der oberen HDX-Antenne in der Fischaufstiegsanlage am Beyenburger

Stausee wieder registriert wurde. Für diesen bizarren Befund kommen zwei Erklärungsmöglichkeiten in Betracht:

- Es ist möglich, wenngleich sehr unwahrscheinlich, dass der transpondierte Fisch sämtliche HDX-Antennen am Schaltkotten, in Buchenhofen sowie am Einstieg in das Umgehungsgerinne in Beyenburg unbemerkt passieren konnte.
- Vielmehr ist anzunehmen, dass die vermeintliche Meerforelle im Rahmen des alljährlichen Großsalmonidenfangs für das Wanderfischprogramm NRW erbeutet und nach dem Abstreifen wieder im Oberwasser des Beyenburger Stausees in die Wupper entlassen wurde.

Vergleichbar ist der Fall einer 47,5 cm lange, im Sommer 2015 stromab von Buchenhofen transpondierte Bachforelle, die am 25. 11. 2017 von der oberwasserseitigen HDX-Antenne am Beyenburger Stausee registriert wurde.

Von der Gesamtzahl der Fische, die sich dem Umgehungsgerinne genähert hatten, wurden 16 Bachforellen und eine Äsche nur am unterwasserseitigen Einstieg erfasst. Diese Fische kehrten entweder ins Unterwasser zurück, ohne einen Aufstiegsversuch unternommen zu haben, oder sie hielten sich bis Projektende in dem fast 200 m langen Umgehungsgerinne auf. Erfolgreiche Passagen der gesamten Fischaufstiegsanlage bis ins Oberwasser wurden lediglich für 10 Bachforellen sowie für die bereits erwähnte Meerforelle (cf.) dokumentiert, wobei dieses Exemplar nach einem Abstieg bis ins Unterwasser des Beyenburger Stausees erneut über den Fischpass aufgestiegen war. Insgesamt resultiert aus den registrierten Bewegungsmustern eine Passagequote von 39 %.

Die schnellsten Bachforellen überwanden die etwa 180 m lange Strecke zwischen den beiden HDX-Antennen im Unter- und Oberwasser innerhalb einer Stunde. Die Meerforelle (cf.), die mit einer Totallänge von 53 cm der größte erfolgreiche Aufsteiger am Beyenburger Stausee, benötigte dafür etwa 1,5 Stunden. Die längste dokumentierte Verweildauer eines Fisches zwischen dem Ein- und Ausstieg des Umgehungsgerinnes betrug 27 Stunden.

Tab. 23: Quote der Passierbarkeit des Umgehungsgerinnes am Beyenburger Stausee

Art	Umgehungsgerinne	
	Auffinder [n]	Quote Passierbarkeit
Äsche	1	0 %
Bachforelle	26	38 %
Meerforelle (cf.)	1	100 %
Summe	**28**	**39 %**

Schlussfolgerung:

In der stromabwärts der Fischaufstiegsanlage am Beyenburger Stausee anschließenden Gewässerstrecke wurden insgesamt 544 Fische markiert. Davon wurden nur 28 Individuen, vor allem Bachforellen, am Einstieg in das Umgehungsgerinne registriert, von denen lediglich 10 bis ins Oberwasser aufstiegen. Insgesamt ergibt sich damit für die Bachforelle eine Passagequote von 36 %, während eine Beurteilung der Passierbarkeit für andere Arten mangels Annäherern und Aufsteigern nicht möglich ist.

Das Umgehungsgerinne weist zwar keine offensichtlichen konstruktiv/hydraulischen Mängel auf, doch darf nicht übersehen werden, dass es am Ausleitungswehr eines Stollenkraftwerks gelegen ist. Entsprechend der Befunde zum Sackgasseneffekt in Kap. 4.1 steht damit zu befürchten, dass viele aufstiegswillige Fische im Bereich des höher beaufschlagten Turbinenuntergrabens, d. h. im Bereich des Stollenauslasses vergeblich nach einer Aufstiegsmöglichkeit suchen und erst gar nicht über das Mutterbett bis zum Umgehungsgerinne am Staubauwerk gelangen.

4.4 VERGLEICH DER FISCHAUFSTIEGSANLAGEN

Die aktuell im Wuppersystem vorhandenen Fischaufstiegsanlagen sind im Laufe der vergangenen zwei Dekaden in unterschiedlichen Bauweisen errichtet worden. Dabei blieben an einigen der im Rahmen des vorliegenden Projekts untersuchten Standorte die schon damals geltenden (DVWK 1996, DUMONT et al 2005) und erst Recht die heutigen, präzisierten Regeln und Grenzwerte gemäß DWA (2014) unberücksichtigt.

Eine Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlagen im Untersuchungsgebiet anhand hydraulisch-konstruktiver Parameter war nicht Gegenstand des fischökologischen Monitorings war. Dennoch lassen sich auch ohne solche Messwerte Defizite

hinsichtlich Auffindbarkeit und Passierbarkeit benennen, und zwar allein anhand der vorliegenden fischökologischen Befunde.

Bei deren Interpretation ist allerdings Vorsicht geboten, denn aufgrund der geringen Anzahl der bisher mit der HDX-Technik durchgeführten Untersuchungen von Fischaufstiegsanlagen fehlt bislang noch ein standardisierter Maßstab für eine objektive Bewertung der Befunde hinsichtlich der Parameter Auffindbarkeit und Passierbarkeit (Abb. 65, Tab. 24). Zumindest eine vergleichende Bewertung und die Erstellung einer Rangfolge der Funktionsfähigkeit der untersuchten Anlagen sind jedoch möglich:

- Die Auffindbarkeit des Umgehungsgerinnes am Beyenburger Stausee ist in zweierlei Hinsicht pessimal: Die Anlage liegt am Ausleitungswehr eines Stollenkraftwerks und ihr Einstieg befindet sich nicht unmittelbar am Fuß des Wanderhindernisses. Nur einem geringen Teil der markierten Fische gelang es deshalb, die Anlage aufzufinden. Selbst von denjenigen Fischen die den Einstieg gefunden haben, vermochte nur ein Drittel bis ins Oberwasser aufzuwandern. Insgesamt erreicht das Umgehungsgerinne damit die geringste Effizienz aller im Rahmen des Projektes untersuchten Fischaufstiegsanlagen.
- Als die zweitschlechteste Fischaufstiegsanlage erwies sich der Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr Glüder. Tatsächlich ist die Passierbarkeit dieser Anlage sicherlich noch deutlich stärker eingeschränkt, als dies die rechnerische Passagequote von 62 % zum Ausdruck bringt. Einerseits konnte die unterste HDX-Antenne nämlich erst nach einem Drittel der Wegstrecke zum Oberwasser installiert werden so dass nur solche Exemplare in die Berechnung eingehen, die den hydraulisch stark überlasteten, steilen und hochturbulenten unteren Abschnitt der Anlage bereits erfolgreich passiert haben. Andererseits sind die erfolgreichen Passagen fast ausschließlich auf schwimmstarke Exemplare großwüchsiger Arten zurückzuführen.
- Stimmiger scheinen demgegenüber die Passagequoten von 67 bis 70 % für die beiden, mit zahlreichen und gravierenderen Mängeln behafteten naturnahen Fischaufstiegsanlagen am Schaltkotten und in Buchenhofen zu sein. Diese Mängel sind in Tab. 24 stichwortartig aufgeführt.
- Kaum besser sind die Passagequoten des Schlitzpasses und des Raugerinne-Beckenpasses am Auer Kotten mit 67 % bzw. 73 %, obwohl sie bezüglich Positionierung, Geometrie und Hydraulik weitgehend den einschlägigen Regelwerken entsprechenden. Insofern bleiben die Befunde hier deutlich hinter den Erwartungen zurück.

Tab. 24: Defizite der Fischaufstiegsanlagen an der Wupper

Fischaufstiegsanlage	Defizite	Ø-Passage-quote für alle Auffinder
Schlitzpass am Auer Kotten	• Hydraulik in den Umkehrbecken	67 %
Raugerinne-Beckenpass am Auer Kotten	• geringfügig ins Unterwasser vorgebauter Einstieg	73 %
Raugerinne-Beckenpass in Glüder	• falsche Position am Ausleitungswehr • Einstieg zum Wehrfuß gewendelt • hohes Sohlengefälle 1:12,5 • zu hohe Gefällesprünge • zu kleine Beckenabmessungen • zu hohe Turbulenzen in den Beckenstrukturen	62 %
Fischrampe in Riegel-bauweise am Schaltkotten	• falsche Position am Ausleitungswehr • zu weit ins Unterwasser gebauter Einstieg • unregelmäßige, z. T. zu hohe Gefällesprünge • bei Abflüssen größer Mittelwasser hohe Turbulenzen	70 %
Umgehungsgerinne in Riegelbauweise in Buchenhofen	• zu weit ins Unterwasser gebauter Einstieg • Einstieg zum Kraftwerk gewendelt • additive Wasserzugabe aus der Kläranlage mit im Vergleich zum Flusswasser unter-schiedlicher Temperatur und chemischer Beschaffenheit • unregelmäßige und zu hohe Gefällesprünge an einigen Riegeln • teilweise zu kleine Beckenabmessungen mit hohen Turbulenzen	67 %
Umgehungsgerinne am Beyenburger Stausee	• falsche Position am Ausleitungswehr • Einstieg stromab vom Wehrfuß	39 %

Neben den Passagequoten geben die für jede Fischaufstiegsanlage ermittelten Aufstiegs-geschwindigkeiten ($v_{Aufstieg}$) Hinweise auf die Qualität der Wanderkorridore. Eine gemäß den Regeln der Technik hydraulisch und geometrisch einwandfrei konstruierte Fischauf-stiegsanlage können Fische innerhalb weniger Minuten überwinden, wobei nach bishe-rigen Erkenntnissen die Baulänge nur einen vergleichsweise geringen Einfluss nimmt. So benötigten beispielsweise die schnellsten Fische zur Überwindung des immerhin 550 m langen Doppelschlitzpasses in Geesthacht nur etwa 20 Minuten, entsprechend einer Geschwindigkeit über Grund von 0,46 m/s (SCHWEVERS, mündl. Mitt., 2018).

Abb. 65: Strömungscharakteristik im a) Raugerinne-Beckenpass und b) Schlitzpass am Auer Kotten, c) Fischrampe in Riegelbauweise am Schaltkotten, d) Umgehungsgerinne in Riegelbauweise in Buchenhofen, e) Raugerinne-Beckenpass in Glüder, f) Umgehungsgerinne in Riegelbauweise am Beyenburger Stausee (Fotos: Institut für angewandte Ökologie)

Da sich diverse Exemplare in den sehr viel kürzeren Fischpässen an der Wupper zum Teil sehr lang aufgehalten haben, wurden zur Ermittlung der durchschnittlichen Aufstiegsgeschwindigkeit nur solche Passagen betrachtet, die von den Fischen innerhalb eines Tages absolviert worden waren (Abb. 66).

Hierbei zeigt sich generell, dass die Geschwindigkeit aufwandernder Fische hier relativ gering ist: Im Umgehungsgerinne Buchenhofen wurde die etwa 170 m lange Strecke zwischen den HDX-Antennen von Fischen mit einer durchschnittlichen Aufstiegsgeschwindigkeit von 0,025 m/s überwunden und im Raugerinne am Schaltkotten wurden sogar 0,027 m/s erreicht, wobei die überwachte Strecke allerdings extrem kurz war. In dem 180 m langen Umgehungsgerinne am Beyenburger Stausee, dem 100 m langen Schlitzpass sowie dem 40 m langen Raugerinne-Beckenpass am Auer Kotten betrug die mittlere Geschwindigkeiten immerhin noch zwischen 0,015 bis 0,018 m/s. Mit Abstand am langsamsten erfolgten hingegen Passagen des Raugerinne-Beckenpasses in Glüder, wo die Fische in der von Antennen überwachten Distanz von 17 m eine mittlere Aufstiegsgeschwindigkeit von lediglich 0,007 m/s erreichten.

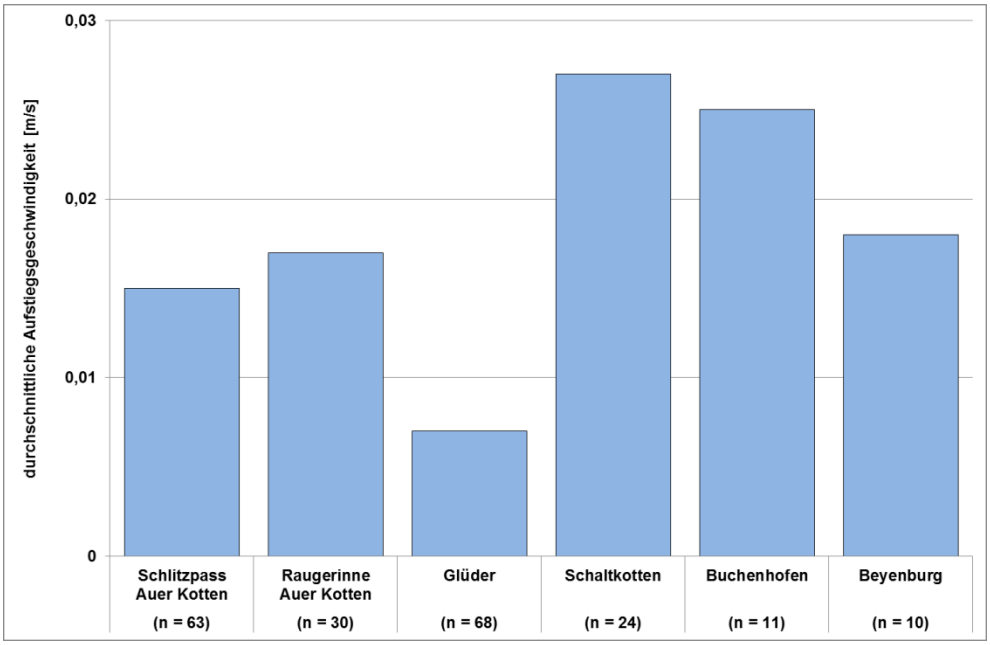


Abb. 66: Durchschnittliche Aufstiegsgeschwindigkeit von Fischen in allen untersuchten Fischaufstiegsanlagen (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Die Ergebnisse einer auf Artniveau durchgeführten Analyse unterstreichen die bisher vorgestellten Befunde zur Funktionsfähigkeit des Raugerinne-Beckenpass in Glüder: Im Vergleich zum Schlitzpass am Auer Kotten sind hier fast alle Arten deutlich langsamer. Dies betrifft nicht nur potamodrome Cypriniden wie Hasel, Barbe und Nase, sondern auch grundsätzlich leistungsstärkere Arten wie Salmoniden und Äschen (Abb. 67). Nimmt man zu diesen Befunden die Quote der in Glüder gescheiterten Aufstiegsversuche von 52 % für Nase und 75 % für Hasel hinzu, besteht kaum ein Zweifel, dass dieser Fischpass allenfalls sehr eingeschränkt funktionsfähig ist. Erschwerend kommen zu der bereits als Ursache identifizierten hydraulischen Überlastung, die teilweise sehr geringen Spaltweiten an den Querriegeln hinzu, wo sich mittlerweile die ersten Wasserbausteine aus ihrer Verankerung gelöst und verschoben haben, bzw. umgestürzt sind.

