

Aalabwanderung an der Wasserkraftanlage Unkelmühle - zwei Methoden, ein Ergebnis?

Die Wasserkraftanlage Unkelmühle (Sieg) wurde mit einem flach geneigten Vertikalrechen und Fischabstiegswegen für Aal und Lachs ausgerüstet. Die Funktionsfähigkeit der Fischschutzeinrichtungen für den Aal wurde u. a. mit einem Fangmonitoring an den sohlennahen Abstiegen sowie mittels Radiotelemetrie überprüft. Mehr als 90 % der am Standort erfassten abgewanderten und telemetrierten Aale nutzten jedoch oberflächennahe Abstiegswege, entweder direkt bei Überfall am Wehr oder im Bereich des Krafthauses. Eine bodennahe Abwanderung über die Bottom Gallery wurde zwar nachgewiesen, die Telemetrie-Daten zeigten jedoch unabhängig vom Fangmonitoring deren untergeordnete Bedeutung für Aale.

Detlev Ingendahl, Lisa Heermann, Sebastian Emde, Stefan Staas, Maxim Teichert und Jost Borchering

1 Biologie und Gefährdung des Europäischen Aals

Der katadrome Aal (*Anguilla anguilla*) bildet in seinem europäischen Verbreitungsgebiet eine gemeinsame Fortpflanzungsgemeinschaft. Von dem im Bereich der Sargassosee im Atlantik gelegenen Laichgebiet wandern die frisch geschlüpften Aalarven (Leptocephali) mit dem Golfstrom an die europäischen Küsten. Auf dem letzten Abschnitt dieser Reise wandeln sich die Larven in durchsichtige, bis zu 80 mm lange Glasaale um. Aus den Mündungsgebieten der Flüsse steigen die Glasaale im Frühjahr aktiv in die Binnengewässer ein. Dort wandern die als Steigaaale bezeichneten Jungfische teilweise über Hunderte von Kilometern bis in die Zuflüsse der großen Ströme auf. Im Verlaufe dieser Wanderung pigmentieren sich die Jungaale weiter und werden als sogenannte Gelbaale resident.

Nach einem zwischen 8 und 20 Jahre andauernden kontinentalen Aufenthalt wandeln sich die Gelbaale in das Blankaalstadium



Bild 1: Abwandernder Blankaal an der Wasserkraftanlage Unkelmühle

dium (**Bild 1**) um, und beginnen mit der Abwanderung zu ihrem Laichareal im Meer. Mit zunehmender Entfernung der Süßwasserhabitate vom Meer steigt der Anteil der weiblichen Blankaale die in der Regel eine Größe von 50 cm bis 100 cm erreichen können [1]. Nach einer über 5 000 km langen transatlantischen Wanderung erreichen die Laichtiere den Bereich der Sargassosee und der Lebenszyklus schließt sich.

Während noch Ende der siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts enorme Mengen an Glasaalen an den Küsten ankamen und es eine Glasaalfischerei erheblichen Ausmaßes gab, ist seit den achtziger Jahren ein dramatischer Rückgang des Glasaalaufstiegs zu verzeichnen [2]. Dieser Rückgang in der Aalrekrutierung bildet sich inzwischen auch in den Schätzungen der Gelbaal- und Blankaalpopulation ab.

Die Ursachen für den Rückgang sind vielfältig und können ozeanischen Faktoren (z. B. Änderung von Meeresströmungen), kontinentalen Faktoren (z. B. Habitatverluste, mangelnde Durchgängigkeit, Turbinenmortalität, Fischerei), aber auch internen Faktoren, wie beispielsweise Parasiten oder toxikologischen Belastungen, zugeordnet werden. Wegen der kritischen Bestandssituation hat die EU 2007 eine Verordnung zum Schutze

Kompakt

- Mehr als 90 % der markierten Aale passierten oberflächennahe Abstiegswege am Wehr und am Krafthaus.
- Die sohlennahen Abstiegsmöglichkeiten am Standort Unkelmühle waren von untergeordneter Bedeutung für den Aalabstieg.
- Der Schutzrechen verhinderte eine Turbinenpassage und 92 % bzw. 96 % bis 100 % der Aale setzten ihre Wanderung nach der Kraftwerkspassage erfolgreich fort.
- Nur die radiotelemetrische Studie lieferte ein umfassendes Bild des Abstiegs geschehens am Standort, da sich der Abstieg über das Wehr und weitere, wichtige Abstiegskorridore nicht mit Hilfe von Fangeinrichtungen erfassen ließ.

