

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3708 97 200  
UBA-FB 001604

**Effiziente Maßnahmen und Kriterien  
zur Verbesserung des ökologischen Zustands an  
Wasserkraftanlagen**

Wasserkraft als erneuerbare Energie

**Schlussbericht - Teilprojekt 1  
Methodik zur Untersuchung der  
Schädigung von Fischen an  
Wasserkraftstandorten**

Kurzfassung

von

**Dr. Ulrich Schwevers**  
Institut für angewandte Ökologie, Kirtorf-Wahlen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

**UMWELTBUNDESAMT**

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4286.html> verfügbar. Hier finden Sie eine Langfassung und weitere Berichte.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Ingenieurbüro Floecksmühle Bachstraße 62-64 52066 Aachen	Institut für angewandte Ökologie Neustädter Weg 25 36320 Kirtorf-Wahlen
Abschlussdatum:	Oktober 2011	
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: <a href="mailto:info@umweltbundesamt.de">info@umweltbundesamt.de</a> Internet: <a href="http://www.umweltbundesamt.de">http://www.umweltbundesamt.de</a> <a href="http://fuer-mensch-und-umwelt.de/">http://fuer-mensch-und-umwelt.de/</a>	
Redaktion:	Fachgebiet II 2.4 Binnengewässer Stephan Naumann	

Dessau-Roßlau, Mai 2012

## Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung .....	1
2 Methoden.....	2
2.1 Ethohydraulische Laboruntersuchungen.....	2
2.2 Beobachtungsmethoden im Freiland.....	3
2.3 Fangmethoden .....	3
2.4 Untersuchung von Schädigung und Mortalität.....	4
2.5 Markierungsmethoden.....	5
3 Untersuchungsdesign.....	7
3.1 Klärung verhaltensbiologischer Grundlagen .....	7
3.2 Erhebung biologischer Daten.....	7
3.3 Analyse von Wanderpfaden .....	9
3.4 Quantifizierung von Mortalität und Schädigungen.....	10
3.5 Effizienz von Fischabstiegsanlagen .....	13
3.6 Schutzwirkung von Fischschutzanlagen .....	14
3.7 Zuverlässigkeit von Frühwarnsystemen.....	15
3.8 Effizienz eines fischschonenden Betriebsmanagements .....	15
4 Rechtliche Aspekte.....	16
5 Literatur .....	17

## Einleitung

Die Studie „Wasserkraft als erneuerbare Energie“ gliedert sich in drei Teilprojekte

- Teilprojekt 1:  
Methodik zur Untersuchung der Schädigung von Fischen an Wasserkraftstandorten.
- Teilprojekt 2:  
Aktualisierung des Wissensstandes in Bezug auf wasserrechtliche Regelungen und umgesetzte Maßnahmen an Wasserkraftanlagen.
- Teilprojekt 3:  
Abschätzung möglicher Klimafolgen für die Wasserkraftnutzung in Deutschland und Aufstellung möglicher Anpassungsstrategien.

In der vorliegenden Kurzfassung zu Teilprojekt 1 werden die Methoden dargestellt und erläutert, die zur Untersuchung der Fischabwanderung in Labor und Freiland zur Verfügung stehen. Es wird das Untersuchungsdesign beschrieben, wie diese Methoden zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen anzuwenden und miteinander zu kombinieren sind. Ziel hierbei ist vor allem eine Quantifizierung der verschiedenen Aspekte der Fischwanderung und der wasserkraftbedingten Mortalität. Darüber hinaus wird auf die rechtlichen Rahmenbedingungen bezüglich Tierchutz und Fischerei eingegangen.

## 2

## Methoden

## 2.1

## Ethohydraulische Laboruntersuchungen

Grundlage für die Entwicklung funktionsfähiger Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen stellt das Wissen über das Verhalten von Fischen bei der Abwanderung dar. Da allerdings die Möglichkeiten einer direkten Beobachtung von Fischen stark eingeschränkt sind, ist das vorhandene Wissen spärlich.

Einen Ausweg aus diesem Dilemma bietet die Ethohydraulik, die eine Erweiterung des klassischen wasserbaulichen Versuchswesens um Aspekte der Lebewesenbeobachtung darstellt (ADAM & LEHMANN 2011). Hierzu werden in einem großskaligen Modellgerinne mit Hilfe von Einbauten und einer entsprechenden Steuerung des Versuchsstandes exakt diejenigen hydraulischen Bedingungen nachgebildet, die im fraglichen Bereich der realen Anlage herrschen. Ist auf dieser Grundlage die situative Ähnlichkeit des ethohydraulischen Modells unter Berücksichtigung der einschlägigen Modellgesetze bewerkstelligt, folgen ethohydraulische Tests, bei denen Fische mit der im Versuchsstand nachgebildeten Situation konfrontiert werden und ihre Verhaltensreaktion darauf analysiert wird. Anschließend werden die unter Laborbedingungen gewonnenen Erkenntnisse in für die ingenieurtechnische Praxis anwendbare Regeln, Grenzwerte und Gestaltungskriterien übersetzt. Eine detaillierte Darstellung der Ethohydraulik als biologisch-ingenieurwissenschaftlicher Transdisziplin geben ADAM & LEHMANN (2011).