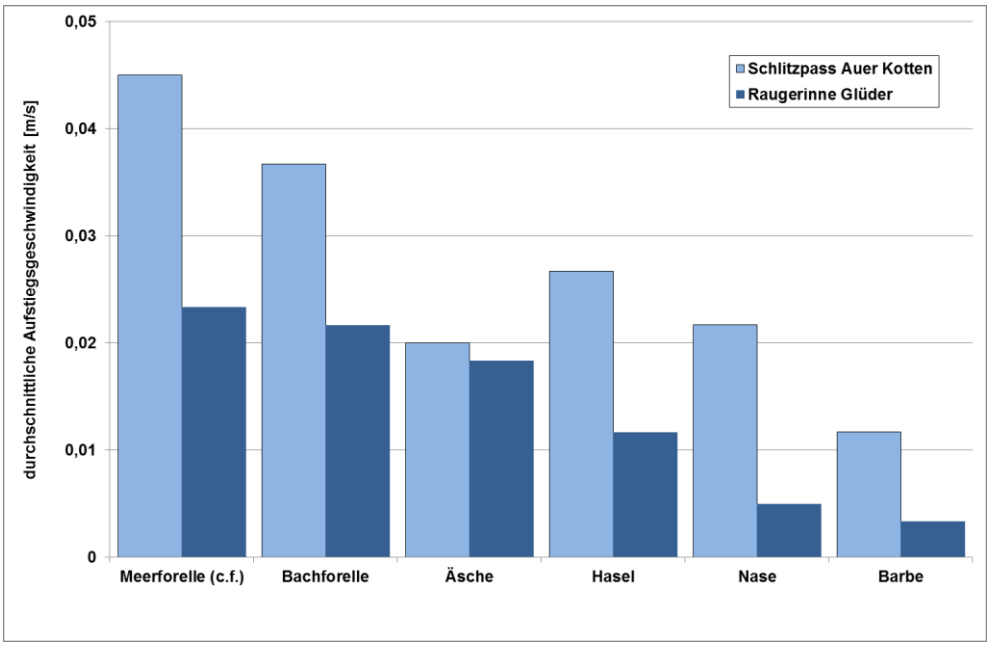


Abb. 67: Vergleich der durchschnittlichen Aufstiegsgeschwindigkeit der verschiedenen Fischarten im Schlitzpass des Auer Kotten und im Raugerinne-Beckenpass am Wehr Glüder (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Schlussfolgerung:

Die im Rahmen der vorliegenden Studie betrachteten Fischaufstiegsanlagen lassen sich aufgrund der Ergebnisse aus der HDX-Untersuchung in Kombination mit erkennbaren konstruktiven Defiziten in folgende Rangfolge der Funktionstüchtigkeit bringen, die vor allem die Passierbarkeit berücksichtigt:

gut	Schlitzpass und Raugerinne-Beckenpass Auer Kotten
mäßig	Fischrampe in Riegelbauweise Schaltkotten
mäßig	Umgehungsgerinne in Riegelbauweise Buchenhofen
schlecht	Raugerinne-Beckenpass Glüder
nicht abschließend bewertbar	Umgehungsgerinne Beyenburger Stausee

4.5 WANDERSTRECKEN IN DER WUPPER NACH STROMAUF

Anhand der Detektionen der Antennenanlagen im Verlauf der Wupper lassen sich die nach stromauf gerichteten Ortsbewegungen der transpondierten Wildfische nachvollziehen (Tab. 25, Abb. 68). Danach hat kein einziges der 315 abstrom vom Auer Kotten besetzten Individuen die gesamte etwa 70 km lange Strecke bis in die Stauhaltung des Beyenburger Stausees zurückgelegt (Tab. 10). Eine Barbe und vier Nasen sind aus dem Unterlauf der Wupper über 50 km bis Wuppertal aufgeschwommen, während 45 % der betrachteten Fische zumindest den Auer Kotten stromauf passiert haben und etwa 10 % auch den darauf folgenden Wasserkraftstandort Glüder.

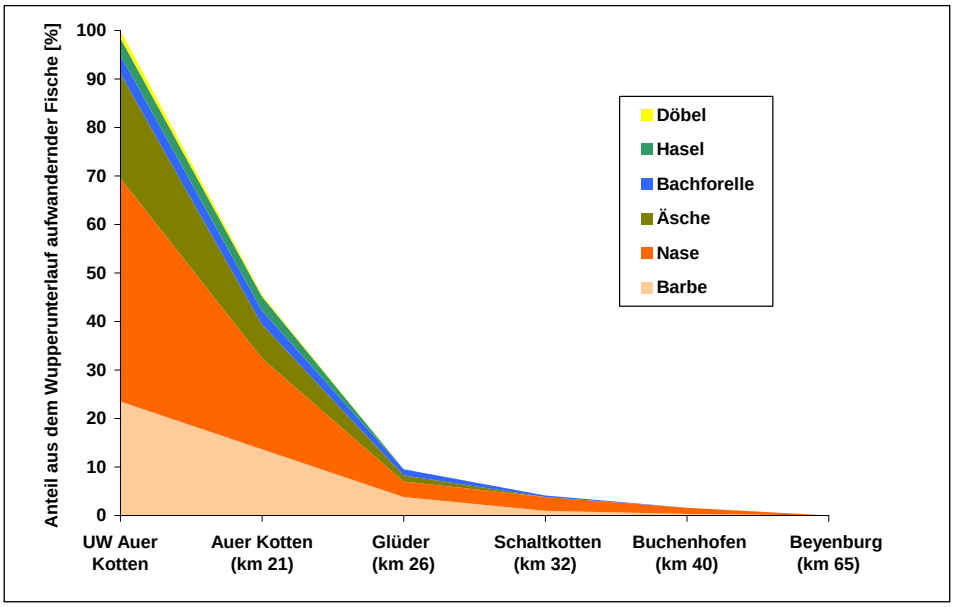


Abb. 68: Aufstieg von Wildfischen vom Unterwasser des Auer Kotten bis ins Oberwasser des Beyenburger Stausees (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Tab. 25: Bilanz der Durchgängigkeit der einzelnen Standorte an der Wupper

Art	Besatz	Passagen [n]				
		Auer Kotten	Glüder	Schalt-kotten	Buchen-hofen	Beyen-burger Stausee
Barbe	74	43	12	3	1	0
Nase	145	59	10	9	4	0
Äsche	68	22	4	0	0	0
Bachforelle	12	9	4	1	0	0
Hasel	11	9	0	0	0	0
Döbel	5	1	0	0	0	0
Summe	**315**	**143**	**30**	**13**	**5**	**0**
Anteil	**100 %**	**45 %**	**10 %**	**4 %**	**2 %**	**0 %**

Schlussfolgerung:

Die Rekonstruktion der stromaufwärts gerichteten Ausbreitung von Wildfischen lässt erkennen, dass die im Unterlauf besetzten Fische unterschiedlich lange Gewässerstrecken in der Wupper zurück legten, wobei sich in Hinblick auf den Aktionsradius artspezifische Unterschiede ausmachen lassen: Demnach vollziehen insbesondere Nasen und Barben in Einzelexemplaren großräumige stromauf gerichtete Ortsbewegungen von über 50 km Länge. Bachforellen haben in der Wupper einen Aktionsradius von bis zu 30 km und Äschen von etwa 25 km. Döbel und Hasel legten Distanzen von weniger als 20 km zurück und für umher streifende Aale sowie Barsch, Hecht und Bachsaibling wurde ein Aktionsradius von weniger als 10 km ermittelt.

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt ist die Funktionsfähigkeit der Fischaufstiegsanlagen ab der Stauhaltung Glüder eingeschränkt, was der Ausbreitung von Fischen nach stromauf sicherlich nicht dienlich ist. Aufgrund fehlender Kenntnisse über die individuelle Befindlichkeit und Motivation insbesondere potamodromer Arten, in Kombination mit der für Fische relevanten Lebensraumqualität in den Gewässerstrecken zwischen den vorhandenen Wanderhindernissen, lässt sich jedoch nicht entscheiden, ob die markierten Exemplare nicht weiter aufwandern wollten, oder es aufgrund der gegebenen Situation der Durchgängigkeit im Fluss nicht konnten. So erbrachte die Untersuchung auch Belege dafür, dass einige anadrome Rückkehrer der Arten Lachs und Meerforelle den Standort Buchenhofen durchaus überwinden können, sofern sie nicht bereits vorher Laichbiotope in einem der Zuflüsse aufgesucht haben.

Unabhängig von der Frage der Motivation eines jeden einzelnen Fisches, kommt der Errichtung funktionsfähiger Fischaufstiegsanlagen eine große Bedeutung zu. Die Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern dient nämlich gemäß den Vorstellungen nach dem Strahl- und Trittsteinmodell (DRL 2008, LUA 2011) nicht nur der groß- und kleinräumigen Vernetzung von Fischhabitaten und damit dem genetischen Austausch zwischen isolierten Populationen, sondern unterstützt auch die Wiederbesiedlung verödeter Gewässerstrecken. Die nachgewiesenen Wanderstrecken verdeutlichen allerdings auch, dass die für Modellierungen zur Darstellung der Gesamtdurchgängigkeit von Flüssen getroffene Annahme einer 95 %igen Effizienz gut konstruierter Fischaufstiegsanlagen zumindest in Hinblick auf potamodrome Arten allzu optimistisch ist (DUMONT et al. 2005, LUWG 2008, FGE Ems 2009, HENNEBERG 2011).

5 ABWANDERUNG

Von Beginn des fischökologischen Monitorings „HDX-Wupper“ an stand das Abstiegsgeschehen am Auer Kotten im Zentrum der Untersuchung (Abb. 69), um die Wirksamkeit des dort eingebauten 12 mm-Rechens sowie der diversen Bypässe und Fischpässe als Abwanderkorridore qualitativ und quantitativ zu monitoren. Deshalb wurden über die verschiedenen Jahre verteilt immer wieder transpondierte Blankaale, Lachssmolts und Wildfische stromauf dieses Wasserkraftstandorts in die Wupper entlassen. Dies geschah insbesondere auch in Hinblick auf die seit 2016 veränderte Betriebsführung des Spülschützes, um Blankaalen und Lachssmolts einen zusätzlichen Abwanderweg über den Leerschuss zur Verfügung zu stellen. Die in der nachstehenden schematischen Darstellung der verschiedenen Abwanderkorridore am Auer Kotten gewählte Farbsignatur wird zur Erhöhung der Anschaulichkeit der nachfolgenden Ausführungen immer wieder verwendet (Abb. 69).

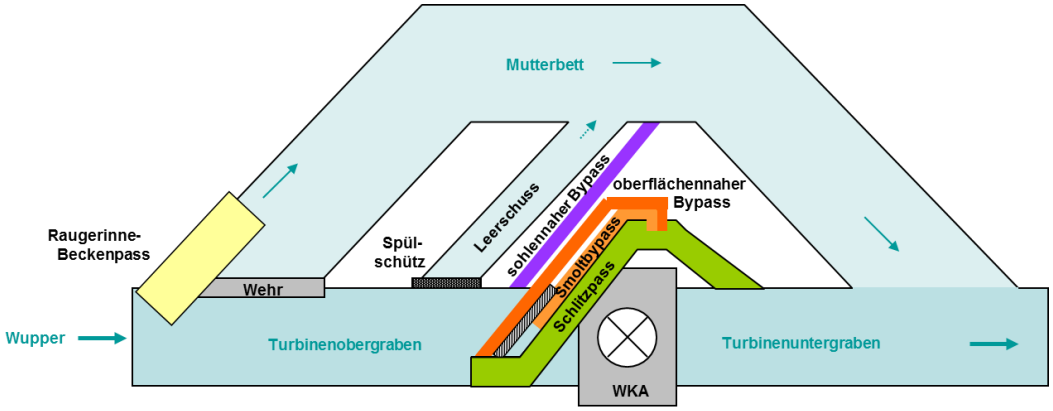


Abb. 69: Bypässe und andere Abwanderkorridore am Standort Auer Kotten (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

5.1 ANNÄHERUNG AN EINEN AUSLEITUNGSSTANDORT

Die insgesamt über 1.800 detektierten Annäherungen abwandernder Fische an den Ausleitungsstandort Auer Kotten lassen erkennen, ob die Tiere den Weg über das Ausleitungswehr und weiter übers Mutterbett nach stromab, oder aber über den Turbinenobergraben bis vor das Krafthaus genommen haben (Tab. 26). Wenngleich die Ergebnisse für die betrachten Aale, Lachssmolts und potamodromen Wildfische etwas unterschiedlich ausfallen, ist das Ergebnis jedoch eindeutig: Etwa 80 % aller abwandernden Fische folgen der Hauptströmung im Gewässer und gelangen so vor den Einlauf der Wasserkraftanlage.

Dem Abwanderkorridor über das Ausleitungswehr kommt demgegenüber nur eine untergeordnete Bedeutung zu.

Tab. 26: Aufteilung der Fische auf den Abwanderkorridor zur Wasserkraftanlage oder übers Ausleitungswehr

Abwanderkorridor	Aale	Lachssmolts	Wildfische
über Wasserkraftanlage	80 %	94 %	66 %
über Mutterbett	10 %	2 %	10 %
Wanderkorridor unklar	10 %	4 %	24 %

Schlussfolgerung:

Die Erkenntnis, dass am Ausleitungsstandort Auer Kotten Aale und Lachssmolts hauptsächlich über den Ausleitungskanal und damit über die Wasserkraftanlage abwandern, deckt sich nur zum Teil mit den radiotelemetrischen Befunden vom Ausleitungsstandort Unkelmühle an der Sieg. Dort wanderten nämlich mit 61 % im Untersuchungsjahr 2014 und mit 53 % in 2015 mehr abwandernde Aale den Leerschuss am Ausleitungswehr und die ebenfalls dort positionierte naturnahe Fischaufstiegsanlage mit Kanupass, als mit der Strömung zum Krafthaus zogen, um einen der diversen Bypässe nach stromab zu nutzen (ØKLAND et al. 2017). Die Lachssmolts verhielten sich hingegen vergleichbar wie an der Wupper, in dem im Untersuchungsjahr 2014 83 % und im Jahr 2015 sogar 95 % der Junglachse zum Krafthaus wanderten (ØKLAND et al. 2016). Um einen gefahrlosen Abstieg der Wanderstadien diadromer Arten zu sichern, sind an Ausleitungsstandorten also primär im Bereich des Krafthauses auffindbare und passierbare Abwandermöglichkeiten zu schaffen.

5.2 SCHUTZWIRKUNG DES 12 MM-SCHRÄGRECHENS

Das Wasserkraftwerk Auer Kotten wurde speziell zum Schutz abwandernder Aale und Lachssmolts mit einem, im Winkel von 30° schräg zur Anströmung angeordneten Rechen, mit horizontalen Rechenstäben einer lichter Weite von 12 mm ausgestattet. Um zu überprüfen, ob dieser Feinrechen das Eindringen der Zielarten in die Turbine tatsächlich verhindert, war unterstrom am Turbinenauslauf eine HDX-Antenne zur Detektion all jener

transpondierten Fische installiert worden, die trotz der mechanischen Barriere die Turbine passiert hätten.

Während der gesamten Projektlaufzeit wurde jedoch weder einer der stromauf vom Auer Kotten besetzten Lachssmolts, noch einer der Aale von der Antenne am Turbinenauslauf registriert. Da der Abwanderweg einzelner im Jahr 2013 besetzter Aale unklar geblieben war, wurde die Körperdicke dieser Exemplare in Hinblick auf die physische Passierbarkeit des 12 mm-Rechens untersucht. Gemäß DWA (2005) gilt ein Rechen dann als unpassierbar, wenn der Stababstand maximal dem 0,03-fachen der Gesamtlänge des Aals entspricht (Tab. 27). Alle Blankaale, für die eine Turbinenpassage nicht auszuschließen war, erwiesen sich letztlich als viel zu dick, um sich durch den Feinrechen vor dem Krafthaus des Auer Kotten hindurch zwängen zu können. Selbst den kleinsten dieser Exemplare wäre eine Rechenpassage erst ab einer lichten Weite von mehr als 15 mm möglich gewesen, während die größten Aale selbst an einem 20 mm-Rechen gescheitert wären.

Tab. 27: Körperproportionen von 7 am Turbinenauslauf registrierten Aalen in Hinblick auf die Passierbarkeit des 12 mm-Rechens am Auer Kotten

ID-Code	Totallänge [cm]	Körperdicke [mm]	passierbare lichte Weite [mm]
180 316 125	83,0	41,5	24,9
180 316 204	71,0	35,5	21,3
180 316 215	66,0	33,0	19,8
180 316 238	63,0	31,5	18,9
180 583 272	54,5	27,3	16,4
180 583 338	52,5	26,3	15,8
180 655 097	68,0	34,0	20,4

Schlussfolgerung:

Mittels der HDX-Antenne am Turbinenauslauf des Auer Kotten wurde der Beweis erbracht, dass der 12 mm-Rechen vor dem Einlauf ins Krafthaus seine Schutzfunktion gegenüber Lachssmolts und abwandernden Aale erfüllt. Dieses Resultat belegt die Sinnhaftigkeit einschlägiger Vorgaben für die zulässige lichte Weite mechanischer Barrieren in Hinblick auf abwandernde Lachssmolts und weibliche Blankaale (DWA 2005, Kap. 5.1.5.1).

5.3 BYPÄSSE UND ANDERE ABWANDERKORRIDORE

5.3.1 Wirksamkeit der verschiedenen Abwanderkorridore

Die Auswertung der von den HDX-Antennen registrierten Passagen am Auer Kotten, differenziert nach Aalen, Lachssmolts und potamodromen Wildfischen zeigt deutlich auf, welcher Bypass bzw. Abwanderkorridor bevorzugt angenommen wird (Tab. 28).