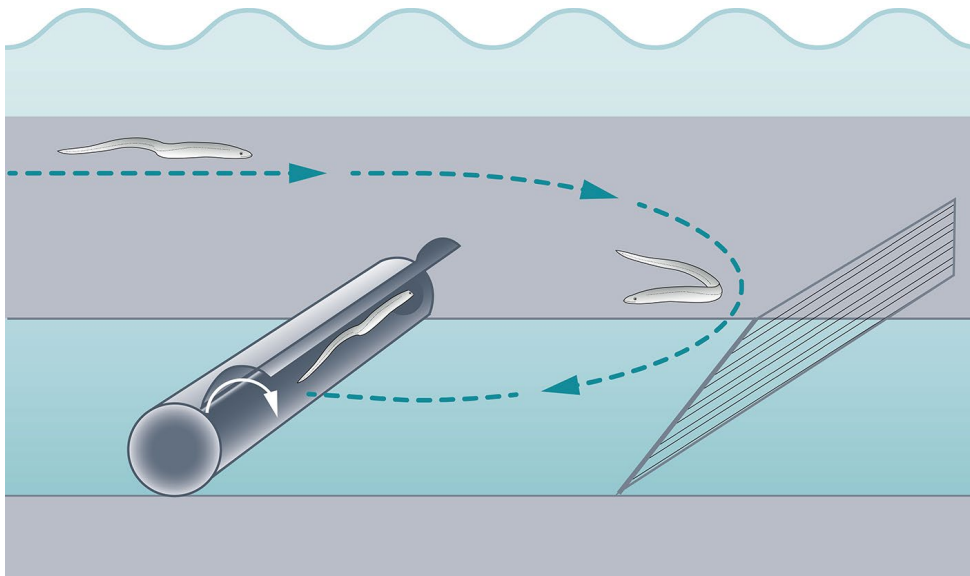


Bild 2: Bottom Gallery – Funktionsprinzip für abwandernde Blankaale

des Aals erlassen [3]. Darin werden die Mitgliedsstaaten aufgefordert, Managementpläne mit Maßnahmen zum Schutze des Aals aufzustellen. Zu den von der EU benannten Maßnahmen gehört neben vielen anderen auch die Verminderung der Turbinenmortalität abwandernder Blankaale an Wasserkraftanlagen.

2 Fischschutz und Fischabstieg an der Wasserkraftanlage Unkelmühle

Die Sieg gehört zu den Zielartengewässern für Aal und Lachs in Nordrhein-Westfalen [4]. Daher vereinbarten das Land Nordrhein-Westfalen und RWE als Eigentümer und Betreiber der Wasserkraftanlage 2008 in einem gemeinsamen öffentlich-rechtlichen Vertrag den Umbau der Wasserkraftanlage Unkelmühle (Ausbauwassermenge 27 m³/s) zu einer Pilotanlage für den Fischschutz und Fischabstieg. Es wurden ein vertikal flach geneigter (27 Grad) Feinrechen mit 10 mm Stababstand und mehrere speziell für die diadromen Fischarten Aal und Lachs konzipierte Abstiegswege eingebaut. Da man allgemein von einer sohlennahen Wanderung der Aale ausging [5], wurde neben den oberflächennahen Bypässen (Lachsabstieg) eine sogenannte Bottom Gallery für abwandernde Blankaale am Grund des Obergrabens in unmittelbarer Nähe vor dem Feinrechen realisiert sowie drei seitlich in die linke Wand des Obergrabens eingelassene, sogenannte „Aalrohre“.