## 2.2

### Beobachtungsmethoden im Freiland

Von oberhalb der Wasseroberfläche können aufgrund von Trübung, Lichtbrechung und Reflexionen allenfalls Einzelbeobachtungen erfolgen, denen ein eher anekdotischer Charakter zukommt. Bei ausreichender Sichttiefe ist es grundsätzlich möglich, durch Einsatz von Tauchern Fische unter Wasser direkt zu beobachten oder ihr Verhalten mit Hilfe von Unterwasser-Videokameras zu filmen. Verhaltensbeobachtungen durch ein Sichtfenster hingegen gestalten sich in natürlichen Fließgewässern äußerst aufwändig. Insgesamt sind Sichtbeobachtungen von Fischen unter Freilandbedingungen somit enge Grenzen gesetzt. Deutlich bessere Möglichkeiten bieten demgegenüber Verhaltensbeobachtungen unter Laborbedingungen (Kap. 2.1) sowie moderne Echolottechniken.

## 2.3

### Fangmethoden

Die Basis von Untersuchungen zur Fischabwanderung und zum Fischschutz bildet in der Regel der Fang von Fischen. Hierbei stellt sich einerseits stets die Frage nach der Effektivität der Fangmethode, andererseits sind in der Regel nur solche Verfahren zu empfehlen, die nicht ihrerseits Fischschäden verursachen.

Der Einsatz berufsfischereilicher Methoden hat häufig den Vorteil, dass geeignete Fanggeräte und in ihrem Einsatz erfahrenes Personal zur Verfügung stehen. Zudem lassen sich bestimmte Fragestellungen allein durch die Auswertung der Fänge von Berufsfischern bearbeiten, so dass der Beprobungsaufwand gering gehalten werden kann. Neben traditionellen Hamen kommt hierbei vor allem der sogenannte Schokker zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um ein Schiff, das uferseits verankert ist. Das eigentliche Fanggerät ist ein kegelförmiges Netz, das seitlich neben dem Schiffsrumpf zwischen einem Ober- und einem Unterbaum montiert wird. Auf diese Weise werden mit der Strömung abdriftende Fische, insbesondere abwandernde Blankaale gefangen. Dem gleichen Zweck dienen stationäre Fanganlagen,

die traditionell an vielen Wehr- und insbesondere Mühlenstandorten betrieben wurden, heute aber nur noch in wenigen Einzelfällen erhalten sind.

Unabhängig von der Berufsfischerei bilden hamenartige Netze eine weit verbreitete Methode zur Beprobung der Fischwanderung. Hierbei steigt der methodische Aufwand mit den Dimensionen, dem Abfluss und der Fließgeschwindigkeit des zu beprobenden Querschnitts. Die höchsten Anforderungen stellen sich im Falle des Nachweises von Fischen nach der Passage von Wasserkraftwerken, so dass dort gelegentlich Teilhamen eingesetzt werden, die nur einen Teil des durchflossenen Querschnitts abdecken. Geringere Anforderungen stellen sich demgegenüber bei der Beprobung von Bypässen, weil deren Abfluss in der Regel gering ist.

Bei Tiroler Wehren handelt es sich um Rechen, die in Fließrichtung geneigt installiert werden. Das Funktionsprinzip besteht darin, dass das Wasser die Rechenfläche durchströmt, während Festkörper zurückgehalten werden. Ursprünglich als Geschiebesperre im alpinen Raum entwickelt, können solche Tiroler Wehre auch zum Nachweis von im Wasser enthaltenen Fischen eingesetzt werden. Diese rutschen, ebenso wie Geschwemmsel, über die Schräge der Rechenfläche bis in eine quer am stromabwärtigen Ende des Tiroler Wehrs installierte Spülrinne, der die Fische zu Kontrollzwecken entnommen werden.

Die Kontrolle des Rechengutes von Wasserkraftwerken und Wasserentnahmebauwerken dient zunächst dazu, die hier auftretende Fischmortalität zu beziffern. Sie kann darüber hinaus aber auch wichtige Aufschlüsse über die Zusammensetzung und Menge der mit dem Wasserstrom transportierten Organismen sowie deren Abwanderzeiten erbringen.