Tab. 28: Über die diversen Wanderkorridore am Auer Kotten abgewanderte Blankaale, Lachssmolts und Wildfische, differenziert nach Besatzjahr

Besatz / Abwanderkorridor	Quote [%]					
	Blankaale		Lachssmolts			Wild-fische
	2013 n = 212	2016 n = 213	2014 n = 525	2015 n = 212	2018 n = 537	n = 119
Wanderkorridor unklar	10,8	8,9	9,0	1,9	0,4	24,4
Wehr	2,8	5,2	0,2	0	0	4,2
Raugerinne-Beckenpass	4,2	8,5	2,1	0,5	1,7	5,9
Leerschuss	29,7	27,2	25,7	3,3	90,3	33,6
sohlennaher Bypass	0,5	0	0,2	0	0	0
oberflächennaher Bypass	7,5	13,6	39,0	62,3	5,2	5,9
Smoltbypass	2,8	6,1	8,8	17,5	1,3	0
Schlitzpass	41,5	30,5	15,0	14,6	1,1	26,1

Wehr und Raugerinne-Beckenpass am Ausleitungswehr

Entsprechend der Erkenntnis, dass die meisten Fische mit der Hauptströmung über den Turbinenobergraben vor dem Krafthaus eintreffen (Kap. 5.1), wurden von den HDX-Antennen am Fuß des Ausleitungswehrs und im Raugerinne-Beckenpass im gesamten Untersuchungszeitraum nur maximal 10 % der abwandernden Fische registriert. Damit leisten die beiden zumindest bis Mittelwasserabfluss abseits der Hauptströmung liegenden Abwanderkorridore am Ausleitungswehr allenfalls einen sehr bescheidenen Beitrag zur Gewährleistung der Abwanderung von Fischen.

Sohlennaher Bypass

Über den gesamten Projektzeitraum zeigte sich, dass dieser Bypass mit seiner nah dem Gewässergrund positionierten, 0,3 x 0,3 m großen Öffnung von abwandernden Fischen so gut wie nie genutzt wurde. Der Grund hierfür ist, dass dieser Abstiegsweg nahezu ständig

mit Sediment und Treibgut verlegt ist (Abb. 70). Versuche in den Anfangsjahren des Projekts, solche Verlegungen mit einer Grundspülung durch Anheben des Spülschützes zu beseitigen, stellten sich als allenfalls kurzzeitig wirksam heraus. Andererseits sind solche Grundspülungen mit massiven Beeinträchtigungen des Kraftwerksbetriebs verbunden. Sie werden deshalb nur noch sehr selten vom Betreiber durchgeführt und nur, wenn dies aus betrieblichen Gründen zwingend erforderlich ist.

Manuell kann der Einstieg in diesen Abstiegskorridor aufgrund seiner nicht einsehbaren Lage mehrere Meter unter der Wasseroberfläche sowie einer fehlenden sicheren Erreichbarkeit nur gereinigt werden, indem der Turbinenobergraben gelenzt wird. Hierfür muss allerdings die Wasserkraftanlage außer Betreib genommen werden, die Einlauftore zum Turbinenobergraben müssen geschlossen und trocken fallende Fische im sukzessive leerlaufenden Turbinenobergraben sowie dem anschließenden Schlitzpass aufgesammelt werden (Abb. 71). Diese aufwändige Prozedur wird vom Kraftwerksbetreiber nur im Rahmen umfangreicherer Wartungsarbeiten an der Kraftanlage durchgeführt.

Abb. 70: Nur noch die Oberkante des sohlennahen Bypasses überragt das angelandete Sediment; Aufnahme bei gelenztem Turbinenobergraben (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 71: Absuche des gelenzten Turbinenobergrabens nach trockengefallenen Fischen (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Smoltbypass

Die mit einem 35 mm-Schutzgitter versehene 12 x 0,6 m große Öffnung des Smoltbypass über dem Einlaufrechen zum Krafthaus wird allenfalls von wenigen Exemplaren der Zielart angenommen, für die dieser Bypass eigentlich geplant worden ist. Im Jahr 2015 wanderten von den besetzten Lachssmolts nur 17,5 % über diesen Korridor ab, in den anderen Untersuchungsjahren sogar weniger als 10 %. Für andere oberflächennah abwandernde potamodrome Fische und für Aale ist dieser Bypass bedeutungslos.

Oberflächennaher Bypass

Wesentlich häufiger aufgefunden und passiert wurde demgegenüber die nur 0,3 x 0,6 m große Öffnung des oberflächennahen Bypasses. Dieser Abwanderkorridor wurde im Jahr 2014 von etwa 40 % und im Jahr 2015 sogar von über 60 % der abwandernden Smolts passiert. Wesentlich geringer war die Passagequote für Aale mit maximal knapp 14 % im Jahr 2016 und für abwandernde potamodrome Wildfische mit nur 6 %, die sich aus der Passage von 5 Barben (Totallängen 16,5 bis 60 cm) und 2 Nasen (Totallänge 42,5 und 47 cm) ergaben.

Schlitzpass

In weitaus größerer Anzahl passierten insbesondere Aale den Einlauf in den Schlitzpass, den sie dann auch auf ganzer Länge bis ins Unterwasser durchschwammen. Besonders begünstigt wird die Auffindbarkeit dieses am oberstromigen Ende des unpassierbaren 12 mm-Schrägrechens gelegenen und permanent geöffneten Abwanderkorridors offenbar für bodenorientierte Arten, weil hier eine Anrampung aus geschütteten Steinen die Sohle des Turbinenobergrabens mit der des Schlitzpasses verbindet (Abb. 24). Entsprechend nahmen in der gesamten Projektlaufzeit 25 Barben, 3 Bachforellen, sowie eine Äsche, ein Hasel und eine Nase diesen Abstiegskorridor an. Deutlich geringer ist die Bedeutung des Schlitzpasses als Abstiegskorridor für Lachssmolts, die hier in den Jahren 2014 und 2015 nur zu ca. 15 % registriert wurden, im Jahr 2018 sogar lediglich zu 1 %.

Leerschuss

Der Weg über das Spülschütz wurde von etwa einem Drittel der registrierten abwandernden Individuen genutzt, obwohl es den Abwanderkorridor über den Leerschuss nur episodisch frei gibt. Hierbei zeigte sich insbesondere bei den Smolts eine starke Abhängigkeit vom Betrieb des Schützes: Im Jahr 2015, als das Schütz nur aus betrieblichen Gründen ein bis zwei Mal pro Tag geöffnet wurde, nahmen nur wenige Prozent der abwandernden Smolts den Leeschuss als Abwanderkorridor an. Im Jahr 2018 hingegen, als das Schütz testweise nachts in halbstündigem Turnus geöffnet wurde (Tab. 3), wurde es von mehr als 90 % der abwandernden Smolts passiert. Damit wird die Abwanderung der Smolts durch ein zeitlich angepasstes Öffnungsmanagement des Spülschützes weit effizienter sichergestellt, als durch die eigentlich zu diesem Zweck installierten Bypässe.

Um abzusichern, dass die hohe Frequentierung dieses Abwanderkorridors durch Smolts tatsächlich ursächlich mit dem Öffnungsturnus des Spülschützes korreliert, wurden an fünf Tagen im Frühjahr 2018 vom 10. bis 14. April die von den HDX-Antennen registrierten Abwanderereignisse mit den von der Kraftwerkssteuerung automatisch aufgezeichneten Öffnungszeiten und -häufigkeit des Spülschützes abgeglichen (Abb. 72). Auf diese Weise wurde die Übereinstimmung der Abwanderereignisse mit dem Öffnungsturnus des Spülschützes belegt. Damit ist auch die Sinnhaftigkeit des Vorgabe der Bezirksregierung Düsseldorf erwiesen, die Smoltabwanderung durch häufiges Öffnen des Spülschützes während der Abwandersaison zu unterstützen.

In Hinblick auf abwandernde Aale trägt das seit 2016 betriebene Öffnungsmanagement des Spülschütz allerdings nicht wesentlich zu einer Verbesserung der Abwandersituation bei, denn die Abwanderquote war in der Saison 2013 vor Beginn der Maßnahme mit 29,7 % sogar um 2,5 % höher, als im Jahr 2016. Eine interessante Beobachtung zum Aal ist allerdings, dass der Anteil der über den Leerschuss nach stromab gewanderten Exemplare bei Wassertemperaturen unter 15 °C mehr als 40 % betrug, bei höheren Wassertemperaturen hingegen weniger als 10 % (Abb. 73). Dies erklärt sich einerseits damit, dass sich das Spülschütz in der Zeit des herbstlichen Laubfalls bis Ende November besonders häufig öffnet, wenn die Wassertemperatur niedrig ist (Abb. 56). Andererseits sind Aale bei niedrigen Wassertemperaturen weniger aktiv, so dass sie von dem großräumig wirkenden Sog des bei geöffnetem Schütz abfließenden Schwalls erfasst und nach stromab mitgerissen werden. Mit steigender Wassertemperatur nimmt die Aktivität der

Aale, und damit ihr Suchverhalten zu, so dass die Fische in der Lage sind, auch weniger günstig positionierte Abwanderkorridore zu suchen und zu finden.

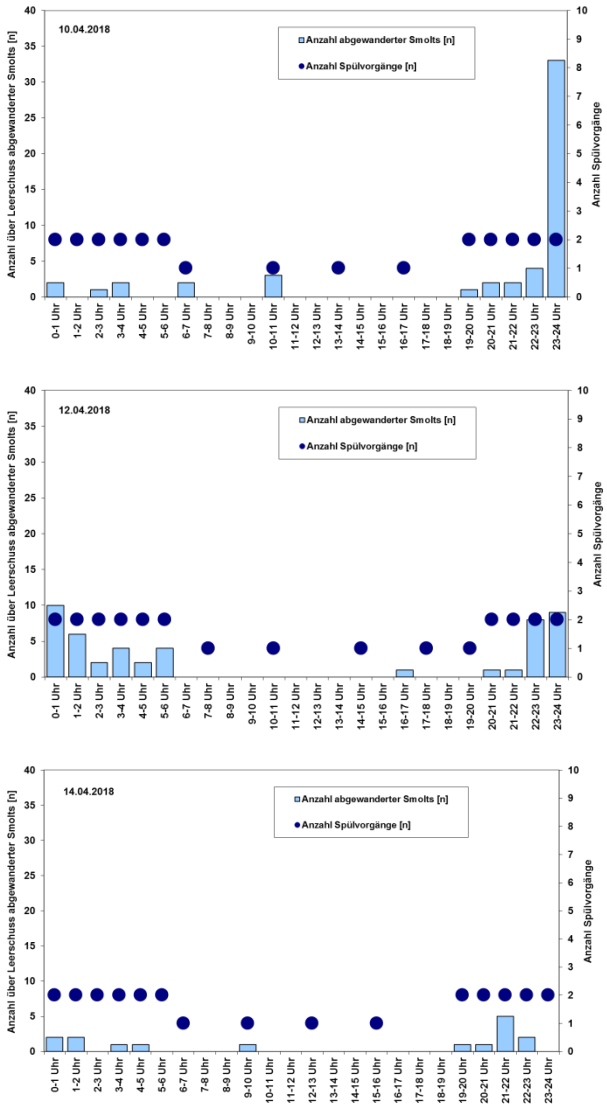


Abb. 72: Korrelation zwischen Öffnung des Spülschützes und der Abwanderung von Lachssmolts in der Zeit vom 10. bis 15. 04. 2018 (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

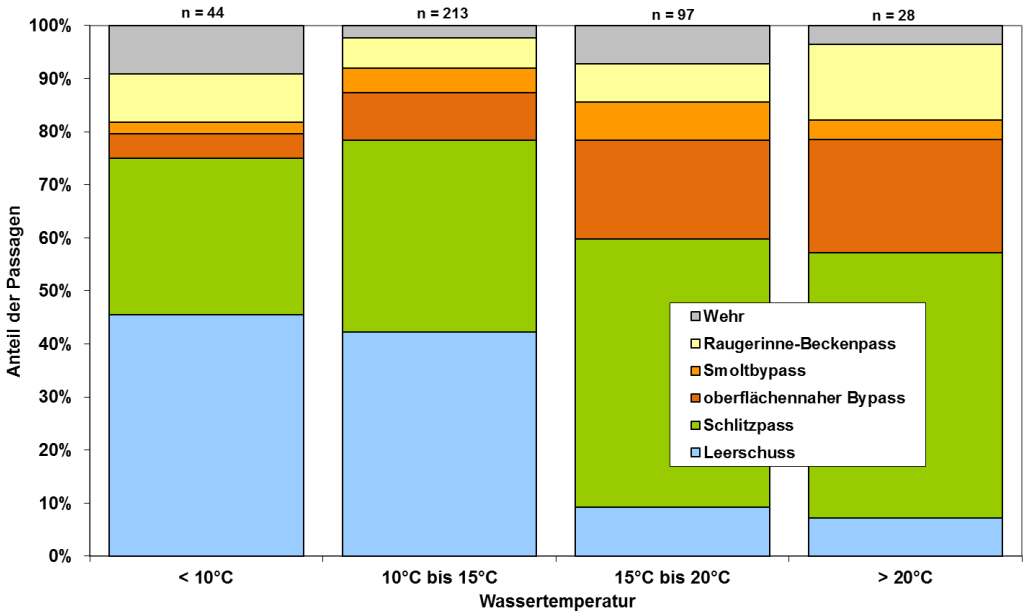


Abb. 73: Nutzung der verschiedenen Abwanderkorridore am Auer Kotten von Aalen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

Von den markierten Wildfischen sind während der gesamten Projektlaufzeit 46 Exemplare über den Leeschuss abgewandert. Vor der Umstellung auf das neue Spülklappenregime waren es lediglich 10 Individuen, darunter ein adulter Lachs, zwei adulte Meerforellen (cf.) sowie auch zwei Hechte von 96 und 97 cm Länge. Nach der Einführung des Spülklappenregimes kamen 36 Individuen dazu, darunter eine weitere adulte Meerforelle (cf.) sowie eine Äschen, Bachforellen, Barben sowie Haseln und allein 19 Nasen. Dies ist vor allem deshalb bemerkenswert, weil zuvor kein einziges Exemplar dieser Art den Leerschuss passiert hatte.

Schlussfolgerung:

Als die wichtigsten Abwanderkorridore am Auer Kotten haben sich der episodisch geöffnete Leerschuss, der Schlitzpass und der oberflächennahe Bypass erwiesen. Hingegen ist der ständig verlegte sohlennahe Bypass nutzlos und der Smoltbypass trägt nur marginal zur Verbesserung der Abwandersituation bei. Auch das im Seitenschluss der Hauptströmung gelegene Ausleitungswehr mit seiner Fischaufstiegsanlage passierte nur etwa ein Zehntel der detektierten Abwanderer. Das zwischen Genehmigungsbehörde und Betreiber vereinbarte Spülklappenmanagement unterstützt die Abwanderung der Smolts effektiv und auch abgelaichte Großsalmoniden sowie potamodrome Arten profitieren davon, während ein positiver Effekt auf die Aalabwanderung nicht nachweisbar ist.

5.3.2 Größen- und Artselektivität der Abwanderkorridore

Im Hinblick auf die Abwandersituation am Auer Kotten stellte sich die Frage, ob die Akzeptanz der Bypässe ggf. auch von der Größe, insbesondere von der Gesamtlänge und die Körperhöhe der Fische abhängig ist. Dieser Aspekt ist zwar für Passagen übers Wehr oder andere großdimensionierte Abwanderkorridore, wie die Fischaufstiegsanlagen und den Leerschuss weniger bedeutsam, doch kann ein größenselektiver Einfluss nicht grundsätzlich ausgeschlossen werden. Von besonderem Interesse war diese Frage in Hinblick auf den Smoltbypass, da an dessen Einstieg ein Schutzgitter aus horizontalen Rechenstäben mit 35 mm lichter Weite installiert ist.

Über die physische Passierbarkeit eines Stabrechens entscheidet die Dicke des Fisches in Relation zur lichten Weite der Rechenstäbe. Zuverlässig wird eine Passage nur dann verhindert, wenn die lichte Weite so gering ist, dass der Fisch nicht hindurch passt. Je kleiner die Zielarten bzw. -stadien, umso geringere lichte Weiten sind also für einen effektiven Schutz erforderlich.

Die besetzten Lachssmolts hatten eine Totallänge zwischen L_{Fisch} = 12 und 25 cm (Abb. 48). Die Körperdicke von Lachsen errechnet sich gemäß SCHWEVERS & ADAM (2019) gemäß der Formel

$$D_{Fisch} = 0{,}1241\ L_{Fisch}^{1{,}077}$$

Hieraus ergibt sich für die größten besetzten Smolts eine Körperdicke von 2,3 cm. Das vor dem Smolt-Bypass installierte 35 mm-Schutzgitter aus horizontalen Stäben stellt somit keine physische Barriere dar. Um diese Barriere zu passieren, hätten die Fische, abgesehen von den wenigen Exemplaren > 22 cm Länge, nicht einmal ihre Körperachse drehen müssen, denn aus der Formel

$$H_{Fisch} = 0{,}0672\ L_{Fisch}^{1{,}0918}$$

ergibt sich, dass Lachssmolts erst ab einer Gesamtlänge von 23 cm eine Körperhöhe von 3,5 cm überschreiten.