Das Funktionsprinzip der Bottom Gallery fußt auf Beobachtungen aus Laborgerinnen, bei denen Blankaale nach Kontakt mit einem Schutz-

rechen eine Umkehrreaktion Richtung Oberwasser zeigten [6]. Bei dieser Umkehrreaktion sollen die Aale in den Bereich der im Grund des Obergrabens eingelassenen tieferen Rinne der geöffneten Bottom Gallery gelangen (**Bild 2**). Die Bottom Gallery wird periodisch geschlossen und die in der Rinne befindlichen Aale werden durch einen von einer Pumpe erzeugten Wasserstrom ins Unterwasser abgeleitet oder wie im Falle dieser Untersuchung stattdessen in eine Fangkammer gespült (**Bild 3**).

Die drei in der Seitenwand des Obergrabens vor der linken Turbine installierten Aalrohre weisen eine lichte Weite von 200 mm auf und sind in drei verschiedenen Tiefenhorizonten (ca. 90 cm, 200 cm und 380 cm über der Sohle des Obergrabens, bedeutet eine Wassertiefe von etwa 3,60 m, 2,50 m, bzw. 0,7 m) angeordnet. Die durch die Öffnungen abgeführte Wassermenge gelangt in drei getrennte Fangkammern, so dass die Fische, die über die Aalrohre abwandern, separat erfasst werden können [7].



Bild 3: Aalfangkammer mit Zulauf aus der Bottom Gallery



© Staats

Bild 4: Bei der Abwanderung wieder gefangener, telemetriertes Blankaal

3 Monitoring der Blankaalabwanderung

Um die Wirksamkeit der neu errichteten Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen zu beurteilen, vereinbarten das Land NRW und RWE ein biologisches Monitoring, welches mit zwei unterschiedlichen Methoden umgesetzt wurde. Während der Aalabwanderschaft 2014 und 2015 wurde ein Fangmonitoring an den für Blankaale vorgesehenen Abstiegswegen (Aalrohre und Bottom Gallery) im Zeitraum zwischen August und Mitte Dezember durchgeführt. Dabei wurden in den jeweiligen Fangkammern neben den Aalen auch alle weiteren über diese Bypässe abwandernden Fischarten erfasst [7].

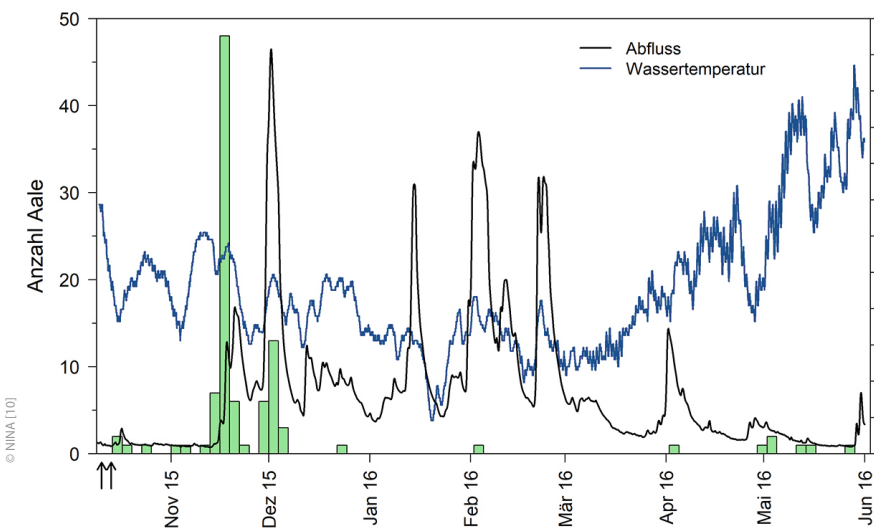
Nicht alle möglichen Abwanderwege an der Wasserkraftanlage konnten mit Fangeinrichtungen versehen werden. Absteigende Fische, die den Rechen passierten und über die Turbinen abwanderten, konnten nicht erfasst werden. Bei Hochwasser wird zunächst eine Wehrklappe abgesenkt und bei weiterem Anstieg des Abflusses wird Wasser über die gesamte Breite des Wehres abgeführt, die Fische zum Abstieg nutzen können. Für eine möglichst umfassende, quantitative Erfassung aller absteigenden Aale wurde daher neben dem Fangmonitoring die Radiotelemetrie als etablierte fischökologische Methode eingesetzt [8]. Die Ergebnisse des Monitorings wurden bereits in verschiedenen Publikationen umfassend veröffentlicht [7], [10]. Als Kernaussage kann man festhalten, dass die Blankaale effektiv vor einer Turbinenpassage geschützt werden und ihre Abwanderung fortsetzen können.