## 2.4

### Untersuchung von Schädigung und Mortalität

Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen dienen dazu, die Schädigung abwandernder Fische an wasserbaulichen Anlagen zu vermindern. Die Schädigung und Mortalität von Fischen an wasserbaulichen Anlagen stehen entsprechend im Zentrum qualitativer und quantitativer Monitoringuntersuchungen. Neben äußerlich erkennbaren Schäden können auch innere Verletzungen auftreten, die äußerlich nicht diagnosti-

zierbar sind. Sie werden deshalb leicht übersehen, wenn die betroffenen Fische nicht sofort daran sterben. Aus diesem Grunde empfehlen sich weitergehende Untersuchungen. Dies kann beispielsweise durch Sektion geschehen, um innere Blutungen, Knochenbrüche etc. zu identifizieren. Zur Diagnose innerer Verletzungen können Fische auch röntgenologisch untersucht werden.

Darüber hinaus empfiehlt es sich, alle lebenden Fische zu hältern und nach 24, 48 oder 96 Stunden die so genannte verzögerte Mortalität zu ermitteln, indem die Anzahl der zwischenzeitlich verendeten Exemplare erfasst wird.

## 2.5

### Markierungsmethoden

Fischmarkierungen sind in mehr oder weniger großem Umfang mit Leiden, Schmerzen oder gar Schädigungen verbunden. Eine nüchterne Betrachtung der verschiedenen Methoden zeigt, dass sich in Hinblick auf die Schwere des Eingriffes, die Heilungschancen und Mortalitätsrisiken sowie nicht zuletzt bezüglich der zu erwartenden Beeinträchtigungen des Verhaltens eine Rangfolge der Verträglichkeit aufstellen lässt (ADAM & LINDEMANN 2009). Hierbei erweisen sich die schonendsten Methoden häufig auch als die teuersten infolge der anfallenden Material- und Personalkosten.

Grundsätzlich werden externe von internen Markierungsmethoden unterschieden (THORSTEINSSON 2002). Externe Markierungen entstehen durch Veränderungen des äußeren Erscheinungsbildes oder äußerer Merkmale des Fisches. Hierzu zählen Farbmarkierungen, Vernarbungen infolge von Heiß- oder Kaltbränden, Marken die am Fischkörper angebracht werden sowie Teil- oder Vollamputation von Flossen, vor allem der Fettflosse von Salmoniden.

In den USA wurden speziell zur Untersuchung der Überlebensrate von Fischen an Wasserkraftstandorten so genannte "HI-Z Turb'n-Tags" entwickelt (HEISEY et al. 1993).



Interne Markierungen sind in der Regel von außen nicht sichtbar. Hierzu werden u. a. Transponder oder telemetrische Sender je nach Größe entweder subkutan injiziert, oder in Magen bzw. Bauchhöhle eingeführt.

Bei einem so genannten „Passive Integrated Transponder“ (kurz: PIT-Tag), handelt es sich um ein glasummanteltes Implantat, mit dem u. a. auch wildlebende Fische individuell markiert werden können (ADAM & SCHWEVERS 1994). Da die Erkennung des Transponders durch elektromagnetische Induktion erfolgt, benötigt das Implantat keine eigene Energiequelle und ist deshalb ein Tierleben lang funktionsfähig. Gelangt ein Transponder in den Schwingkreis einer Antenne, sendet er die gespeicherte Kennung aus. Transponder sind in zwei Varianten, der sogenannten FDX- und der HDX-Technologie verfügbar, die sich nicht nur im Funktionsprinzip, sondern auch bezüglich der Größe und Reichweite unterscheiden. Vom niederländischen Hersteller NEDAP wurden sehr große, aktive Transponder entwickelt, um Fischwanderungen in großen Flüssen zu untersuchen. Hierbei enthält der Transponder zusätzlich eine Batterie und das ausgesandte Signal wird elektrisch verstärkt.

Mit der Telemetrie steht eine Methode zur Verfügung, um mit Sendern markierte Fische in großen Gewässern und über weite Distanzen zu verfolgen, um Erkenntnisse über die räumlich und zeitlich differenzierte Nutzung aquatischer Habitate sowie Einblicke in das Wander- und Orientierungsverhalten zu gewinnen. Telemetrische Systeme bestehen grundsätzlich aus einem Sender, der ein Signal aussendet und einem Empfänger in Form einer Antenne bzw. eines Hydrophons, der das Signal aufnimmt und entschlüsselt. Telemetrische Systeme werden nach dem Signaltyp in Radiotelemetrie und akustische Telemetrie unterschieden.

## 3

## Untersuchungsdesign

Es besteht generell ein großer Untersuchungsbedarf bezüglich biologischer Aspekte der Fischabwanderung, der Mortalität von Fischen an wasserbaulichen Anlagen sowie der Funktion von Fischschutz- und -abstiegsanlagen. Nachfolgend werden unterschiedliche Ansätze dargestellt, wie diese Fragen unter Anwendung der in Kap. 2 beschriebenen Methoden untersucht werden können.