Allerdings finden sich in der Literatur Hinweise, dass Rechen ihre Barrierewirkung nicht sofort und vollständig gegenüber Fischen verlieren, die physisch in der Lage sind, die Spalten zwischen den Stäben zu passieren (CROZE & LARINIER 1999, TRAVADE & LARINIER 2006, DWA 2014). Deshalb wurde überprüft, ob die mittlere Länge der über den Smoltbypass abgewanderten Smolts geringer war als diejenige bei Smolts, die den oberflächennahen Bypass oder den Schlitzpass zur Abwanderung genutzt hatten. Die Unterschiede erwiesen sich jedoch als minimal und nicht signifikant (Tab. 29). Eine größenselektive Wirkung des Smoltbypasses ist somit nicht nachweisbar.

Bei den markierten Wildfischen stellt sich diese Frage nicht, denn kein einziger nutzte den Smoltbypass für den Abstieg. Allerdings wurde überprüft, ob die geringen Dimensionen des oberflächennahen Bypasses von nur 0,3 x 0,6 m eine selektive Wirkung gegenüber großen Exemplare entfalten. Hierzu wurde die mittlere Länge der über diesen Bypass, über den Schlitzpass und über den Leerschuss abgewanderten Wildfische ermittelt. Signifikante Unterschiede ergaben sich jedoch auch hierbei nicht (Tab. 29). Jedoch wanderten die größten Exemplare, zwei Hechte von mehr als 90 cm und ein Lachs von fast 70 cm Länge über den Leerschuss ab. Auch sämtliche Meerforellen nahmen diesen Weg, worin sich eine artselektive Wirksamkeit von oberflächennahem Bypass und Schlitzpasses gegenüber diesen drei Arten andeutet.

Tab. 29: Mittlere Länge der über die verschiedenen Korridore am Auer Kotten abgewanderten Lachssmolts und Wildfische

Wanderkorridor	**Mittlere Länge [cm]**	
	Lachssmolts	**Wildfische**
Smoltbypass	17,4	-
oberflächennaher Bypass	17,3	48,2
Leerschuss	-	44,2
Schlitzpass	17,2	47,8

5.3.3 Passagedauer

Die Passage von Aalen und Lachssmolts über die hauptsächlich frequentierten Abwanderkorridore am Krafthaus des Auer Kotten, d. h. über den oberflächennahen Bypass, den Smoltbypass und den Schlitzpass erfolgte in der Regel sehr zügig. Im Minimum benötigen sowohl Aale, als auch Smolts für die Passage von der jeweils obersten zur abstromigsten HDX-Antenne nur etwa 3 Minuten. Einzelne Fische verweilten allerdings bis zu mehrere Tage innerhalb der Wanderkorridore, bevor sie ihre Abwanderung fortsetzen.

In Hinblick auf eine Bewertung der Funktion der Abwanderkorridore ist neben der Passierbarkeit jedoch auch die Auffindbarkeit und Akzeptanz des Einstiegs relevant. Deshalb wurde am Auer Kotten die Zeit vom Durchschwimmen der Tore des Turbinenobergrabens bis zu den unterwassernahen HDX-Antennen ermittelt (Tab. 30), wobei für diese Auswertung nur Exemplare betrachtet wurden, die innerhalb von 14 Tagen den gesamten Standort passiert haben. Danach benötigten die Aale für den Abstieg über den Schlitzpass, den Smoltbypass, den oberflächennahen Bypass sowie den Leerschuss im medianen Mittel zwischen einer und 3 Stunden, wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren z. T. beträchtlich waren. Dabei sind im Jahr 2013 innerhalb einer Stunde 25 % und innerhalb eines Tages 68 % der Aale abgewandert; im Jahr 2016 waren diese Anteile mit 41 % bzw. 83 % bedeutend höher.

Die abwandernden Lachssmolts benötigten für die Passage des Auer Kotten in der Regel wesentlich mehr Zeit. Die zügigste Abwanderung erfolgte über den Smoltbypass, hier benötigen die Lachse in den Jahren 2015 und 2018 im medianen Mittel knapp 2 bzw. 4,5 Stunden. Über den oberflächennahen Bypass dauerte die Abwanderung 15 bzw. 26 Stunden und über den Schlitzpass jeweils knapp einen Tag. Die Abwanderung über den Leeschuss wurde durch das neu eingeführte Betriebsmanagement deutlich beschleunigt: Benötigten die Lachssmolts dort bei regulärem Betrieb im medianen Mittel fast 5 Tage, um ins Unterwasser abzuwandern, verringerte sich diese Zeit durch das regelmäßige Absenken der Schwallklappe im Jahr 2018 auf nur noch 41 Minuten. Dies bedeutet, dass die abwandernden Lachssmolts in der Regel jeweils bereits die erste Öffnung des Leerschusses nach ihrem Eintreffen am Krafthaus nutzen, um ins Unterwasser zu gelangen.

Insgesamt hatte dies zur Folge, dass die Lachssmolts den Leerschuss 2018 zu 52 % binnen einer Stunde und zu 92 % innerhalb eines Tages passierten. Im Jahr 2015, vor Einführung des Betriebsmanagements waren es lediglich 14 % innerhalb einer Stunde und

49 % während des ersten Tages. Damit erreichen sie bei der Abwanderung inzwischen eine vergleichbare Geschwindigkeit, wie die Aale.

Tab. 30: Passagedauer von abwandernden Aalen und Lachssmolts über die beiden nutzbaren Bypässe, den Schlitzpass sowie den Leerschuss (*nur die in Glüder, nicht aber die direkt im Turbinen-obergraben besetzten Blankaale)

Aale	**2013 n = 40***			**2016 n = 114**		
	min. [min]	**max. [min]**	**median [min]**	**min. [min]**	**max. [min]**	**median [min]**
oberflächennaher Bypass	1.397	8.463	1.433	16	18.555	57
Smoltbypass	39	5.628	77	18	5.539	188
Schlitzpass	18	3.942	118	24	18.126	103
Leerschuss	12	11.732	150	17	14.250	58
Lachssmolts	**2015 n = 102**			**2018 n = 128**		
	min. [min]	**max. [min]**	**median [min]**	**min. [min]**	**max. [min]**	**median [min]**
oberflächennaher Bypass	18	19.280	1.532	25	5.770	913
Smoltbypass	33	24.166	263	45	1.233	106
Schlitzpass	15	5.808	1.423	88	25.523	1.246
Leerschuss	6.655	6.665	6.660	10	4.963	41

Schlussfolgerung:

Der Wasserkraftstandort Auer Kotten wird von mehr als 80 % der abwandernden Aale innerhalb eines Tages passiert, wobei das im Jahr 2016 eingeführte Betriebsmanagement der Spülklappe keine wesentliche Verringerung der Passagezeit bewirkt hat. Allerdings hat das Spülklappenmanagement maßgeblich dazu beigetragen, dass die Abwanderung der Lachssmolts mit gut 90 % innerhalb eines Tages nun ebenso rasch vonstattengeht.

5.3.4 Kopplung der Freilandbefunde mit Erkenntnissen aus 3d-HN-Modellen

Um das Abstiegsgeschehen der Fische unter Berücksichtigung der jeweiligen baulichen und hydraulischen Verhältnisse verstehen zu können, wurden die Befunde aus etho-hydraulischen Untersuchungen und die von diversen Bypässen und Abwanderkorridoren am Auer Kotten angefertigten 3d-HN-Modelle hinzu gezogen (Kap. 2.5). Detaillierte Ausführungen, wie diese Erkenntnisse erarbeitet und mit den HDX-Daten verschnitten wurden, enthält der Zwischenbericht zum Projekt „HDX-Wupper“ für den Untersuchungszeitraum von September 2014 bis Ende 2015 (ENGLER et al. 2016).

Abwanderung über Ausleitungswehr und Raugerinne-Beckenpass

Dass weder Aale, noch Lachssmolts in nennenswertem Umfang das Ausleitungswehr oder den dort vorhandenen Fischpass als Abwanderkorridor nutzen, erklären die aus ethohydraulischen Test gewonnenen Erkenntnisse.

Danach wandern Aale entweder aktiv schwimmend (Abb. 74) oder mit der Hauptströmung kontrolliert driftend stromabwärts. Bei den am Auer Kotten herrschenden Anströmgeschwindigkeiten sind sie in der Regel Kopf-voran ausgerichtet. Lachssmolts schwimmen hingegen positiv rheotaktisch ausgerichtet, d. h. mit dem Kopf der Strömung entgegen gerichtet und langsamer als die Anströmung stromabwärts, woraus ebenfalls eine Verdriftung mit der fließenden Welle resultiert (Abb. 75). Potamodrome Wildfische bewegen sich im Gewässer je nach Fließgeschwindigkeit in unterschiedlicher Manier nach stromab: Während sie bei geringer Fließgeschwindigkeit Kopf-voran mit der Strömung schwimmen, Verhalten sie sich bei hoher Fließgeschwindigkeit wie Lachssmolts, indem sie sich gegen die Strömung anschwimmend quasi gebremst verdriften lassen (Abb. 76). Da sich alle Fische stets an der Hauptströmung orientieren bzw. sich in und mit ihr bewegen, finden nur wenige einen abseits im Nebenschluss gelegenen Abwanderkorridor, z. B. über ein im Regelfall nicht überströmtes Ausleitungswehr mit einer dort positionierten Fischaufstiegsanlage. Im vorliegenden Projekt waren dies etwa 20 % der abwandernden Fische, während etwa 80 % mit der Hauptströmung zum Krafthaus gelangten und dort nach einer Abstiegsmöglichkeit suchten.

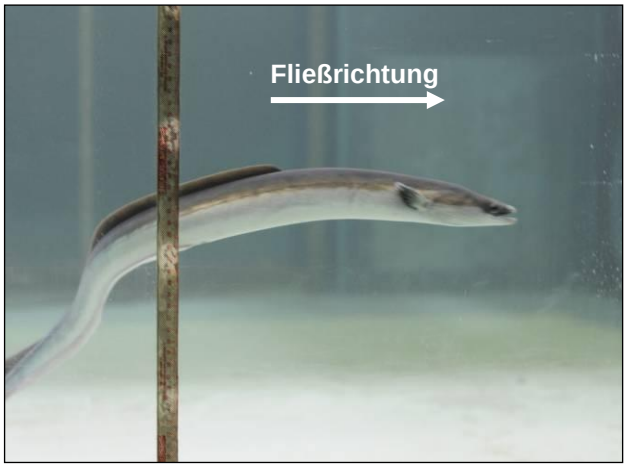


Abb. 74: Kopf-voran in Fließrichtung schwimmender Aal (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

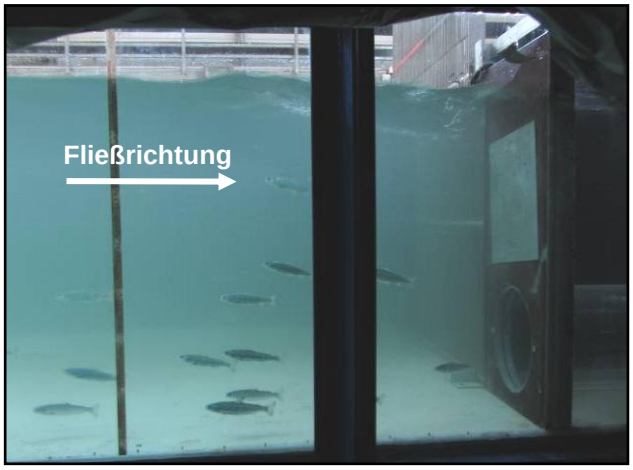


Abb. 75: Positiv rheotaktisch ausgerichtete Lachssmolts, die rückwärts auf eine Bypassöffnung zu driften (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

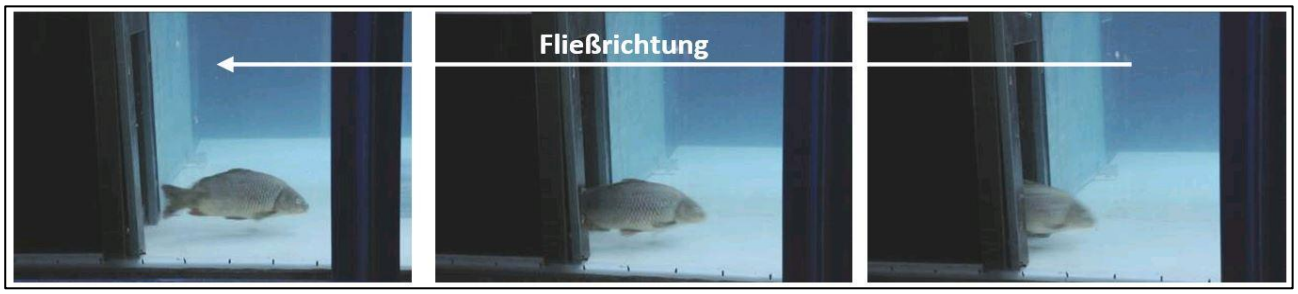


Abb. 76: Bewegungsstudie der rückwärtigen Passage eines Karpfens durch eine simulierte Bypass-öffnung (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Schlussfolgerung:

Da die Hauptströmung der Wupper am Standort Auer Kotten über den Turbinenobergraben dem Krafthaus zufließt, wird das im Nebenschluss davon liegende Ausleitungswehr von den meisten Fischen aller Arten und Gilden nicht als Abwandermöglichkeit wahrgenommen. Dies umso weniger, als das Ausleitungswehr erst dann nennenswert angeströmt wird, wenn der Abfluss im Gewässer die Ausbaukapazität der Wasserkraftanlage übersteigt.

Abwanderung über den Smoltbypass

Auch im Smoltbypass über dem Turbineneinlauf finden nur wenige Fische einen auffindbaren und nutzbaren Abwanderkorridor, u. a. weil das Schutzgitter vor dem Einstieg eine physische Barriere für größere Exemplare darstellt (Kap. 5.3.1.2). Darüber hinaus schränken jedoch auch die hydraulischen Verhältnisse die Akzeptanz dieses Abwanderwegs ein. Der Bypass ist unmittelbar oberhalb des Turbineneinlaufs angeordnet, dessen Volumenstrom um ein Vielfaches stärker ist. Dies führt dazu, dass nur unmittelbar an der Wasseroberfläche eine schwache Teilströmung in den Smoltbypass hinein führt. In der Tiefe tritt die Strömung dann wieder aus dem Smoltbypass aus und wird in Richtung des Turbineneinlaufs abgelenkt (Abb. 77). Die hydraulische Dominanz der Strömung in den Turbineneinlauf bewirkt also, dass nur an der Wasseroberfläche eine schwache Leitströmung in den Bypass hinein existiert, während die Fische in größerer Wassertiefe gegen die Strömung anschwimmen müssten, um in den Bypass zu gelangen. Dies ist zweifelsfrei die wesentliche Ursache für dessen geringe Akzeptanz.

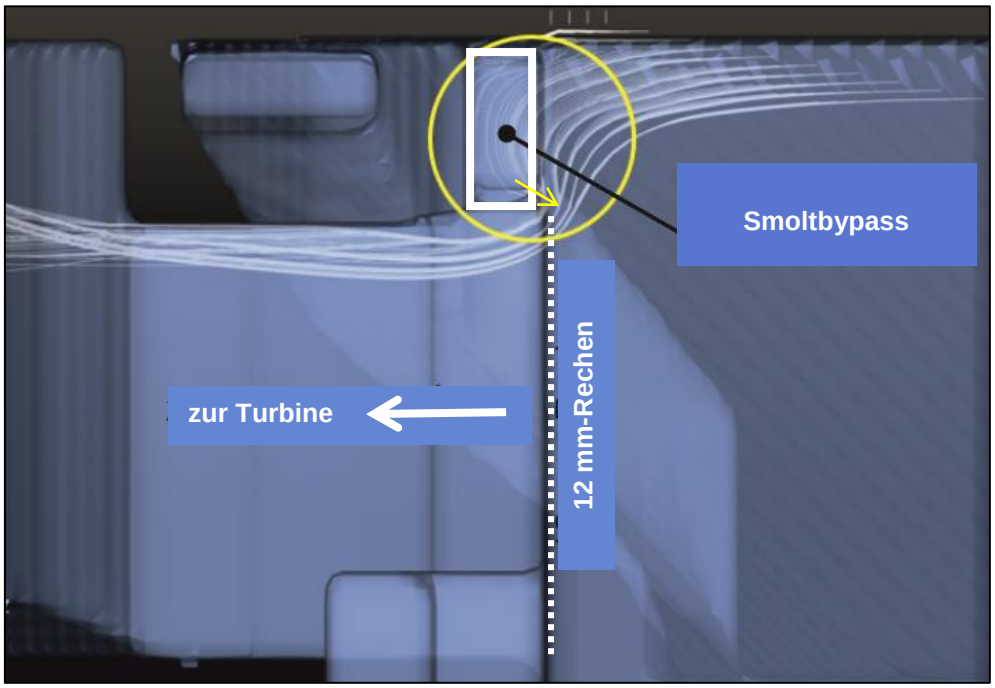


Abb. 77: Im HN-Modell wird sichtbar, wie die in den Smoltbypass hinein führenden Strömungsfäden von der konkurrierenden Turbinenströmung wieder heraus gelenkt werden (Quelle: LEHMANN et al. 2016)

Schlussfolgerung:

Der Smoltbypass wird sowohl aus konstruktiven Gründen wegen des 35 mm-Schutzgitters, als auch hydraulischen Gründen seiner Aufgabe als Abwanderkorridor für Lachssmolts und andere Fische nicht gerecht. Es sind unter den gegebenen baulichen und betrieblichen Bedingungen auch keine Maßnahmen vorstellbar, mit denen die Attraktivität dieses Bypasses erheblich verbessert werden könnte. Eine Beseitigung des Schutzgitters hätte lediglich eine umgehende Verlegung des Einstiegs mit Treibgut und Geschwemmsel zu Folge.