Bei der Planung und Durchführung von Untersuchungen an Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen sowie der anschließenden Auswahl und Festlegung der für ein Monitoring in Frage kommenden Methoden, sind eine ganze Reihe von Überlegungen anzustellen und verschiedene Aspekte zu beachten [9]. Bei der Pilotanlage Unkelmühle bietet sich im Nachgang zum abgeschlossenen Monitoring und der erfolgten Bewertung der Zielerreichung [7] die Möglichkeit, die Ergebnisse der Aalabwanderung, die mit Hilfe zweier Methoden ermittelt wurde, zu vergleichen und anschließend zu bewerten. Dazu werden die Ergebnisse des Fangmonitorings und die im gleichen Zeitraum erzielten Ergebnissen der Radiotelemetrie einander gegenübergestellt.

3.1 Ergebnisse des Fangmonitorings

In der Abstiegssaison 2014 wurden im Zeitraum vom 12. August bis 13. Dezember nur elf Aale gefangen (acht in der Bottom Gallery, davon zwei Aale mit einem Telemetrie-Sender sowie drei unmarkierte Aale im sohlennahen Aalrohr). Da der Fische-reiberechtigte seit Jahren einen regelmäßigen Aalbesatz in der Sieg durchführt, lassen sich die geringen Zahlen aus der Saison 2014 nur schwer erklären.

In der Abstiegssaison 2015 erfolgte das Fangmonitoring zwischen dem 25. August und dem 14. Dezember. Es wurden



© NINA [10]

Bild 5: Anzahl abwandernder, telemetriertes Blankaale in Abhängigkeit vom Abfluss 2015/2016 der Sieg, Pfeile markieren den Besatzzeitpunkt



Bild 6: Oberflächen-Bypass und Übergang zur Geschwemmselrinne

dabei insgesamt 106 Aale nachgewiesen, wobei der letzte und gleichzeitig größte Tagesfang mit 59 Individuen am 17. November 2015 ermittelt wurde. Die überwiegende Anzahl von 103 Aalen (davon 6 mit einem Sender versehen) hatten die Bottom Gallery zur Abwanderung genutzt, nur drei unmarkierte Individuen wanderten über die Aalrohre ab (zwei Tiere sohlennah, ein Tier mittig).

Mehr als 90 % der im Fangmonitoring erfassten Aale gehörten Größenklassen >60 cm an und wiesen die typische Färbung von Blankaalen auf. Nur zwei Aale waren kleiner als 40 cm und hatten eine Körpergröße, die ihnen u. U. eine Passage des Feinrechens erlaubt hätte. Aale stellten nur 1,8 % des Gesamtfangs von insgesamt 5 905 Fischen aus 28 Fischarten [7].

3.2 Ergebnisse der Radiotelemetrie

Im Herbst 2014 und 2015 wurden insgesamt 270 Blankaale mit einem Sender markiert (**Bild 4**), von denen 222 den Standort passiert hatten, als die Studie im Mai 2016 endete. 208 dieser besenderten Aale wanderten jeweils im Zeitraum zwischen Oktober und Dezember an der Anlage ab. Allerdings konnte aus technischen Gründen nur der Abstiegskorridor von 165 Individuen zweifelsfrei bestimmt werden (**Tabelle 1**). Mit 98 besenderten Aalen wanderten in beiden Jahren 59 % dieser Individuen bei erhöhten Abflüssen oberflächennah über die Wehrklappe (93) sowie über den Kanu-Fischpass (5) am linken, der Wasserkraftanlage gegenüberliegenden Ufer ab (**Bild 5**).