## 3.1

## Klärung verhaltensbiologischer Grundlagen

Zahlreiche Versuche, den Schutz von Fischen zu gewährleisten und ihnen eine gefahrlose Abwanderung zu ermöglichen, sind in der Vergangenheit gescheitert. Die Ursache hierfür war in den meisten Fällen, dass die eingesetzten Techniken nicht auf das Verhalten abwandernder Fische abgestimmt waren und deshalb nicht die erhofften Verhaltensreaktionen auslösten. Insofern sind Untersuchungen der verhaltensbiologischen Grundlagen des Fischschutzes und des Fischabstiegs dringend notwendig. Aufgrund der eingeschränkten Beobachtungsmöglichkeiten im Freiland kommen hierfür vor allem ethohydraulische Laboruntersuchungen in Frage.

Voraussetzung für die Verwertbarkeit solcher Befunde ist allerdings die Einhaltung der ethohydraulischen Methodenstandards und insbesondere die Wahrung der situativen Ähnlichkeit zwischen Labor- und Freilandsituation (ADAM & LEHMANN 2011).

## 3.2

## Erhebung biologischer Daten

Generell stehen viele Methoden zur Verfügung, um biologische Informationen über das Abwandergeschehen zu gewinnen. Mit vergleichsweise geringem Aufwand ist dies durch Auswertung der Fänge von Berufsfischern möglich. Darüber hinaus können hierzu jedoch auch alle anderen, in Kap. 2.3 aufgeführten Fangmethoden

genutzt werden. Solange die Repräsentativität der Probe gewährleistet ist reicht es hierbei aus, nur einen Teilabfluss des Gewässers zu beproben.

Vergleichbare Daten können auch durch die Registrierung von Fischen gewonnen werden, die mit Transpondern oder Telemetriesendern markiert wurden. Grundlegende Erkenntnisse über die Mechanismen der Abwanderung ermöglicht eine Verschneidung der Daten zur Abwanderung mit chemisch-physikalischen Messwerten.

Werden abwandernde Fische im Rahmen von Monitoringuntersuchungen mit einer der in Kap. 2.3 aufgeführten Methoden gefangen, können sie bezüglich unterschiedlichster biologischer Merkmale untersucht werden, beispielsweise Längen-Gewichts-Relation, Geschlecht, Längenfrequenz, Altersklassen sowie der Abwanderzeitpunkt in Abhängigkeit vom Alter.

Die Basis für quantitative Auswertungen zur Mortalität und Schädigung, zur Effizienz von Fischschutz- und -abstiegsanlagen etc. bildet die Kenntnis der Gesamtanzahl der im jeweiligen Gewässer abwandernden Fische. Nur so kann von Fangquoten, Relationen etc. auf absolute Zahlen hochgerechnet werden. Allerdings lässt sich lediglich in sehr kleinen Gewässern die Gesamtabwanderung lückenlos und vollständig erfassen. In der Regel kann jedoch nur ein mehr oder weniger großer Teilabfluss des Gewässers kontrolliert werden. Die Quantifizierung der Gesamtabwanderung erfolgt dann anhand der Markierung von Fischen sowie der Wiederfänge markierter und unmarkierter Exemplare gemäß der Formel:

$$n_{\text{gesamt}} = \frac{\text{Fang}_{\text{gesamt}} \cdot n_{\text{markiert}}}{\text{Fang}_{\text{markiert}}}$$

Zur Markierung können sämtliche in Kap. 2.5 dargestellten Methoden genutzt werden, mit Ausnahme der HI-Z Turb'n Tags. Es ist jedoch wichtig, dass alle markierten Exemplare beim Wiederfang zuverlässig erkannt werden. Auch mit Transpondern oder Telemetriesendern markierte Fische sind beim Wiederfang nicht nur sicher, sondern auch individuell erkennbar. Für den Wiederfang steht das gesamte Spektrum der in Kap. 2.3 aufgeführten Methoden zur Verfügung.

## 3.3

## Analyse von Wanderpfaden

Die verschiedenen Wanderpfade an einem Querbauwerk sind mit einem unterschiedlichen Risiko für abwandernde Fische verbunden. Das Ausmaß der Mortalität an einem Standort ergibt sich somit einerseits aus der Mortalität bei der Passage der Turbinen und anderer Abwanderpfade sowie andererseits aus der Verteilung der abwandernden Fische auf diese unterschiedlichen Pfade. Deshalb ist es für die Gesamtabstschätzung der Mortalität ebenso wie für die Bewertung der Effizienz von Fischschutz- und -abstiegsanlagen an einem Standort notwendig zu wissen, zu welchen Anteilen sich die abwandernden Fische auf die einzelnen Pfade verteilen.