Abwanderung über den oberflächennahen Bypass

Obgleich der oberflächennahe Bypass am abstromigen Ende des unpassierbaren 12 mm-Rechens nur eine verhältnismäßig kleine rechteckige Öffnung von 0,3 x 0,6 m besitzt, wird er von vergleichsweise von sehr vielen Fischen aufgefunden und angenommen. Hierfür können gleich mehrere Gründe angeführt werden:

Die Akzeptanz von Bypässen wird maßgeblich von den großräumigeren hydraulischen Bedingungen beeinflusst. Insbesondere Trägheitskräfte einer konkurrierenden voluminöseren Strömung können Fluchtreaktionen auslösen. Die oberflächennahe nur 0,18 m^2

große Bypassöffnung am Auer Kotten ist allerdings so weit von der Strömung in den 100 m^2 großen Turbineneinlauf entfernt, dass deren Einfluss gering ist (Abb. 78).

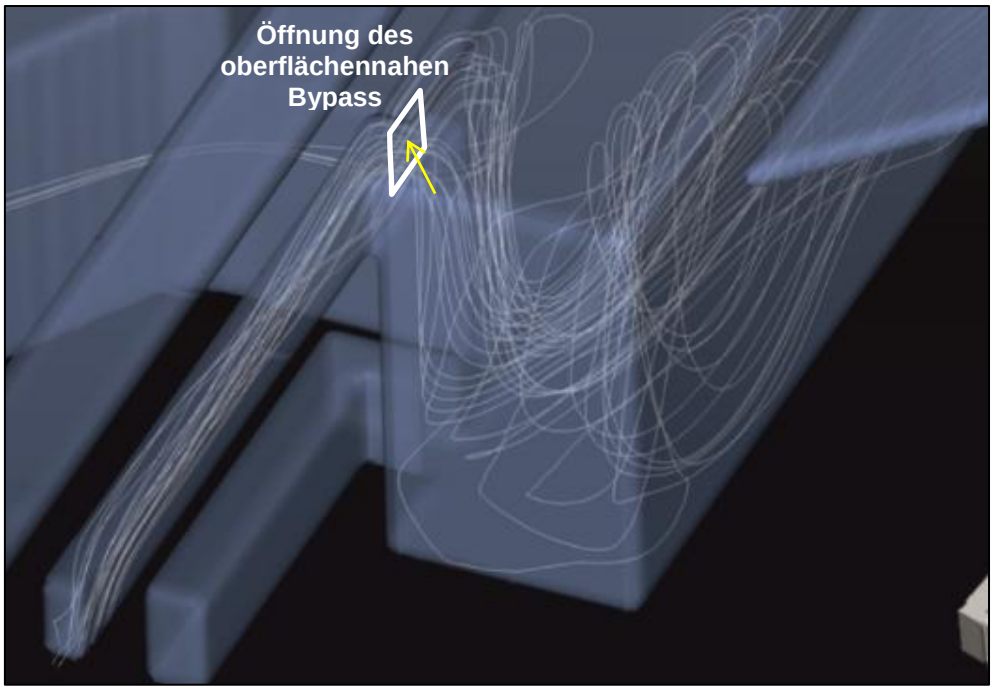


Abb. 78: Die Teilströme in den oberflächennahen Bypass hinein und in die Turbine sind hydraulisch voneinander entkoppelt, was die Auffindbarkeit der Bypassöffnung begünstigt (Quelle: LEHMANN et al. 2016)

Nach neuesten ethohydraulischen Erkenntnissen zeigen subcarangiforme Arten, also Fische mit typisch „fischartiger“ Körperform wie Lachssmolts, Nasen und Barben, vor einer unpassierbaren, schräg zur Anströmung stehenden Abwanderbarriere ein stromabwärts gerichtetes Gieren (LEHMANN et al. 2016). Dieses Gieren führt am Auer Kotten dazu, dass sich solche Arten sukzessive am Ende des 12 mm-Rechens in der Ecke zwischen der Öffnung des oberflächennahen Bypass und dem Spülschütz einstellen (Abb. 22, Abb. 70 sowie Abb. 79 und 80). Aufgrund der räumlichen Nähe steigt damit die Chance dieser Fische, den Einstieg in den oberflächennahen Bypass vergleichsweise einfach zu finden. Für die oberflächenorientiert abwandernden Lachssmolts und viele potamodrome Arten unterstützt auch die oberflächennahe Anordnung der Öffnung in den Bypasses dessen Auffindbarkeit.

Abb. 79: Konzentration von Lachssmolts vor dem Bypass am abstromigen Ende eines Schrägrechens im ethohydraulischen Test (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Aale zeigen das oben beschriebene Gierverhalten der subcarangiformen Arten nicht (LEHMANN et al. 2016). Entsprechend wurde der oberflächennahe Bypass im Mittel der Jahre 2013 und 2016 nur etwa von 10 % der Aale genutzt. Andererseits belegt dieser Befund, dass sich Aale, entgegen der tradierten Vorstellung, nicht streng bodenorientiert verhalten, sondern z. T. auch nahe der Wasseroberfläche nach Abstiegsmöglichkeiten suchen und dann durchaus in der Lage sind, die nur 0,18 m^2 große Öffnung des oberflächennahen Bypasses zu finden.

Voraussetzung für eine Passage ist allerdings, dass der Einstieg in den oberflächennahen Bypass regulär durchströmt wird (Abb. 80). Während der Projektlaufzeit führten die Mitarbeiter des Instituts für angewandte Ökologie deshalb regelmäßige Reinigungsarbeiten durch, bei denen Verlegungen durch Treibgut und Geschwemmsel beseitigt wurden. Dies wird künftig wesentlich seltener erfolgen, so dass der oberflächennahe Bypass häufiger verlegt sein wird, was seinen Beitrag zur Fischabwanderung am Auer Kotten in Zukunft zweifellos mindern wird.

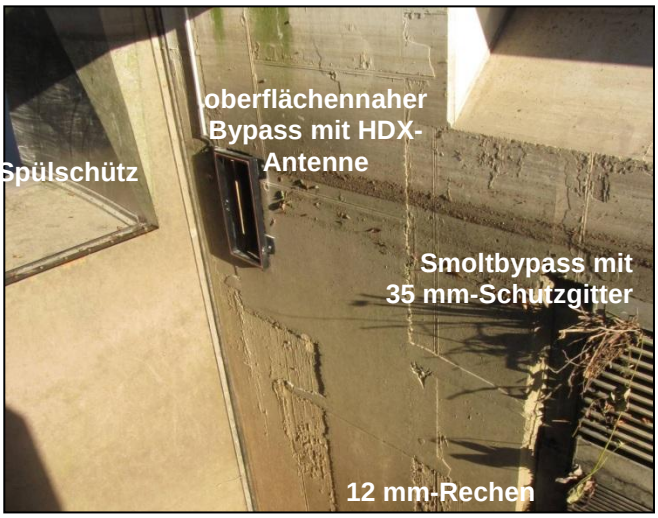


Abb. 80 Position des oberflächennahen Bypass im Verhältnis zu den benachbarten Funktionskomponenten am Turbineneinlauf des Krafthauses Auer Kotten (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Abb. 81: Verlegte Öffnung des oberflächennahen Bypass (Foto: Institut für angewandte Ökologie)

Die ethohydraulischen Tests im Labor haben ergeben, dass die am Auer Kotten realisierte eckige Einstiegsöffnung in Hinblick auf die Akzeptanz des Einstiegs grundsätzlich günstiger ist, als eine kreisförmige Einstiegskontur. Zu begründen ist dies damit, dass die Strömungslinien hinter einer kreisrunden Einstiegsöffnung eine Einschnürung erfahren. Im Bereich dieser Vena contracta führt dies zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit (Abb. 82), auf die Fische bei der Annäherung sensibel reagieren: Sie stoppen im Nahbereich abrupt ab und fliehen mit erhöhter Schwimmgeschwindigkeit gegen die Anströmung nach oberstrom. Im Gegensatz dazu herrschen an einer eckigen Bypassöffnung keine derart kritischen hydraulischen Bedingungen, denn hier ist die Vena contracta allenfalls schwach ausgebildet, was die Fische nicht dazu veranlasst, zu scheuen oder zu fliehen (LEHMANN et al. 2016).

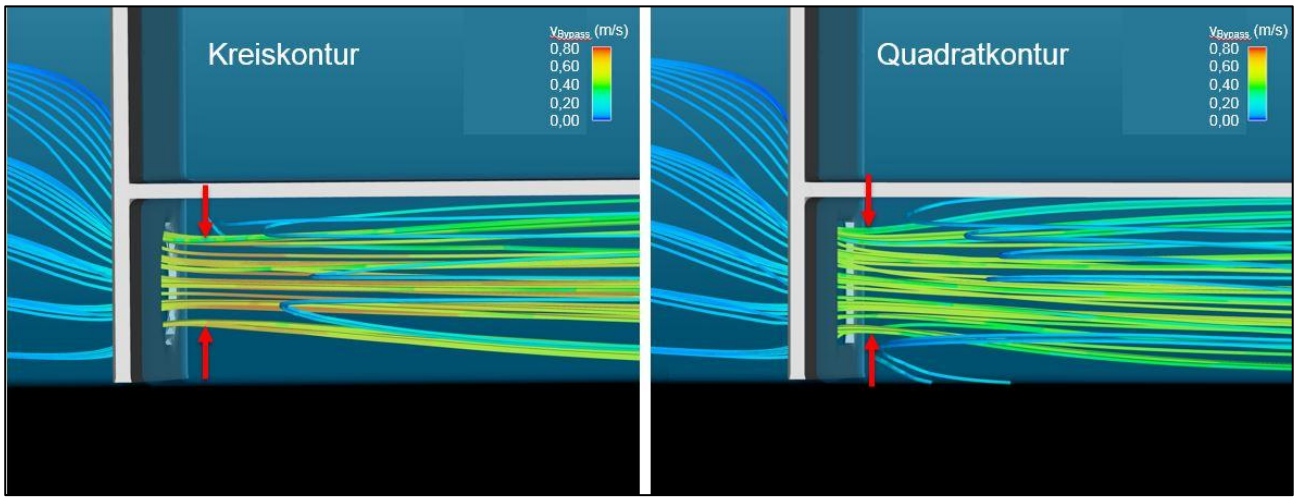


Abb. 82: Vergleich der Ausbildung einer Vena contracta hinter einer kreisrunden (links) und einer quadratischen Bypassöffnung (rechts) (Quelle: LEHMANN et al. 2016)

Auffällig ist allerdings, dass der oberflächennahe Bypass vor allem dann von abwandernden Lachssmolts angenommen wird, wenn der Leerschuss nicht als Abwanderkorridor zur Verfügung steht. So wanderten im Jahr 2015, als der Leerschuss nur ein bis zwei Mal pro Tag betätigt wurde, fast zwei Drittel aller Lachse über den oberflächennahen Bypass ab. Im Jahr 2018 hingegen, als der Leerschuss während der Abwandersaison der Lachse alle 30 Minuten offen stand, nahmen fast alle Smolts diesen Weg und der oberflächennahe Bypass verlor seine Bedeutung fast vollständig. Stehen beide Abwanderkorridore in Konkurrenz zueinander, dann bevorzugen die Smolts also eindeutig den episodisch geöffneten Leeschuss gegenüber dem permanent zur Verfügung stehenden oberflächennahen Bypass. Ganz offensichtlich ist dessen Einstiegssituation also nicht optimal, so dass die Smolts zögern, ihn zu passieren.

Schlussfolgerung:

So lange das Spülschütz geschlossen ist, befindet sich der oberflächennahe Bypass quasi am Ende des Hauptabwanderkorridores in einer Sackgasse. Diese Position begünstigt seine Auffindbarkeit. Zudem unterstützt die eckige Kontur der Öffnung die Akzeptanz. Auch ist bei der Planung dieses Bypasses eine hydraulische Entkopplung von der konkurrierenden Turbinenströmung geglückt. Sofern also die Öffnung nicht durch Treibgut verlegt ist, führt die gleichförmige Anströmung mit geringer Fließgeschwindigkeit in Kombination mit den anderen Faktoren dazu, dass zahlreiche Fische unterschiedlicher Arten den Einstig in den Bypass akzeptieren und passieren.

Abwanderung über den Schlitzpass

Die beträchtliche Anzahl der Passagen des Schlitzpasses durch abwandernde Fische zeigt, dass der Einstieg am oberstromigen Ende des Schrägrechens offensichtlich gut auffindbar ist und auch eine hohe Attraktivität besitzt (Tab. 28). Gründe dafür sind, dass der Schlitzpass im Vergleich zu den Bypässen eine sehr große und permanent offene Einstiegsöffnung im Turbinenobergraben bietet, die über die gesamte Wassersäule von der Sohle bis zur Wasseroberfläche reicht. Zudem ist der Einstieg über eine Anrampung an die Sohle des Turbinenobergrabens angebunden (Abb. 24), was die Auffindbarkeit insbesondere für bodenorientierte Arten unterstützt. Auch die vom Turbineneinlauf unbeeinflusste Anströmung des Einlaufs in den Schlitzpass unterstützt die Auffindbarkeit, wie dies das Stromlinienmodell in Abb. 83 erkennen lässt, indem die aus dem Turbinenobergraben auf den Schlitzpass zulaufenden Strömungslinien nicht durch eine Konkurrenzströmung abgelenkt werden. Vielmehr ist die dem Fischpass zufließende Teilströmung vom Gesamtabfluss im Obergraben abgetrennt und gleichförmig, so dass die darin mitgeführten Fische nicht durch Kehrströmungen, Walzen oder Toträume verschreckt oder desorientiert werden. Die Anrampung an der Sohle erzeugt einen sohlennahen Drall der Strömung ins Gerinne des Fischpasses hinein.

Alle diese Gründe tragen dazu bei, dass der Schlitzpass von Fischen aller Arten und Entwicklungsstadien sowie insbesondere von Aalen zu allen Zeiten als Abwanderkorridor genutzt wird.

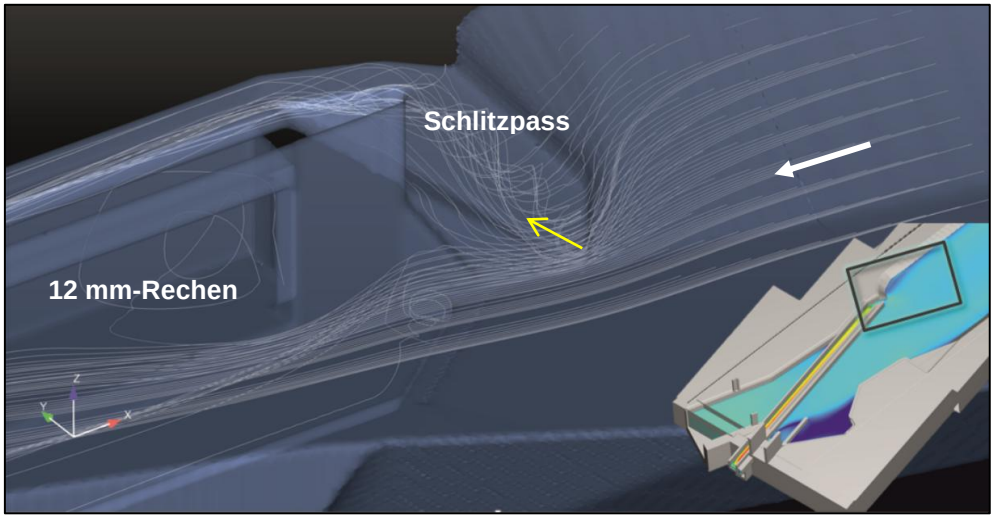


Abb. 83: Teilströmung zum Kraftwerkseinlauf und Teilströmung in den Schlitzpass hinein (Quelle: LEHMANN et al. 2016)

Schlussfolgerung:

Die Position des Einlaufs in den Schlitzpass, seine Anbindung an die Wassersäule im Turbinenobergraben einschließlich der Anrampung der Sohle unterstützen in Kombination mit der hydraulischen Entkopplung vom Turbinenzufluss die Auffindbarkeit und Akzeptanz der Fischaufstiegsanlage als Abstiegskorridor für Fische aller Arten und jeder Größe.