Insgesamt 67 Aale wanderten in den Obergraben ein und gelangten vor die Wasserkraftanlage. Von diesen suchten 8 Fische den Abstieg über die Bottom Gallery während in beiden Jahren kein besonderer Aal in den Aalrohren gefangen werden konnte. Diese Zahlen würden etwas höher ausfallen, wenn man aus der Analyse der telemetrischen Bewegungsdaten diejenigen Aale mitzählt, die zeitweise in die Aalrohre bzw. die Bottom Gallery geschwommen waren und vermutlich abgestiegen

wären, die aber aus den Fangbecken durch die Öffnungen wieder ins Oberwasser zurückgekehrt waren. In diesem Fall wären 12 Aale über die Bottom Gallery abgewandert sowie je ein besonderer Aal je Abstiegsaison über die Aalrohre.

Die überwiegende Zahl der 67 Aale, die in den Obergraben eingeschwommen waren, hatte sich für oberflächennahe angeordnete Abstiegswege entschieden. Dazu gehören 17 Aale, die über den Fischaufstieg am Krafthaus abgestiegen sind. Weitere 42 Aale hatten die oberflächennahen Bypässe am oberstromigen Ende des Rechens genutzt, um über die Geschwemmselrinne in das Unterwasser zu gelangen (**Bild 6**).

Bei erhöhten Abflüssen und Hochwasser wurde so viel Geschwemmsel am Rechen zurückgehalten, dass die Rechenreinigungsmaschinen zeitweise in einen Dauerbetrieb übergingen. In diesem Modus wurde das Schwenktor am Ende der Geschwemmselrinne regelmäßig geöffnet, um das Treibgut ins Unterwasser abzuführen. Diesen temporär zur Verfügung stehenden Abstiegskorridor nutzten viele der besenderten Aale zum Abstieg. Da zur Zeit des Herbstabstiegs an den oberflächennahen Bypässen und am Fischaufstieg kein Abstiegs-Fangmonitoring vorgesehen war, bleibt die Zahl der über diese Wege abgewanderten nicht markierten Aale unbekannt, so dass das Fangmonitoring auch am Krafthaus nur ein unvollständiges Bild liefern konnte.

Mit Hilfe entsprechender Empfangsstationen im weiteren Verlauf der Sieg konnte die Wanderung markierter Aale mithilfe der Radiotelemetrie sogar bis zur Mündung in den Rhein verfolgt werden. Diese Daten zeigen, dass in 2015 92-100 % und in 2014 96-100 % der Aale, die die Anlage passiert hatten, ihre Laichwanderung erfolgreich fortsetzen konnten [10].

3.3 Vergleich und Bewertung

Die Daten des Fangmonitorings ergaben eine vergleichsweise geringe Zahl abwandernder Blankaale aus dem Siegsystem. Der

Nachweis des Abstiegs der überwiegenden Anzahl dieser Aale über die Bottom Gallery (insgesamt 111 Individuen aus beiden Jahren) könnte zunächst auf eine eher sohlenorientierte Abwanderung hindeuten.

Bei der Konzeption von Abstiegskorridoren für Blankaale wird vielfach von der in der Literatur verbreiteten Auffassung eines vorwiegend sohlennahen Wanderhorizontes der Aale ausgegangen. Dementsprechend überwiegen sohlennah angeordnete, teilweise mit Leitwänden kombinierte Abstiegswege, z. B. in Form von rohrartigen Bypässen [5]. Darüber hinaus gibt es nur wenige Untersuchungen, bei denen sohlennahe und oberflächennahe Abstiegswege für Aale parallel eingebaut und getestet wurden [11].