Die Daten hierzu lassen sich grundsätzlich ermitteln, indem die Abwanderung über sämtliche Wanderpfade durch Fang der in dem jeweiligen Wasservolumen enthaltenen Fische quantifiziert wird. Allerdings ist es mit einem enormen Aufwand verbunden, sämtliche Abwanderpfade zeitgleich zu beproben. Bei höheren Abflüssen bzw. in größeren Gewässern überschreitet eine derartiges Vorgehen schnell die Grenzen des technisch Machbaren oder ist aus Sicherheitsgründen nicht durchführbar. Dies macht den Einsatz von Methoden wie Telemetrie und Transponder-technik erforderlich, bei denen die Passage von Wanderpfaden dokumentiert wird, ohne dass der jeweilige Fisch hierzu gefangen werden muss. Allerdings muss jeweils eine repräsentative Stichprobe von Fischen markiert und deren Abwanderweg über verschiedene Pfade dokumentiert werden können.

Grundsätzlich kann die Aufteilung abwandernder Fische auf unterschiedliche Wanderpfade auch mit Transpondern untersucht werden. Allerdings ist deren Reichweite begrenzt, so dass nur kleinere Querschnitte von Bypässen, Leerschüssen, Fischaufstiegsanlagen etc. zu kontrollieren sind. Um auch die Abwanderung über den Wehrüberfall größerer Wehre, die Passage von Schleusenkanälen etc. zu erfassen, bedarf es hingegen einer Ergänzung durch telemetrische Untersuchungen. Ob nur die Telemetrie oder gar beide Methoden in welcher Kombination eingesetzt werden sollten, ergibt sich aus der Fragestellung und den jeweiligen Standortverhältnissen.

Ein vereinfachter Versuchsaufbau ist möglich, wenn mit markierten Fischen gearbeitet wird und sichergestellt ist, dass 100 % der Exemplare innerhalb des Unter-

suchungszeitraums abwandern. In diesem Falle muss einer der potentiellen Abwanderkorridore nicht kontrolliert werden. Dies ist sinnvoller Weise derjenige, bei dem die Beprobung mit dem höchsten Aufwand verbunden wäre.

### 3.4

#### Quantifizierung von Mortalität und Schädigungen

Zur exakten Quantifizierung der Mortalität bzw. Schädigung über einen bestimmten Pfad abwandernder Fische ist es in der Regel unerlässlich eine Methode einzusetzen, mit der tatsächlich sämtliche Exemplare, die diesen Pfad passiert haben - und nur diese - zuverlässig erfasst werden. Je größer der zu beprobende Abfluss, umso schwieriger ist es diese Anforderung vollumfänglich zu erfüllen. Dies gilt insbesondere für die Turbinenpassage von Wasserkraftwerken an größeren Flüssen. Die einzige Methode, die hier mit hinreichender Zuverlässigkeit eingesetzt werden kann, sind HI-Z Turb'n Tags. Werden hingegen aus methodischen Gründen bzw. unter Sicherheitsaspekten Teilhamen, Schokker oder andere Fanggeräte eingesetzt, die die o. a. Anforderungen nicht erfüllen, hat dies entsprechende Einschränkungen der Datenqualität zur Folge, die bei darauf aufbauenden Auswertungen entsprechend zu berücksichtigen sind.

Die Mortalität (M) einer Probe ist die Summe der in ihr enthaltenen toten und letal verletzten Fische. Für die exakte Quantifizierung empfiehlt es sich, alle lebenden Fische zu halten und die verzögerte Mortalität zu bestimmen. Aus der Summe der sofort und der verzögert verendeten Fische ergibt sich dann die Gesamtmortalität:

$$M_{\text{Probe-gesamt}} = M_{\text{Probe-sofort}} + M_{\text{Probe-verzögert}}$$

Nicht alle Fische, die eine Turbinenpassage oder den Kontakt mit einem Wasserentnahmebauwerk überlebt haben, sind unverletzt. Vielmehr treten innerlich verletzte Fische erfahrungsgemäß in ähnlichem Umfang auf, wie getötete. Auch wenn diese Verletzungen nicht zwingend zum Tode führen, ist der betroffene Fisch beeinträchtigt. Deshalb dürfen subletale Verletzungen nicht außer Acht gelassen

werden, sondern neben der Mortalität (M) auch die Schädigung (S) von Fischen ermittelt werden:

$$S_{\text{Probe-gesamt}} = M_{\text{Probe-gesamt}} + S_{\text{Probe-subletal}}$$

Der Aufwand für den Fang abwandernder Fische ist so hoch, dass solche Untersuchungen in aller Regel nur episodisch durchgeführt werden können. Entsprechend deckt die genommene Probe nur einen mehr oder weniger geringen Teil der Abwandersaison ab und die absolute Anzahl getöteter bzw. verletzter Fische, die im Rahmen einer Untersuchung registriert wurden, ist wenig aussagekräftig. Um einen Eindruck von dem anlagenspezifischen Schädigungsrisiko zu erhalten werden deshalb anhand der Anteile getöteter, verletzter und unverletzter Fische in der Probe die Mortalitätsrate (m) bzw. die Schädigungsrate (s) ermittelt:

$$m_{\text{Probe}} = \frac{M_{\text{Probe}}}{\text{Fang}_{\text{gesamt}}}$$

bzw.