Abwanderung über den Leerschuss

Für die am Auer Kotten abwandernden Fische stellt der Leerschuss nachweislich den wichtigsten Abwanderkorridor dar, insbesondere wenn er im Rahmen des Betriebsmanagements während der Abwanderzeiten von Aalen und Lachssmolts in halbstündigem Turnus geöffnet wird, wie dies seit 2016 der Fall ist.

Die Attraktivität dieses Abwanderkorridores erklärt sich zum einen mit seiner Lage am Ende der Hauptströmung, der die Fische folgen. Zum anderen ist der Öffnungsquerschnitt des Schützes vergleichsweise groß, so dass sich bei einem Spülvorgang zumindest im Nahbereich im spitzen Winkel bis zum Turbineneinlauf eine starke Sogströmung ausbildet, die viele in der Sackgasse verharrende Fische nach abstrom mitreißt (Abb. 84).

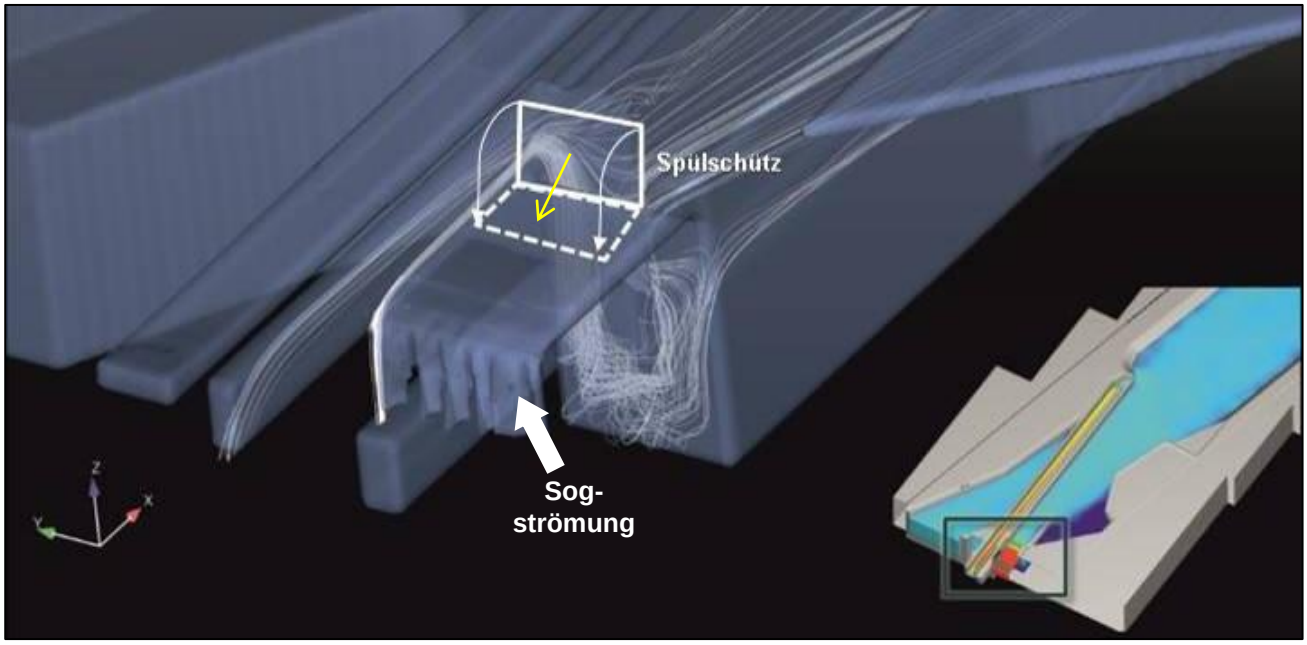


Abb. 84: Die Stromlinien im HN-Modell zeigen, dass bei geöffnetem Spülschütz eine großräumig wirkende Sogströmung entsteht (Quelle: LEHMANN et al. 2016)

Schlussfolgerung:

Die Anordnung in einer Sackgasse in Kombination mit einer ausreichend starken Sogströmung bei geöffnetem Spülschütz lassen den Leerschuss zum wichtigsten Abwanderkorridor für Fische am Auer Kotten werden. Wenngleich von dem angeordneten Betriebsmanagement primär Lachssmolts profitieren, stellt dieses Betriebsmanagement doch eine wirksame Ergänzung zur Verbesserung der Abstiegssituation dar.

5.4 GESAMTDURCHGÄNGIGKEIT DER WUPPER FÜR LACHSSMOLTS NACH STROMAB

Um die Gesamtdurchgängigkeit von 48 Flusskilometern der Wupper zu untersuchen, wurden im Jahr 2018 an 6 Besatzstellen von stromauf des Beyenburger Stausees bei Dahlerau bis ins Unterwasser Glüder jeweils etwa 350 Lachssmolts in die Wupper ausgebracht. Insgesamt erreichte davon etwa ein Drittel die Antennen am Auer Kotten. Allerdings betrug die Redektetionsquote der mit 48 km am weitesten stromaufwärts in Dahlerau besetzten Exemplare lediglich etwa 6 % (Tab. 31). Von den 20 bis 40 km stromaufwärts im Gewässerabschnitt von Wuppertal bis Beyenburg besetzten Exemplaren waren es 20 bis 30 % und die höchsten Redetektionsquoten von 38 bis 47 % entfielen auf Smolts aus den näher am Auer Kotten gelegenen Besatzpunkten im Bereich Kohlfurth und Glüder.

Tab. 31: Redetektionsraten abwandernder Lachssmolts am Auer Kotten

Besatzpunkt	Distanz vom Auer Kotten	Redetektionsrate am Auer Kotten
Dahlerau	48 km	5,7 %
Beyenburg	42,5 km	21,1 %
Wuppertal-Sonnborn	21,5 km	30,9 %
stromab Buchenhofen in Kohlfurth	14,5 km	42,4 %
stromauf der Stauhaltung Glüder - Müngstener Brücke	9,5 km	47,4 %
stromab Glüder	3,5 km	38,0 %

Für die Abwanderung der Flussstrecke von stromab der Stauhaltung Beyenburg bis zum Auer Kotten benötigen die Lachssmolts 2 bis 3 Tage; nur in Einzelfällen wurde eine

Abwanderzeit von bis zu 7 Tagen dokumentiert. Die Reisegeschwindigkeit der Fische betrug von den unterschiedlichen Besatzpunkten aus einschließlich der Überwindung der auf ihrem Weg liegenden Wehre und Wasserkraftstandorte im Mittel 0,5 bis 0,7 km/h. Dabei fanden im Jahr 2018 die individuenstärksten Abwanderereignisse im Frühjahr bei Abflüssen über Mittelwasser statt, und fielen vor allem auch mit Abflussspitzen zusammen (Abb. 85).

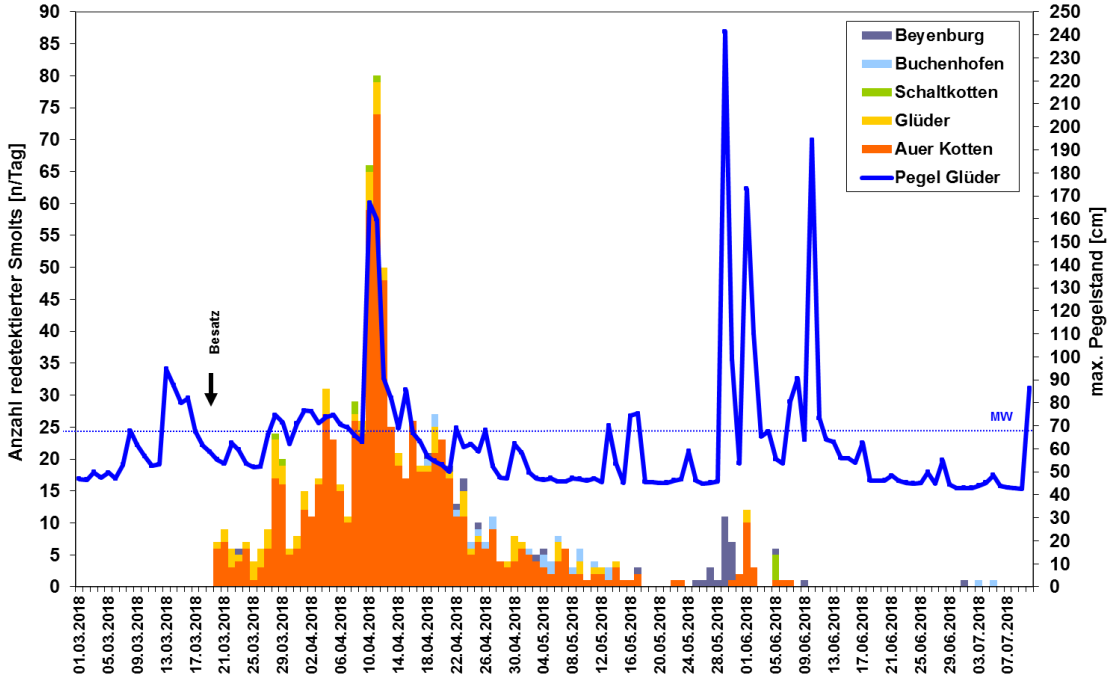


Abb. 85: Redetektion im Jahr 2018 an verschiedenen Stellen in der Wupper besetzten Lachssmolts an den diversen Antennenanlagen korreliert mit dem Abfluss (Quelle: Institut für angewandte Ökologie)

<u>Schlussfolgerung:</u>

Gemäß den vorliegenden Ergebnissen hat mindestens ein Drittel der 2018 im Wupperverlauf ausgebrachten Lachssmolts den Unterlauf und damit mit großer Wahrscheinlichkeit auch den Rhein erreicht. Die Reisegeschwindigkeit der Fische bei ihrer Abwanderung in der Wupper betrug im Mittel 0,5 bis 0,7 km/h und fand insbesondere bei erhöhten Abflüssen und während Abflussspitzen im Frühjahr statt.

Quantitative Aussagen zu den Abwanderquoten und -zeiten in den einzelnen Abschnitten im Verlauf des Wanderweges sind nicht möglich, da nur am Auer Kotten eine vollständige Überwachung sämtlicher Abwanderkorridore durch HDX-Antennen erfolgte.

6 LITERATUR

ADAM, B. (2006): Das Frühwarnsystem MIGROMAT® schützt abwandernde Aale *(Anguilla anguilla)* vor Verletzungen durch Wasserkraftanlagen. - Artenschutzreport 19, 13 - 18.

ADAM, B. & B. LEHMANN (2011): Ethohydraulik: Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse“. - Springer Verlag Berlin Heidelberg, 351 S.

ADAM, B., M. SCHÜRMANN & U. SCHWEVERS (2013): Zum Umgang mit aquatischen Organismen: Versuchstierkundliche Grundlagen. - Wiesbaden (Springer Spektrum), 188 S.

ADAM, B. & U. SCHWEVERS (2019): Telemetrische Untersuchungen zum Abwanderverhalten von Aalen im Main. - WasserWirtschaft 109 (in Druck)

BENITZ, J.-P., A. DIERCKS, B. NITAU, X. ROLLIN & M. OVIDIO (2018): Movement behaviours of potamodromous fish within a large anthropised river after the reestablishment of the longitudinal connectivity. Fisheries Research 207, 140 - 149.

CLEPPER, H. (Hrsg.) (1979): Predator-prey systems in fisheries management. - Washington, Sport Fishing Inst., 540 S.

CROZE, O. & M. LARINIER (1999): Etude du comportement de smolts de saumon atlantique au niveau de la prise d'eau de l'usine hydroélectrique de Pointis sur la Garonne et estimation de la dévalaison. - Bull. Fr. Pêche Piscic. 353/354, 141 - 156.

DLR (Deutscher Rat für Landespflege) (2008): Kompensation von Strukturdefiziten durch Strahlwirkung. Schriftenreihe, Heft 81, 138 S.

DUMONT, U., P. ANDERER & U. SCHWEVERS (2005): Handbuch Querbauwerke. - Düsseldorf (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und ländlichen Raum NRW), 212 S.

DUMONT, U. & C. BAUERFEIND (2006): Herstellung der Durchgängigkeit am Kraftwerk Widdert / Machbarkeitsstudie. - Aachen (Ingenieurbüro Floecksmühle), im Auftrag der Kraftwerk Widdert GbR.

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) (1996): Fischaufstiegsanlagen - Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Bonn (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH), Merkblätter zur Wasserwirtschaft 232, 120 S.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2005): DWA-Themen: Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen: Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle. - Hennef (DWA - Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.), 2. Auflage, 256 S.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2014): DWA-Merkblatt M 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke: Bemessung, Gestaltung, Qualitätssicherung. - Hennef, 334 S.

EBEL, G., F. FREDRICH, A. GLUCH, C. LECOUR & F. WAGNER (2006): Methodenstandard für die Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen. - Sindelfingen (BWK - Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V.), 115 S.

ENGLER, O. & B. ADAM (2013): Ergebnisse einer Elektrobefischung im Turbinenuntergraben der Reuschenberger Mühle an der Wupper. - Im Auftrag der Bezirksregierung Köln, 11 S. (unveröffentlicht).

ENGLER, O. & B. ADAM (2014): HDX-Monitoring Wupper - Untersuchung der Wanderung von Fischen (Untersuchungszeitraum vom 31. Oktober 2013 bis 31. Mai 2014), 89 S. (http://www.brd.nrw.de/umweltschutz/wasserrahmenrichtlinie/HDX-Monitoring-Wupper-2013-14.pdf)

ENGLER, O., V. STÖHR, C. DEFAWEUX & B. ADAM (2016): HDX-Monitoring Wupper II: 1. Untersuchungsbericht der Wanderung von Fischen (Untersuchungszeitraum September 2014 bis Ende 2015). - Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, Dezernat 54 Wasserwirtschaft, 86 S. (unveröffentlicht)

ENGLER, O., B. ADAM & U. SCHWEVERS (2018): HDX-Monitoring Wupper II: 3. Untersuchungsbericht der Wanderung von Fischen. - Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, Dezernat 54 Wasserwirtschaft, 74 S. (unveröffentlicht)

FINKENZELLER, K. (2015): RFID-Handbuch: Grundlagen und praktische Anwendungen von Transpondern, kontaktlosen Chipkarten und NFC. - Hanser Verlag, 7. Ausgabe.

FGE EMS (2009): Internationaler Bewirtschaftungsplan nach Artikel 13 Wasserrahmenrichtlinie für die Flussgebietseinheit Ems: Bewirtschaftungszeitraum 2010-2015. - Geschäftsstelle Ems, Meppen, 263 S.

HENNEBERG, S. C. (2011): Flussgebietsstrategie zur Entwicklung der Wanderfischfauna. KW - Korrespondenz Wasserwirtschaft 4, 258 - 263.

HOFFMANN, M. & G. FEY (2017): Fischaufstiegsanlage Buchenhofen: Prüfung der Funktionsfähigkeit. - Im Auftrag des Wupperverbandes, Ingenieurbüro Floecksmühle GmbH, 27 S. (unveröffentlicht).

HVIDSTEN, N. A. & B. O. JOHNSEN (1997): Screening of descending Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts from a hydropower intake in the river Orkla, Norway. Nordic Journal of Freshwater Research 73, 44-49.

JEPSEN, N., K. AARESTRUP, F. ØKLAND & G. ASMUSSEN (1998) Survival of radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and trout (*Salmo trutta* L.) smolts passing a reservoir during seaward migration. - Hydrobiologica (1998), 371:341.

JEPSEN, N. (2017): Loss of smolts in reservoirs and the effects of barrier removal in lowland rivers. - Präsentation, International Conference on the Engeneering and Ecohydrology for Fish Passage, 2017.

JONSSON, N. (1991): Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. - Nordic J. Freshwater Res., 66, 20 - 35.

JUNGWIRTH, M, G. HAIDVOGL, O. MOOG, S. MUHAR & S. SCHMUTZ (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. - Wien (Facultas Verlags- und Buchhandels AG), 547 S.

KLOPRIES, E. M., L. KROLL, L. JÖRGENSEN, S. TEGGERS-JUNGE & H. SCHÜTTRUMPF (2016): 20 Jahre aktive Partnerschaft für den Aal an Mosel und Saar: Aalschutz-Initiative Rheinland-Pfalz & Innogy SE. - Mainz (Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz), 118 S.