An einer Wasserkraftanlage im Süd-Westen Frankreichs wiesen Gosset et al. in einer radiotelemetrischen Studie bei abwandernden Blankaalen eine 3- bis 4-fach höhere Nutzungsfrequenz des sohlennahen im Vergleich zum oberflächenorientierten Bypass nach [11]. Dies zeigt auch, dass Blankaale, selbst wenn sie vorwiegend sohlennah wandern, in der Lage sind, ihren Wanderhorizont zu verlassen und oberflächennahe Abstiegskorridore zu nutzen. Berger [12] beobachtete an einem Streichwehr an der Murg einen erheblichen Anteil oberflächennah absteigender Aale (41 % der telemetrierten Individuen).

Die an der Unkelmühle erhobenen radiotelemetrischen Daten belegen deutlich die Fähigkeit der Aale, oberflächennahe Abstiegswege zu finden und zu nutzen [13]. In beiden Jahren stiegen 56 % der markierten Aale über die bei Hochwasser geöffnete Wehrklappe ab, den weitaus am häufigsten genutzten Abstiegskorridor (**Tabelle 1**). Aber auch die in den Obergraben eingeschwommenen 67 Blankaale zeigten eine eindeutige Präferenz für oberflächennahe Korridore, zu denen der am Krafthaus befindliche Vertical-Slot-Fischpass ebenso wie die ursprünglich für die Smoltabwanderung konzipierten oberflächenorientierten Bypässe an der Geschwemmselrinne zählen (**Tabelle 1**). Hier wurden 88 % (bzw. 79 %, siehe 3.2) der in den Obergraben eingewanderten Aale registriert, während die restlichen 12 % (maximal 21 %, siehe 3.2) über Aalrohre und Bottom Gallery abwanderten.

Dieses Ergebnis muss im Hinblick auf die Funktionalität der eingebauten Fischschutz- und Abstiegseinrichtungen bewertet werden. Blankaale, die an den Rechen gelangen, können eine Umkehrreaktion Richtung Oberwasser einleiten und ggf. in die Bottom Gallery einschwimmen oder dem flach geneigten Rechen Richtung Wasseroberfläche folgen. Der geringe Stababstand verhinderte dabei nachweislich für die markierten Aale (>60 cm) eine Rechenpassage in Richtung Turbinen. Die überwiegende Mehrzahl der Aale folgte der zweiten Option und wanderte in die Geschwemmselrinne ein. Dass sich dort überhaupt ein Abstiegsweg öffnete, lag am erhöhten Treibgutfall bei Hochwasserwellen, die die Aale für ihre Abwanderung nutzten. Der regelmäßige Betrieb der Rechenreinigung und die Geschwemmselabfuhr über das entsprechend geöffnete Schwenktor ermöglichen den Abstieg ins Unterwasser.

Tabelle 1: Tatsächlich nachgewiesene Abstiegswege markierter, telemetriertes Blankaale a) am gesamten Standort und b) nur am Krafthaus (Quelle: [10])

	Anzahl Aale	Anteil	Anzahl Aale	Anteil
a) alle Abstiegswege	165	100 %		
b) nur Abstiegswege Krafthaus			67	100 %
Wehr	93	56 %		
Kanufischpass am Wehr	5	3%		
Oberflächenbypass	42	25 %	42	63 %
Vertical-Slot-Pass	17	10 %	17	25 %
Rechenpassage	0	0 %	0	0 %
Bottom Gallery	8	5 %	8	12 %
Aalrohre	0	0 %	0	0 %