$$S_{\text{Probe}} = \frac{S_{\text{Probe}}}{\text{Fang}_{\text{gesamt}}}$$

Auch die Betriebsweise der beprobten wasserbaulichen Anlage kann die Mortalitäts- und Schädigungsrate in erheblichem Umfang beeinflussen. So ist die Schädigungsrate von Fischen bei der Passage von Kaplannturbinen umso höher, je geringer der Durchfluss und damit der Öffnungswinkel der Laufradschaufeln ist.

Aufgrund des erheblichen Aufwandes und der hohen technischen Anforderungen an die Probennahme sind permanente Untersuchungen des Fischabstiegs über gefährliche wasserbauliche Anlagen kaum möglich. Es besteht somit keine Möglichkeit, die absolute Mortalität bzw. Schädigung abwandernder Fische direkt zu erfassen. Vielmehr kann immer nur von Einzelproben auf die Gesamtheit hochgerechnet werden. Hierzu muss im Falle von Wasserkraftwerken zunächst die Mortalitäts- bzw. Schädigungsrate ( $m_{\text{WKW}}$ ,  $S_{\text{WKW}}$ ) bei der Passage der Anlage ermittelt werden.

Die Anzahl der diesen Abwanderpfad nutzenden Fische ( $n_{WKW}$ ) lässt sich anhand der Gesamtabwanderung ( $n_{gesamt}$ ) und dem Anteil der über das Wasserkraftwerk abwandernden Fische ( $q_{WKW}$ ) ermitteln:

$$n_{WKW} = n_{gesamt} \cdot q_{WKW}$$

Für die Gesamtmortalität ( $M_{WKW}$ ) des Wasserkraftwerks ergibt sich somit:

$$M_{WKW} = n_{gesamt} \cdot q_{WKW} \cdot m_{WKW}$$

und für die Gesamtschädigung ( $S_{WKW}$ ):

$$S_{WKW} = n_{gesamt} \cdot q_{WKW} \cdot S_{WKW}$$

An einem Wasserkraftstandort stehen grundsätzlich mehrere Abwanderpfade zur Verfügung. Der Pfad mit der höchsten Mortalität ist in der Regel die Turbinenpassage. Daneben existieren jedoch andere Pfade wie der Wehrüberfall, der Schleusenkanal, Fischaufstiegsanlagen sowie ggf. speziell zum Zweck des Fischabstiegs installierte Bypässe, bei deren Passage meist niedrigere Mortalitätsraten zu erwarten sind. Entsprechend ist die standortbezogene Gesamtmortalitätsrate ( $m_{Standort}$ ) geringer als diejenige bei der Passage der Turbinen ( $m_{Turbine}$ ).

Um die standortbezogene Mortalitätsrate zu quantifizieren, muss für jeden potentiellen Abwanderpfad nicht nur die Mortalitätsrate, sondern auch der Anteil der Fische bekannt sein, die den jeweiligen Pfad nutzen. Die standortbezogene Mortalitäts- ( $m_{Standort}$ ) bzw. Schädigungsrate ( $s_{Standort}$ ) ergibt sich dann gemäß der Formel:

$$m_{Standort} = m_{Pfad-1} \cdot q_{Pfad-1} + m_{Pfad-2} \cdot q_{Pfad-2} + \dots + m_{Pfad-i} \cdot q_{Pfad-i}$$

bzw.

$$s_{Standort} = s_{Pfad-1} \cdot q_{Pfad-1} + s_{Pfad-2} \cdot q_{Pfad-2} + \dots + s_{Pfad-i} \cdot q_{Pfad-i}$$

Wurde die Gesamtzahl der abwandernden Fische gemäß Kap. 3.2 ermittelt, lässt sich aus der standortbezogenen Mortalitäts- bzw. Schädigungsrate auch deren absolute Höhe berechnen:

$$M_{\text{Standort}} = m_{\text{Standort}} \cdot n_{\text{Standort}}$$

bzw.

$$S_{\text{Standort}} = s_{\text{Standort}} \cdot n_{\text{Standort}}$$

Eine entscheidende Frage für die Populationsentwicklung diadromer Arten ist letztlich, wie groß die Chance ihrer Abwanderstadien ist, unbeschadet von den Aufwuchsbiotopen bis ins Meer abzuwandern. Eine Quantifizierung ist grundsätzlich möglich, indem Fische über den gesamten Abwanderweg verfolgt werden. Während FDX- und HDX-Transponder hierfür aufgrund ihrer zu geringen Reichweite ausscheiden, stellt das NEDAP-Trial-System eine geeignete Methode dar.