LEHMANN, B., B. ADAM, O. ENGLER, V. HECHT & K. SCHNEIDER (2016): Ethohydraulische Untersuchungen zur Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen. - Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.), Schriftenreihe Naturschutz und Biologische Vielfalt, Heft 151, 156 S.

LEHMANN, B., K. BENSING, S. BORCHARDT & R. BINDERNAGEL (2017): Wasserkraftanlage Glüder/Wupper: Erarbeitung von Strömungssignaturen anhand hydrometrischer Messungen. - Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, Dezernat 54 Wasserwirtschaft, 57 S. (unveröffentlicht)

LÖBF (LANDESANSTALT FÜR ÖKOLOGIE, BODENORDNUNG UND FORSTEN / FISCHEREIVERBAND NRW) (2003): Jahresbericht zum Wanderfischprogramm 2003. - Kirchhundem-Albaum (Wanderfischprogramm Nordrhein-Westfalen), 92 S.

LÖSER, C. & B. ADAM (2017): Achtung bitte! In Elbe, Wupper, Diemel und Hochrhein schwimmen Fische mit Personalausweis. - Fischer & Teichwirt 68, 173 - 174.

LUA (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) (2003): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch; Rheingebiet, Teil III: Mittel- und Niederrhein mit deutschem Issel- und Maasgebiet 2013 (01.11.2002-31.12.2003). - Essen, 318 S.

LUA (Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen) (2011): Strahlwirkungs- und Trittsteinkonzept in der Planungspraxis. - Recklinghausen, LANUV-Arbeitsblatt 16, 95 S.

LUWG (Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz) (2008): Durchgängigkeit und Wasserkraftnutzung in Rheinland-Pfalz - Bewertung der rheinland-pfälzischen Wanderfischgewässer hinsichtlich Durchgängigkeit und Eignung zur Wasserkraftnutzung, Phase 2. - Mainz, 132 S.

MKULNV (2015): Wanderfischprogramm Nordrhein-Westfalen; Phase 2016 bis 2020. - Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Düsseldorf, 24 S.

MUNLV (2009): Durchgängigkeit der Gewässer an Querbauwerken und Wasserkraftanlagen. - Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, Runderlass vom 26.01.2009.

ØKLAND, F., M. A. K. TEICHERT, E. B. THORSTAD, T. B. HAVN, L. HEERMANN, S. A. SÆTHER, O. H. DISERUD; M. TAMBETS, R. D. HEDGER & J. BORCHERDING (2016): Downstream migration of Atlantic salmon smolts at three German hydropower stations. - Trondheim und Köln (NINA - Norwegian Institute for Nature Research und Universität Köln), NINA-Report 1203, 47 S.

ØKLAND, F., M. A. K. TEICHERT, E. B. THORSTAD, T. B. HAVN, L. HEERMANN, S. A. SÆTHER, M. TAMBETS & J. BORCHERDING (2017): Downstream migration of European eel at three German hydropower stations. - Trondheim und Köln (NINA - Norwegian Institute for Nature Research und Universität Köln), NINA-Report 1355, 53 S.

SCHWEVERS, U., B. ADAM & O. ENGLER (2011): Befunde zur Aalabwanderung 2008/09 - Erarbeitung und Praxiserprobung eines Maßnahmenplans zur ökologisch verträglichen Wasserkraftnutzung an der Mittelweser. - Dessau (Umweltbundesamt), UBA-Texte 75/2011 (www.uba.de/uba-info-medien/4200.html), 72 S.

SCHWEVERS, U., O. ENGLER & B. ADAM (2017): HDX-Monitoring Wupper II: 2. Zwischenbericht der Untersuchung der Wanderung von Fischen. - Im Auftrag der Bezirksregierung Düsseldorf, Dezernat 54 Wasserwirtschaft, 106 S. (unveröffentlicht)

SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2018): Zur Sackgassenwirkung von Ausleitungskraftwerken für stromaufwärts wandernde Fische. - Wasser & Abfall 20/7+8, 67 - 71.

SCHWEVERS, U. & B. ADAM (2019): Biometrie einheimischer Fischarten als Grundlage für die Bemessung von Fischwegen und Fischschutzanlagen. - Wasser und Abfall, Heft 1-2, (in Druck)

SCHWINN, M., H. BAKTOFT, K. AARESTRUP & A. KOED (2017): A comparison of survival and migration of wild and F1-hatchery-reared brown trout *(Salmo trutta)* smolts traversing an artificial lake. - Fisheries Research 196, 47 - 55.

THALMANN, M. (2015): Aalschonendes Betriebsmanagement. - Broschüre der Statkraft Markets GmbH, 33 S.

THOMPSON, A. M., R. R. O´CONNER, M. A. TIMKO, L. S. SULLIVAN, S. E. RIZOR, J. L. HANNITY, C. D. WRIGHT, C. A. FITZGERALD, M. L. MEAGHER, J. D. STEPHENSON, J. R. SKALSKI & R. L. TOWNSEND (2012): Evaluation of downstream juvenile steelhead survival and predator-prey interactions using JSATS through the Priest Rapids Reservoir in 2011. - Grant County/USA (Blue Leaf Environmental), 40 S.

TETARD, S., E. de OLIVEIRA & K. LINÉ (2015): Untersuchungen zur Auffindbarkeit und Passierbarkeit der FAA Gambsheim/Rhein für Salmoniden und Cypriniden. - 4. Kolloquium „Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen“ 9./10. Juli 2014 in Koblenz, 87 - 93.

TRAVADE, F. & M. LARINIER (2006): French experience in downstream migration devices. - DWA-Themen: Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna, 91 - 99.

TSVETKOV, V. I., D. S. PAVLOV & V. K. NEZDOLIY (1972): Changes of hydrostatic pressure lethal to the young of some freshwater fish. - J. Ichthyol. 12, 307 - 318.

DANKSAGUNG

Das Institut für angewandte Ökologie bedankt sich bei allen Personen und Institutionen, die an diesem Freilandprojekt mitgewirkt und es unterstützt haben. Wir bedanken uns insbesondere bei den Familien Einsiedler und Keune sowie den Stadtwerken Solingen und dem Wupperverband dafür, dass wir unsere HDX-Technik an ihren Wasserkraft- und Fischaufstiegsanlagen installieren durften. Für wertvolle Informationen über Rückkehrer und transpondierte Fische in der Wupper bedanken wir uns bei den Angelfischereivereinen und Durchführenden des Wanderfischprogramms NRW, namentlich Herrn Wuttke. Schließlich haben wir uns sehr über die tatkräftige Unterstützung durch die Fischereibiologen des LANUV aus Albaum bei den diversen Markierungs- und Besatzkampagnen gefreut. Ganz herzlichen Dank dafür! Und schließlich sei auch den Ingenieuren des Instituts für Wasserbau der TU Darmstadt unter Leitung von Prof. Lehmann für die konstruktiven Diskussion rund um hydraulischen Fragen gedankt.

ANHANG I: Tierschutzrechtliche Genehmigung zur Markierung von Fischen

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

LANUV NRW, Postfach 10 10 52, 45610 Recklinghausen

Herrn
Dr. Ulrich Schwevers
Institut für angewandte Ökologie
Neustädter Weg 25
36320 Kirtorf-Wahlen

Auskunft erteilt:
Frau Kögel
Direktwahl 02361-305 3255
Fax 02361/305-3439
fachbereich84@lanuv.nrw.de

Aktenzeichen
84-02.04.2015.A123
bei Antwort bitte angeben
Ihre Nachricht vom:
Ihr Aktenzeichen:

Datum: 26.06.2015

Hauptsitz:
Leibnizstraße 10
45659 Recklinghausen
Telefon 02361 305-0
Fax 02361 305-3215
poststelle@lanuv.nrw.de
www.lanuv.nrw.de

Dienstgebäude:
Hauptsitz Recklinghausen

Öffentliche Verkehrsmittel:
Ab Recklinghausen Hbf mit Buslinie 236 bis Haltestelle "Siemensstraße" und 5 Min. Fußweg oder mit Buslinie SB 20 bis Haltestelle "Hohenhorster Weg" und 15 Min. Fußweg in Richtung Trabrennbahn bis Leibnizstraße

Bankverbindung:
Landeskasse Düsseldorf
Konto-Nr.: 41 000 12
West LB AG
(BLZ 300 500 00)
BIC-Code: WELADEDD
IBAN-Code: DE 41 3005 0000 0004 1000 12

Tierschutz
Genehmigung von Versuchen an Wirbeltieren gemäß § 8 Abs. 1 TierSchG i.V.m. § 33 TierSchVersV
Ihr Antrag vom 17.02.2015

Sehr geehrter Herr Dr. Schwevers,

I. Gemäß § 8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes (TierSchG) in der derzeit gültigen Fassung i. V. mit § 33 der Verordnung zum Schutz von Versuchszwecken oder zu anderen wissenschaftliche Zwecken verwendeten Tiere (Tierschutz-Versuchstierverordnung - TierSchVersV) vom 01. August 2013 (BGBL I, S.3125) erteile ich Ihnen unter dem Vorbehalt des jederzeitigen Widerrufs die Genehmigung zur Durchführung des nachstehenden Tierversuches:

„Monitoring der Fischwanderungen in der Wupper mittels HDX-Technologie"

II. Die Verantwortung für die Durchführung des Tierversuchsvorhabens obliegt folgenden Personen:
Verantwortlicher Leiter: **Frau Dr. Beate Adam**
Stellvertretender Leiter: **Frau Vanessa Burmester**

III. An der Durchführung des Tierversuchsvorhabens dürfen neben dem Leiter und dem Stellvertreter des Versuchsvorhabens folgende Personen beteiligt werden:
- Frau Valeska Stöhr
- Frau Juliane Klan

Seite 2 /

IV. Die Versuche dürfen nur in der Wupper durchgeführt werden

V. Eine rückblickende Bewertung nach § 35 TierSchVersV ist nicht vorzunehmen.

VI. Die Genehmigung erstreckt sich auf Versuche mit :

3000 Wildfische
900 Blankaale
3000 Lachs-Smolts

VII. Sie haben folgende Auflagen zu beachten:

1. Ist ein Transport der Versuchstiere zwischen Operations- und Tierhaltungsraum unvermeidbar, so ist dafür Sorge zu tragen, dass mit Hilfe geeigneter Behältnisse dieser Transport so durchgeführt wird, dass negative Beeinflussungen durch äußere Einflüsse (z. B. Witterung, Lärm etc.) ausgeschlossen sind. Es ist insbesondere darauf zu achten, dass die Tiere keinen
Temperaturschwankungen ausgesetzt sind.
2. Unabhängig von den im Antrag angeführten Abbruchkriterien ist der Versuch abzubrechen und das betroffene Tier tierschutzgerecht zu töten, wenn dies aufgrund des Zustandes des Tieres nach der Einschätzung des Tierschutzbeauftragten aus Tierschutzgründen unerlässlich ist.
3. Sie werden gebeten, nach Erhalt der Genehmigung eine aktualisierte Zusammenfassung elektronisch zu übersenden, die den Inhalt der Genehmigung vollständig und richtig darstellt.

VIII. Diese Genehmigung ist bis zum **30.06.2018** befristet.

IX. Dieser Bescheid ergeht gebührenfrei

ANHANG II: Details der Ausstattung mit HDX-Antennen an den Untersuchungsstandorten

Auer Kotten

Nr.	überwachte Position	Antennentyp	Fertigung	Maße (L x B)	Lese-abstand
1	Mutterbett, abstrom	schwimm drüber	Strickleitertyp	20,00 x 0,30 m	0,3 m
2	Schlitzpass, Auslauf	schwimm durch	PE-Rahmen	1,30 x 0,50 m	1,2 m
3	Turbinenauslauf	schwimm durch	Holzrahmen	6,46 x 2,70 m	1,3 m
4	sohlennaher Bypass, Monitoringbecken	schwimm durch	PE-Rahmen	0,40 x 0,40 m	1,1 m
5	Leerschuss	schwimm durch	PE-Rahmen	3,00 x 1,00 m	1,4 m
6	sohlennaher Bypass, Auslauf	schwimm durch	PE-Rahmen	0,40 x 0,40 m	1,0 m
7	oberflächennaher Bypass, Einlauf	schwimm durch	PE-Rahmen	0,27 x 0,57 m	1,0 m
8	Schlitzpass, Einlauf	schwimm durch	PE-Rahmen	1,10 x 0,55 m	1,2 m
9	Smoltbypass und oberflächennaher Bypass, Auslauf in den Schlitzpass	schwimm durch	PE-Rahmen	0,34 x 1,00 m	1,0 m
10	Mutterbett, aufstrom	schwimm drüber	Strickleitertyp	15,00 x 0,40 m	0,1 m
11	Einlauftor Turbinen-obergraben, links	schwimm durch	PE-Rahmen	1,90 x 2,60 m 2,15 x 2,60 m	0,0 m
12	Einlauftor Turbinenobergraben, mitte	schwimm durch	PE-Rahmen	2,15 x 2,60 m 2,15 x 2,60 m	1,2 m
13	Einlauftor Turbinenober-graben, rechts	schwimm durch	PE-Rahmen	2,15 x 2,60 m 1,75 x 2,60 m	1,2 m
14	Raugerinne-Beckenpass, Einlauf	schwimm durch	Seilantenne	5,50 x 1,00 m	1,6 m
15	Raugerinne-Beckenpass, Auslauf	schwimm durch	Seilantenne	8,00 x 1,00 m	1,2 m
16	Wehrfuß	schwimm drüber	Strickleitertyp	9,00 x 0,30 m	0,1 m

Glüder (synonym Neuenkotten)

Nr.	überwachte Position	Antennentyp	Fertigung	Maße (L x B)	Lese-abstand
21	Turbinenauslauf, links	schwimm durch	Holzrahmen	5,09 x 2,0 m	0,6 m
22	Turbinenauslauf, mittig	schwimm durch	Holzrahmen	5,10 x 2,0 m	0,6 m
23	Turbinenauslauf, rechts	schwimm durch	Holzrahmen	5,08 x 2,0 m	0,4 m
24	Fischpass, mittig	schwimm durch	Seilantenne	2,50 x 0,55 m	1,2 m
25	Fischpass, Ausstieg	schwimm durch	PE-Rahmen	1,99 x 1,0 m	1,1 m

Schaltkotten

Nr.	überwachte Position	Antennentyp	Fertigung	Maße (L x B)	Lese-abstand
31	Fischpass, Einstieg 1	schwimm durch	Seilantenne	4,66 x 0,55 m	0,6 m
32	Fischpass, unten 2	schwimm durch	Seilantenne	4,9 x 0,65 m	0,4 m
33	Fischpass, unten 3	schwimm durch	Seilantenne	4,0 x 0,55 m	0,5 m
34	Mutterbett	schwimm drüber	Strickleitertyp	12,0 x 0,4 m	0,1 m

Buchenhofen

Nr.	überwachte Position	Antennentyp	Fertigung	Maße (L x B)	Lese-abstand
41	Fischpass, unten	schwimm durch	PE-Rahmen	2,62 x 1,0 m	1,1 m
42	Fischpass, oben	schwimm durch	PE-Rahmen	1,98 x 1,0 m	1,2 m

Beyenburger Stausee

Nr.	überwachte Position	Antennentyp	Fertigung	Maße (L x B)	Lese-abstand
51	Fischpass, unten	schwimm durch	PE-Rahmen	2,89 x 1,3 m	1,1 m
52	Fischpass, oben	schwimm durch	Holzrahmen	2,47 x 1,3 m	1,1 m

ANHANG III: Reisetagebücher

Legende

	Besatzort bzw. Besatzstrecke
	Aufenthalt / Nachweis
WF	Entnahme nach Fang (durch Angler, Fangeinrichtung Buchenhofen etc.)
	Wehrstandorte bzw. Wupperabschnitte ohne HDX-Anlagen
WF	Wiederfang durch Elektrobefischung IfÖ
← WF	Wiederfang stromab Reuschenberger Mühle durch IfÖ
?	Wanderweg fraglich