4 Fazit

Das Fangmonitoring an der Wasserkraftanlage Unkelmühle war darauf ausgelegt, die Nutzung der speziell für die Aalabwanderung vorgesehenen sohlennahen Bottom Gallery als auch der Aalrohre nachzuweisen. Eine mögliche Abwanderung über oberflächennahe Wege, wie über die Fischtreppe und/oder über die Geschwemmselrinne, wurde bei der Konzeption des Monitorings aufgrund der Einschätzungen aus der Literatur und auch aus Kostengründen nicht in Erwägung gezogen. Diese bewusste Beschränkung erweist sich im Vergleich zu der per Radiotelemetrie erhobenen Datenlage im Nachhinein als Nachteil. Nur ein umfangreicheres Fangmonitoring an der Fischtreppe und an der Geschwemmselrinne hätte zu Nachweisen oberflächennah abwandernder Aale am Krafthaus geführt und die Zahl erfasster, unmarkierter Aale an der Wasserkraftanlage insgesamt erhöht. Die geringe Attraktivität der Bottom Gallery für die in den Obergraben eingewanderten Aale erklärt zumindest teilweise auch die vermeintlich niedrige Anzahl abwandernder Blankaale aus der Siegpopulation (insbesondere 2014).

Die radiotelemetrische Untersuchung erweist sich somit als zwingend notwendige wertvolle Ergänzung des Fangmonitorings und letztlich überlegene Technik mit folgenden Schlüssen:

- der Schutzeffekt des Feinrechen wurde nachgewiesen,
- die mit den Hochwasserwellen abwandernden Blankaale gelangten am Wehr über die oberflächennah abgesenkte Wehrklappe ins Unterwasser [10],
- eine deutliche Präferenz oberflächennaher Abstiegswege konnte auch am Turbineneinlauf des Kraftwerks nachgewiesen werden,
- zwischen 92 bzw. 96 % und 100 % der mit Telemetriesendern versehenen Aale setzten ihre Wanderung nach der Kraftwerkspassage erfolgreich fort.

Die Ergebnisse der Radiotelemetrie bieten eine valide Grundlage für die Beurteilung der Wirksamkeit eingebauter Fischschutz- und Fischabstiegseinrichtungen für den Aal. Darüber hinaus konnten wertvolle Erkenntnisse zur Biologie der Aalabwanderung in einem mittelgroßen Fließgewässer gesammelt werden [13].

Dank

Die Autoren danken den Kolleginnen und Kollegen der RWE AG für die vertrauensvolle Zusammenarbeit im Projekt Unkelmühle und des Norwegian Institute for Nature Research (NINA) für die engagierte Durchführung der telemetrischen Untersuchungen. Bei Dr. C. Schütz bedanken wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Autoren

Dr. Detlev Ingendahl

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56002 Mainz
ingendahl@bafg.de

Dr. Lisa Heermann

Prof. Jost Borchering

Institut für Zoologie, Allgemeine Ökologie
Universität zu Köln
Zülpicher Straße 47b
50674 Köln
lisa.heermann@uni-koeln.de
jost.borchering@uni-koeln.de

Dr. Sebastian Emde

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Heinsberger Straße 53
57399 Kirchhundem-Albaum
sebastian.emde@lanuv.nrw.de

Dr. Stefan Staas

Limnoplan
Bonner Ring 22
50374 Erftstadt
stefan.staas@limnoplan.com

Detlev Ingendahl, Lisa Heermann, Sebastian Emde, Stefan Staas, Maxim Teichert and Jost Borchering

Downstream migration of European eel at the hydropower plant Unkelmühle, two methods, same result?

The hydropower plant Unkelmühle (River Sieg) has been equipped with a vertically oriented 10 mm narrow-spaced low-sloping rack. Bypasses were installed for salmon smolts (surface-orientated) and for eel (bottom-orientated) similar to several hydropower installations in Europe. The efficiency of these fish protection installations was investigated by monitoring the bottom bypasses with fish traps and simultaneously by using radiotelemetry with silver eel released upstream of the power plant. Between 96-100% and 92-100% of the eels successfully passed the powerplant and continued downstream migration in 2014 and 2015, respectively, indicating that eel can be efficiently protected and guided downstream at relatively small hydropower installations. Furthermore, none of the tagged eels passed the rack and the turbines. More than 90 % of the tagged eels used surface corridors available during flood directly at the weir or in the vicinity of the powerhouse (surface bypasses or vertical slot fish pass). Few silver eels (untagged and radio-tagged eels) used the bottom-oriented bypass near the rack. Only results of the radiotelemetry study finally show the low overall importance of these bypasses for eel.