Lässt sich die Mortalität im Verlauf des gesamten Abwanderweges aufgrund methodischer oder finanzieller Beschränkungen nicht auf der Basis der Verfolgung individueller Wanderwege untersuchen, kann sie durch Summierung der Mortalität an den Einzelstandorten ermittelt werden.

### 3.5

#### Effizienz von Fischabstiegsanlagen

Die Effizienz von Fischabstiegsanlagen bemisst sich daran, welcher Anteil der abwandernden Fische den alternativen und sicheren Wanderpfad nutzt, anstelle den gefährlicheren Weg über die Turbinen des Wasserkraftwerks zu nehmen. Die Effizienz (E) wird als Prozentsatz angegeben und errechnet sich:

$$E_{\text{Fischabstiegsanlage}} = \frac{n_{\text{Fischabstiegsanlage}}}{n_{\text{Fischabstiegsanlage}} + n_{\text{Turbine}}} \cdot 100$$

Wird darüber hinaus die Abwanderung über weitere am Standort vorhandenen Pfade in die Betrachtung einbezogen, kann auch der Prozentsatz der insgesamt am Standort abwandernden Exemplare ermittelt werden, die die Fischabstiegsanlage nutzen. Durch entsprechende Beprobung vor und nach dem Einbau einer solchen



Anlage kann der Effekt auf den Anteil der Turbinenpassagen an der Gesamtabwanderung quantifiziert werden. Durch Verrechnung mit der bzw. den Mortalitätsraten ist es schließlich möglich, den Einfluss einer Fischabstiegsanlage auf die standortbezogene Mortalität zu ermitteln.

### 3.6

#### Schutzwirkung von Fischschutzanlagen

Fischschutzanlagen sollen das Eindringen von Fischen in sie gefährdende Anlagenbereiche verhindern. Entsprechend bemisst sich ihre Effizienz daran, in welchem Umfang sie die Passage von Fischen tatsächlich unterbinden. Hierzu wird das Wasserkraftwerk bzw. das Wasserentnahmebauwerk intermittierend, vorzugsweise im 24-stündigen Wechsel mit und ohne Fischschutzanlage betrieben. Gleichzeitig wird art- und größenspezifisch ermittelt, wie viele Fische die Schutzanlage passieren (RAUCK, 1980). Die Effizienz ( $E_{\text{Schutz}}$ ) der Fischschutzanlage in Prozent [%] ergibt sich dann aus einem Vergleich der Fischpassagen mit und ohne Schutzeinrichtung nach der Formel:

$$E_{\text{Schutz}} = 1 - \frac{n_{\text{mit}}}{n_{\text{ohne}}} \cdot 100$$

## 3.7

## Zuverlässigkeit von Frühwarnsystemen

Eine Option zum Schutz abwandernder Fische bestimmter Zielarten ist der Einsatz von Frühwarnsystemen, die Abwanderereignisse vorhersagen und damit ein fischschonendes Betriebsmanagement von Wasserkraftwerken ermöglichen. Im Falle der Aalabwanderung ist seit 2003 ein solches Frühwarnsystem in Form des MIGROMAT<sup>®</sup> verfügbar (ADAM 2006, PÖHLER 2006).

Die Zuverlässigkeit eines Frühwarnsystems kann überprüft werden, indem die Anzahl abwandernder Individuen während der angezeigten Alarmereignisse ( $n_{\text{Alarm}}$ ) mit der Gesamtabwanderung ( $n_{\text{gesamt}}$ ) verglichen wird. Die Zuverlässigkeit des Frühwarnsystems ( $Z_{\text{Frühwarnsystem}}$ ) wird als Prozentsatz [%] angegeben und errechnet sich gemäß der Formel:

$$Z_{\text{Frühwarnsystem}} = \frac{n_{\text{Alarm}}}{n_{\text{gesamt}}} \cdot 100$$

## 3.8

## Effizienz eines fischschonenden Betriebsmanagements

Frühwarnsysteme dienen dazu, in Zeiten von Abwanderereignissen ein gezieltes Betriebsmanagement einer Wasserkraftanlage einzuleiten und durchzuführen, während dessen den Fischen Wanderpfade mit möglichst geringem Verletzungs- und Mortalitätsrisiko angeboten werden. Die Effizienz ( $E_{\text{Betriebsmanagement}}$ ) des Betriebsmanagements lässt sich durch Vergleich der standortbezogenen Mortalitätsrate mit und ohne Betriebsmanagement ermitteln. Sie wird als Prozentsatz [%] angegeben und errechnet sich gemäß der Formel:

$$E_{\text{Betriebsmanagement}} = \frac{m_{\text{Standort-ohne}}}{m_{\text{Standort-mit}}} \cdot 100$$

## 4

## Rechtliche Aspekte

Untersuchungen an wasserbaulichen Anlagen sowie mit Fischen greifen in die Eigentumsrechte Dritter ein, so dass sie nicht ohne das Einverständnis der Anlagenbetreiber sowie der Fischereirechtsinhaber bzw. -pächter durchgeführt werden können. Darüber hinaus sind weitere gesetzliche Vorgaben und die Genehmigungspflichten bei verschiedenen Untersuchungsmethoden zu beachten, die sich insbesondere aus dem Tierschutzgesetz sowie aus den Fischereigesetzen der Bundesländer ergeben.