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
180316186	Lachs																
180316330	Lachs																
180316322	Lachs																
180316161	Meerforelle																
180316147	Meerforelle																
180316165	Barbe																
180316272	Barbe																
180316184	Barbe																
180316138	Barbe																
180316341	Barbe																
180316085	Barbe																
180583452	F-Neunauge																
180583274	F-Neunauge																
179337871	Nase																
179337853	Nase																
179337834	Nase																
179337863	Nase	← WF															
183589895	Bachforelle																
183589897	Bachforelle																
183589903	Bachforelle																
183589909	Bachforelle																
183589916	Bachforelle																
183589917	Bachforelle																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183589921	Bachforelle																
183589932	Bachforelle																
183589938	Bachforelle																
183589942	Bachforelle																
183589947	Bachforelle																
183589951	Bachforelle																
183589965	Bachforelle																
183589968	Bachforelle																
183589982	Bachforelle																
183589983	Bachforelle																
183589991	Bachforelle																
183589930	Bachforelle																
183596004	Bachforelle																
183596003	Bachforelle																
900228000022015	Bachforelle																
900228000022016	Bachforelle																
183973742	Bachforelle																
900228000022038	Äsche																
900228000022042	Bachforelle																
900228000022045	Bachforelle																
183971832	Bachforelle																
183971853	Bachforelle																
900228000022051	Bachforelle																
900228000022071	Bachforelle																
900228000022076	Bachforelle																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000022084	Bachforelle										WF						
900228000022090	Bachforelle																
900228000022093	Bachforelle																
900228000022104	Bachforelle																
900228000022118	Äsche																
900228000022119	Bachforelle																
900228000022130	Bachforelle																
900228000022148	Bachforelle																
900228000022150	Bachforelle																
900228000022161	Bachforelle																
900228000022186	Bachforelle																
900228000022194	Bachforelle																
900228000022202	Bachforelle																
900228000022220	Bachforelle										WF						
900228000022237	Bachforelle																
183972017	Bachforelle																
183971817	Bachforelle											?	?	?	?		
183971869	Bachforelle																
183971793	Bachforelle																
183971729	Meerforelle											WF					
183971858	Meerforelle																
183973738	Bachforelle																
183973736	Bachforelle																
183973735	Bachforelle										WF						
183973734	Bachforelle										WF						

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973732	Bachforelle																
183973730	Bachforelle										WF						
900228000022291	Bachforelle																
183972021	Bachforelle																
183971983	Bachforelle																
183971868	Aal																
183595917	Bachforelle																
183595929	Bachforelle																
183595930	Döbel																
183595931	Nase																
183595932	Nase																
183595942	Bachforelle																
183595951	Bachforelle																
183595952	Bachforelle																
183595980	Bachforelle																
900228000208002	Bachforelle																
183595977	Bachforelle								WF								
900228000208012	Bachforelle																
900228000208074	Bachforelle																
900228000208095	Bachforelle																
900228000208107	Bachforelle																
900228000208120	Bachforelle																
183971746	Bachforelle																
183971848	Bachforelle																
183971835	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183971834	Barbe																
183972028	Barbe																
183971901	Äsche																
183971939	Bachforelle																
183971841	Bachforelle																
183971760	Meerforelle cf																
183971905	Bachforelle																
183971935	Äsche																
183971956	Äsche																
183971974	Bachforelle																
183971898	Bachforelle																
183971881	Äsche																
183971897	Meerforelle cf																
183971847	Nase																
183971977	Aal																
183971825	Äsche																
183971908	Barbe																
183971742	Bachforelle																
183971861	Bachforelle																
183971860	Nase																
183971874	Nase																
183971989	Nase																
183972002	Äsche																
183971777	Äsche																
183971944	Äsche																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000208126	Äsche																
900228000208128	Bachforelle																
900228000208136	Bachforelle																
183971919	Äsche																
183972034	Äsche																
183972041	Äsche																
900228000208137	Hasel																
900228000208142	Nase																
900228000208143	Nase																
900228000208144	Hasel																
183971893	Äsche																
900228000208148	Bachforelle																
900228000208151	Bachforelle																
900228000208155	Hasel																
900228000208156	Hasel																
183971953	Nase																
183972033	Nase																
183971826	Nase																
183971830	Barbe																
183971753	Nase																
183971810	Nase																
183971778	Nase																
183971949	Äsche																
183971916	Nase																
900228000208161	Bachforelle																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000208163	Bachforelle																
900228000208253	Bachforelle																
900228000208255	Lachs																
900228000208256	Aal																
183971780	Äsche																
183971947	Äsche																
183972027	Meerforelle cf						WF										
183971904	Nase																
183971796	Nase																
183971795	Barbe						WF										
183971991	Barbe						WF										
183971839	Nase																
183972001	Nase																
183971759	Nase																
183971884	Nase																
183971931	Nase																
183971756	Nase																
183971924	Nase																
900228000208176	Bachforelle																
183971803	Hecht																
183971917	Nase																
183971948	Nase																
183971978	Äsche																
183972024	Nase																
183971982	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183971814	Bachforelle																
183971927	Nase																
183971980	Barbe																
900228000208189	Bachforelle																
900228000208194	Bachforelle																
900228000208195	Bachforelle																
183972012	Nase																
183971907	Nase																
183971766	Nase																
183971766	Nase						WF										
900228000208197	Barsch																
900228000208199	Bachforelle																
900228000208200	Bachforelle																
900228000208202	Barsch																
183971850	Hecht																
900228000208204	Barsch																
900228000208205	Barsch																
900228000208206	Barsch																
900228000208207	Hasel																
900228000208208	Hasel																
900228000208210	Döbel																
183971990	Äsche																
183971857	Äsche																
183971747	Äsche																
183971938	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183971951	Barbe																
183971736	Barbe						WF										
183971996	Äsche																
183971880	Äsche																
183971900	Bachforelle																
183971801	Barbe																
183971867	Nase																
183971913	Bachforelle																
183973727	Barbe																
183973728	Barbe																
183973726	Äsche																
183973718	Äsche				WF												
183973714	Nase				WF												
183973707	Äsche																
183973697	Äsche																
183973691	Äsche																
183973605	Nase																
183973612	Nase																
183973613	Barbe				WF												
183973616	Barbe				WF												
183973620	Nase																
183973622	Nase																
183973623	Barbe				WF												
183973624	Nase																
183973626	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973627	Barbe																
183973639	Äsche																
183973640	Nase																
183973641	Barbe																
183973646	Nase				WF												
183973647	Nase																
183973648	Nase																
183973653	Nase																
183973655	Äsche																
183973656	Barbe				WF												
183973659	Nase																
183973660	Nase																
183973662	Nase																
183973661	Nase																
183973664	Nase																
183973671	Nase																
183973673	Nase																
183973674	Nase																
183973676	Nase																
183973681	Nase																
183973680	Barbe				WF												
900228000208211	Äsche																
900228000208212	Äsche				WF												
900228000208221	Äsche				WF												
900228000208223	Äsche																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000208224	Bachforelle																
900228000208225	Hasel																
900228000208228	Bachforelle																
900228000208229	Bachforelle																
900228000208236	Bachforelle																
900228000208239	Döbel																
900228000208240	Bachforelle																
900228000208242	Nase																
900228000208243	Hasel																
900228000208294	Bachforelle																
900228000208295	Bachforelle																
900228000208296	Hasel																
900228000208298	Bachforelle																
900228000208299	Bachforelle																
183973599	Nase																
183973597	Nase																
183973596	Bachforelle																
183973594	Nase																
183973593	Nase																
183973583	Nase																
183973582	Nase		WF														
183973584	Nase																
183973574	Nase		WF														
183973571	Aal																
183973575	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973576	Nase																
183973578	Nase																
183973562	Nase																
183973566	Nase																
183973588	Nase																
183973557	Nase																
900228000208523	Äsche				WF												
900228000208531	Äsche																
900228000208536	Äsche																
900228000208541	Äsche																
900228000208532	Äsche				WF												
900228000208538	Äsche																
900228000208534	Äsche																
900228000208544	Äsche		WF														
900228000208549	Hasel																
900228000208560	Äsche				WF												
900228000208569	Nase																
183973553	Nase		WF														
183973559	Barbe		WF														
183973551	Nase																
183973548	Nase																
183973549	Barbe																
183973543	Barbe																
183973544	Nase																
183973547	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973538	Nase																
183973540	Nase																
183973515	Barbe																
183973530	Nase																
183973532	Nase																
183973520	Nase		WF														
183973518	Nase																
183973510	Nase		WF														
183973496	Barbe		WF														
183973492	Nase																
183973493	Barbe																
183973495	Döbel		WF														
183973499	Döbel		WF														
900228000208583	Äsche		WF														
900228000208597	Äsche																
900228000208607	Äsche		WF														
900228000208761	Barbe																
900228000208762	Döbel																
900228000208784	Hasel																
900228000208803	Hasel																
900228000208998	Äsche																
900228000208897	Äsche				WF												
900228000208996	Äsche				WF												
900228000208993	Äsche																
900228000208991	Äsche				WF												

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000208990	Äsche																
900228000208989	Äsche				WF												
900228000208988	Äsche				WF												
900228000208987	Äsche				WF												
900228000208986	Äsche				WF												
183973161	Nase																
183973162	Barbe																
183973165	Barbe																
183973166	Barbe																
183973168	Nase																
183973169	Nase				WF												
183973170	Nase																
183973171	Nase																
900228000208983	Äsche				WF												
900228000208982	Äsche				WF												
900228000208980	Äsche				WF												
900228000208977	Äsche				WF												
900228000208975	Äsche				WF												
900228000208974	Äsche																
183973173	Nase																
183973174	Äsche																
183973177	Barbe				WF												
183973179	Nase																
183973180	Nase																
183973181	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973186	Meerforelle cf									?	?	?	?	?	?		
183973188	Nase																
183973194	Barbe																
183973195	Nase																
183973197	Barbe				WF												
183973200	Nase		WF														
183973208	Barbe																
183973209	Nase																
183973210	Nase																
183973215	Barbe																
183973218	Nase																
183973219	Nase																
900228000208809	Äsche				WF												
183973223	Barbe																
183973224	Barbe																
183973225	Barbe																
183973226	Barbe																
183973230	Nase																
183973242	Nase																
183973243	Nase																
183973244	Nase																
183973247	Nase																
183973159	Nase																
183973157	Nase																
183973154	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973153	Barbe																
183973151	Barbe																
183973141	Nase																
183973139	Barbe																
183973136	Barbe																
183973135	Barbe																
183973131	Nase																
183973129	Nase																
183973128	Nase																
183973127	Barbe																
183973122	Barbe																
183973121	Barbe																
183973118	Nase																
183973117	Nase																
900228000208839	Äsche				WF												
183973086	Barbe																
183973248	Nase																
900228000209220	Äsche																
900228000209222	Nase																
900228000209225	Barbe																
183973261	Barbe																
900228000209229	Hasel																
183973263	Barbe																
183973265	Barbe																
900228000209231	Äsche						WF										

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000209233	Äsche																
900228000209235	Äsche						WF										
900228000209236	Äsche						WF										
183973268	Barbe						WF										
183973269	Nase																
183973074	Barbe																
183973078	Nase																
183973079	Barbe						WF										
183973083	Barbe																
183973270	Nase																
183973065	Barbe																
183973068	Nase																
183973069	Nase																
183973073	Nase																
183973060	Nase																
183973061	Nase																
900228000209243	Äsche						WF										
183973274	Nase						WF										
900228000209247	Äsche																
900228000209248	Äsche																
900228000209249	Hasel																
900228000209250	Barbe																
900228000209253	Barbe																
183973047	Barbe																
183973048	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973049	Barbe																
183973050	Barbe																
183973051	Barbe																
183973052	Nase						WF										
183973053	Nase																
183973055	Barbe																
900228000209260	Äsche								WF								
900228000209261	Äsche																
900228000209263	Äsche								WF								
183973280	Barbe																
183973276	Barbe																
183973281	Bachsaibling																
183973284	Barbe																
183973289	Aal																
183973291	Barbe																
183973292	Barbe																
183973293	Barbe																
900228000209972	Äsche													WF			
183972809	Bachforelle													WF			
900228000544232	Äsche																
900228000544236	Äsche																
900228000544237	Äsche																
900228000544229	Äsche																
900228000544225	Äsche																
900228000544226	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000544230	Barbe																
900228000544221	Barbe																
900228000544217	Barbe																
900228000544223	Barbe																
900228000544208	Barbe																
900228000544206	Barbe																
900228000544211	Barbe																
183972955	Barbe																
183972954	Barbe																
900228000544213	Äsche																
900228000544255	Äsche																
900228000544253	Äsche																
900228000544249	Äsche																
183972957	Nase																
183972959	Nase																
900228000544247	Äsche																
900228000544209	Äsche																
900228000544207	Barbe																
900228000544219	Barbe																
900228000544218	Hasel																
183972967	Nase																
183972956	Nase																
183972964	Nase																
183972968	Nase																
183972953	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183972965	Barbe																
183972960	Nase																
183972961	Nase																
183972980	Nase																
183972975	Nase																
183972973	Nase																
183972971	Nase																
183972970	Nase																
183972972	Nase																
183972969	Nase																
183972989	Nase																
183972992	Barbe				WF												
900228000544223	Äsche																
900228000544398	Äsche																
900228000544397	Äsche																
900228000544396	Äsche																
183972986	Nase																
900228000544392	Äsche																
900228000544391	Äsche																
900228000544385	Äsche																
900228000544383	Äsche																
900228000544371	Hasel																
183972978	Nase																
183972982	Barbe																
183972991	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183972987	Nase																
183972997	Nase																
183972998	Barbe																
183973001	Barbe																
183972994	Barbe																
900228000544367	Äsche																
183972999	Nase																
183973000	Nase																
183973007	Nase																
183973004	Nase																
183973006	Nase																
183973002	Nase																
183973008	Barbe																
183972818	Barbe																
183973010	Barbe																
183973017	Barbe																
183973020	Nase																
183973015	Nase																
183973012	Nase																
183972478	Nase																
183972481	Nase																
183972482	Nase																
183972483	Nase																
900228000544361	Barbe																
183972488	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183972489	Aal																
900228000544356	Hasel																
183972491	Nase																
183972490	Nase																
183972492	Nase																
183972493	Nase		WF														
183972495	Nase																
183972496	Nase																
183972498	Nase																
183972500	Nase																
183972506	Nase																
183972507	Nase																
183972508	Nase																
900228000544313	Äsche																
183972516	Nase																
183972518	Nase																
183972520	Nase																
183972519	Nase																
183972521	Nase																
183972527	Nase																
183972531	Nase																
183972532	Nase																
900228000544351	Äsche																
183972534	Nase																
183972533	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183973009	Nase																
183972547	Nase																
183972544	Nase																
900228000544343	Barbe																
900228000544339	Hasel																
900228000544338	Hasel																
900228000544337	Hasel																
900228000544336	Hasel																
183972542	Nase																
183972541	Nase																
183972540	Nase																
900228000544328	Barbe																
183972538	Barbe																
183972539	Barbe																
183972549	Nase																
183972550	Nase																
183972553	Nase																
183972554	Nase																
183972557	Nase																
183972558	Nase																
183972559	Nase																
183972562	Nase																
183972564	Barbe																
900228000544327	Äsche																
900228000544326	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183972566	Nase																
183972568	Barbe						WF										
183972569	Barbe																
183972572	Barbe																
183972573	Barbe																
183972576	Nase																
183972577	Nase																
183972578	Barbe																
183972581	Meerforelle cf																
183972582	Nase																
183972583	Nase																
183972584	Nase																
183972585	Nase																
183972586	Barbe																
183972578	Barbe																
183972588	Nase																
183972589	Nase																
183972591	Nase																
183972595	Nase																
183972596	Nase																
183972599	Nase																
183972602	Nase																
183972603	Nase																
183972604	Nase																
183972609	Nase																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
183972610	Nase																
183972612	Nase																
183972611	Barbe																
183972613	Barbe																
183972614	Nase																
183972615	Nase																
183972619	Barbe																
183972624	Barbe																
183972627	Barbe																
183972626	Barbe																
183972631	Barbe																
183972630	Nase																
183972632	Nase																
183972634	Nase																
183972635	Nase																
183972637	Nase																
183972638	Nase																
183972639	Nase																
183972640	Nase																
900228000544306	Äsche						WF										
183972642	Nase																
183972651	Nase																
183972650	Barbe																
183972647	Barbe																
183972645	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000544305	Hasel																
900228000544304	Barsch																
900228000544303	Hecht																
183972648	Barbe																
900228000544296	Hasel																
183972657	Bachforelle																
900228000544476	Hasel																
900228000544472	Hasel																
183972663	Barbe																
183972664	Barbe																
900228000544468	Barbe																
900228000544466	Döbel																
183972950	Nase																
183972470	Nase																
183972471	Barbe																
183972465	Barbe																
183972462	Barbe																
183972463	Barbe																
183972461	Barbe																
183972460	Barbe																
183972459	Barbe																
183972456	Nase																
183972449	Nase																
900228000544463	Barbe																
900228000544457	Barbe																

ID	Art	Reuschenberger Mühle (km 4)		Wipperkotten (km 16)		Auer Kotten (km 21)		Glüder (km 26)		Schaltkotten (km 32)		Buchenhofen (km 40)		Wuppertal		Beyenburger Stausee (km 65)	
900228000544454	Nase																
900228000544448	Döbel																
900228000544444	Hasel																
900228000544443	Hasel																
900228000544442	Barbe																