Dr. Maxim Teichert

Institut für Fischerei der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Weilheimer Straße 8
82319 Starnberg
maxim.teichert@lfl.bayern.de

Literatur

- [1] Tesch, F.: Der Aal. 3. A. Berlin: Parey Verlag, 1999.
- [2] WGEEL (Hrsg.): Report of the Joint EIFAAC/ICES Working Group of Eel, 2013 (www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Expert%20Group%20Report/acom/2013/WGEEL/wgeel_2013.pdf, Abruf 27.10.2020).
- [3] Verordnung 1 100/2007/EG des Rates der Europäischen Union vom 18. September 2007 mit Maßnahmen zur Wiederauffüllung des Bestands des Europäischen Aals.
- [4] Land Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Der 2. Bewirtschaftungsplan (2016-2021) (www.flussgebiete.nrw.de/der-zweite-bewirtschaftungsplan-209, Abruf 27.10.2020).
- [5] Ebel, G.: Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen - Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. In: Mitteilungen aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie. 2. A. Band 4, Halle/Saale: Eigenverlag, 2016.
- [6] Adam, B.; Schwevers, U.; Dumont, U.: Rechen- und Bypassanordnungen zum Schutz abwandernder Aale. In: WasserWirtschaft 92 (2002), S. 43-46.
- [7] Ingendahl, D.; Weimer, P.; Wilke, T. et al.: Abschlussbericht zum Projekt Fischschutz und Fischabstieg an der Pilotanlage Unkelmühle, (www.flussgebiete.nrw.de/abschlussbericht-zum-projekt-fischschutz-und-fischabstieg-der-pilotanlage-unkelmuehle-8039, (2019); Abruf 14.10.2020).
- [8] Borchering, J.; Heermann, L.; Teichert, M.: Empfehlungen zum Schutz abwandernder Fische an Wasserkraftanlagen. In: Wasser und Abfall 22 (2020), Heft 9, S. 36-43.
- [9] Schmalz, W.; Wagner, F.; Sonny, D.: Arbeitshilfe zur standörtlichen Evaluierung von des Fischschutzes und Fischabstiegs: (forum-fischschutz.de/sites/default/files/Arbeitshilfe_standoertliche_Evaluierung_Fischschutz_Fischabstieg.pdf, (2015); Abruf 14.10.2020).
- [10] Økland, F.; Teichert, M. A. K., Havn, T. B. et al.: Downstream migration of European eel at three German hydropower stations. In: NINA Report (2017), Nr. 1 355.
- [11] Gosset, C.; Travade, F.; Durif, C. et al.: Test of two types of bypass for downstream migration of eels at a small hydroelectric power plant. In: River Res. Applic. 21 (2005), S. 1 095-1 105.
- [12] Berger, C.: Verluste und Auslegung von Schrägreden anhand etho-hydraulischer Studien. In WasserWirtschaft 110 (2020), Heft 12, S. 10-15.
- [13] Økland, F.; Havn, T. B.; Thorstad, E. B. et al.: Mortality of downstream migrating European eel at power stations can be low when turbine mortality is eliminated by protection measures and safe bypass routes are available. In: Int. Rev. Hydrobiol. 104 (2019), S. 68-79.



Fischschutzeinrichtungen

Borchering, J.; Teichert, M.; Heermann, L.: Empfehlungen zum Schutz abwandernder Fische an Wasserkraftanlagen. In: Wasser und Abfall, Ausgabe 9/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. www.springerprofessional.de/link/18379166

Ingendahl, D.; Weimer, P.; Wilke, T.: Schutz und Abstieg von Lachssmolts an der Wasserkraftanlage Unkelmühle. In: Wasser und Abfall, Ausgabe 9/2020. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2020. www.springerprofessional.de/link/18379170