Freiland- und Laboruntersuchungen mit Neunaugen und Fischen werden gemäß § 7 TierSchG als Tierversuch eingestuft, „*wenn sie mit Schmerzen, Leiden oder Schäden für diese Tiere*“ verbunden sind (TierSchG 2007). Insofern besteht kein Zweifel daran, dass es sich bei sämtlichen Untersuchungsansätzen, bei denen Fische bewusst einem Verletzungsrisiko ausgesetzt sind oder dies billigend in Kauf genommen wird, um Tierversuche handelt. Gleiches gilt für Fischmarkierungen jeder Art (ADAM & LINDEMANN 2010). Grundsätzlich unterliegen Tierversuche der Genehmigungspflicht gemäß § 8 TierSchG. Sie sind nur dann genehmigungsfähig, wenn ein „*vernünftiger Grund*“ hierfür vorhanden ist und keine alternativen Verfahren verfügbar sind, mit denen dasselbe Ziel erreicht werden kann. Grundsätzlich dürfen Tierversuche nur von biologisch oder veterinärmedizinisch ausgebildeten und beruflich erfahrenen Personen durchgeführt werden. Als Nachweis der Qualifikation für den Umgang mit Tieren wird in der Regel ein abgeschlossenes Studium der Veterinärmedizin oder Biologie verlangt. Welcher fachliche bzw. berufliche Hintergrund allerdings im Sinne der Genehmigungsbehörden als rechtskonform erachtet wird, ist in den Bundesländern unterschiedlich geregelt und muss entsprechend vor Ort geklärt werden. Die Hälterung der Tiere kann auch von Tierpflegern übernommen werden. Eine bestandene Sportfischerprüfung oder aquaristische Erfahrungen hingegen sind kein ausreichender Qualifikationsnachweis.

Unabhängig von der tierschutzrechtlichen Genehmigung eines Tierversuches besteht bei fischereibiologischen Freilanduntersuchungen auch eine Genehmigungs-

pflicht für den Einsatz bestimmter Untersuchungsmethoden. Dies betrifft generell den Fang von Fischen in Fischwegen, der in den Fischereigesetzen der meisten Bundesländer verboten ist. Ebenfalls genehmigungspflichtig ist die Durchführung der Elektrofischerei.

5

## Literatur

- ADAM, B. & B. LEHMANN (2011): Ethohydraulik: Grundlagen, Methoden, Erkenntnisse. - Heidelberg (Springer-Verlag), 387 S.
- ADAM, B. & C. LINDEMANN (2010): Verträglichkeit von Markierungsmethoden für Fische. - Tierärztliche Umschau 65/3, 124 - 130.
- ADAM, B. & U. SCHWEVERS (1994): New marking method for fish - initial trials with micro-transponders. - Animal research and development 40, 78 - 87.
- ADAM, B. (2006): Das Frühwarnsystem MIGROMAT schützt abwandernde Aale vor Verletzungen durch Wasserkraftanlagen. - Artenschutzreport 19, 13 - 18.
- HEISEY, P. G., D. MATHUR & L. D'ALLESANDRO (1993): A new technique for assessing fish passage survival at hydro power stations. - Can. Tec. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1905, 32 - 38.
- PÖHLER, F. (2006): Erfahrungen mit dem aalschonenden Betriebsmanagement einer Wasserkraftanlage. - DWA-Themen: Durchgängigkeit von Gewässern für die aquatische Fauna, 116 - 122.
- RAUCK, G. (1980): Mengen und Arten vernichteter Fische und Krebstiere an den Rechen des Einlaufbauwerkes im Kernkraftwerk Brunsbüttel. - Veröff. Inst. Küsten- und Binnenfischerei 71, 21 S.
- THORSTEINSSON, V. (2002): Tagging Methods for Stock Assessment and Research in Fisheries. - Report of Concert Action FAIR CT.96.1394 (CATAG),

Reykjavik, Marine Research Institute Technical Report (79), S. 179; mehr Informationen unter: <http://www.hafro.is/catag>.

TierSchG (2009): Tierschutzgesetz. - Aktuelle Fassung: Bekanntmachung vom 18. Mai 2006, BGBl. I S. 1206, 1313, geändert zuletzt durch das Gesetz vom 15. Juli 2009, BGBl. I S. 1950.