

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen
Kolloquiumsreihe der BAW und BfG
Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze
11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

Methoden zur Erfassung und Analyse der Fischwanderungen in Bundeswasserstraßen

Autoren: Matthias Scholten, Christian von Landwüst

E-Mail Autoren: scholten@bafg.de; landwuest@bafg.de

Faszination und Grundlagen der Fischwanderungen

Der Aufstieg tausender Wanderfische ist und war seit jeher ein für die Menschen faszinierendes Ereignis. Erste Aufzeichnungen von Fischwanderungen reichen bis in die Römerzeit zurück, wo der römische Beamte Ausonius um 375 n. Chr. von den regelmäßigen großen Aufstiegszahlen von Wanderfischen in der Mosel berichtet. Konkret beschreibt er Lachse, Maifische, Meerforellen, Neunaugen und Störe (DRÄGER 2001).

Berichte über erste Markierungen von Wanderfischen gehen bis ins 17. Jhd. zurück. Fischer in England banden juvenilen Lachsen Baumwollfäden an die Schwanzflosse, um ihre Wanderungen zu analysieren (LUCAS & BARRAS 2001). Seit dem 19. Jhd. werden Fische systematisch markiert, um Hinweise und Informationen über Zeitpunkt und Ausdehnung von Wanderungen verschiedener Arten zu bekommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen resultieren in einer ersten Typisierung der Fischwanderung des Fischereibiologen MYERS (1938, 1949). Sein Vorschlag unterscheidet Fischwanderungen die innerhalb des marinen Lebensraums (Ozeanodromie), zwischen Süß- und Salzwasserlebensräumen (Diadromie) und innerhalb von Süßwasserlebensräumen (Potamodromie) stattfinden. Als klassische Beispiele für diese Typen der Fischwanderungen zeigen sich der Kabeljau (ozeanodrom), der Atlantische Lachs für die diadrome Lebensweise und die Quappe für die potamodrome Lebensweise.

Trotz intensiver Diskussion haben sich die Begriffe etabliert und wurden in der Folge auch weiter differenziert. So definiert McDOWALL (1997):

- Anadromie: Diadrome Tierarten, deren Nahrungsaufnahme und Wachstum überwiegend im marinen Lebensraum erfolgt und die als adulte Tiere ins Süßwasser zur Reproduktion ziehen (z. B. Atlantischer Lachs)
- Katadromie: Diadrome Tierarten, deren Nahrungsaufnahme und Wachstum überwiegend im Süßwasser erfolgen und die als adulte Tiere ins Meer zur Reproduktion ziehen (z. B. Europäischer Aal).

Wie plastisch diese Definitionen allerdings sind, zeigten z. B. mikrochemische Analysen der Otolithen von Europäischen und Japanischen Gelbaalen, die ergaben, dass diese nie im Süßwasser waren (TSUKAMOTO et al. 1998).

Die Umfänge und Bedeutung der potamodromen Wanderungen haben verschiedene Studien in den letzten 20 Jahren eindrücklich belegt. Viele Süßwasserarten z. B. Barbe, Zährte, Quappe, Nase, Rapfen unternehmen Wanderungen über teilweise beachtliche Distanzen.

Auf der anderen Seite zeigen Analysen von Nahrungswanderungen von „reinen Süßwasserfischen“ wie Hecht, Flussbarsch und Zährte, dass diese Arten bis weit in den mesohalinen Bereich der Ostsee einwandern.

Nahrungsaufnahme, Laichen, Schutz vor widrigen Bedingungen, z. B. im Winter gelten als zentrale „Motivationen“ für Fischwanderungen. Umgesetzt in Lebensräume entwickelte NORTHCOTE (1978, 1984) ein erstes funktionales Konzept. Dieses Konzept wurde in den folgenden Jahren weiterentwickelt und integriert heute die unterschiedlichen Lebensstadien eines Fisches und ihre spezifischen Lebensraumansprüche in einem funktionellen „life unit concept“ (LUCAS & BARRAS 2001). Aus diesem Konzept lässt sich der Begriff

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen
 Kolloquiumsreihe der BAW und BfG
Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze
 11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

Fischwanderung dahingehend ableiten, dass darunter jegliche Fischbewegungen zu verstehen sind, die funktionell notwendige Habitate im Lebenszyklus einer Art miteinander verbinden (siehe Bild 1).

Diese Lebensräume und ihre Vernetzung untereinander zu identifizieren, und zwar getrennt für unterschiedliche Altersstadien, ist eine zentrale Aufgabe für die Analyse der Fischwanderungen auch in Bundeswasserstraßen.

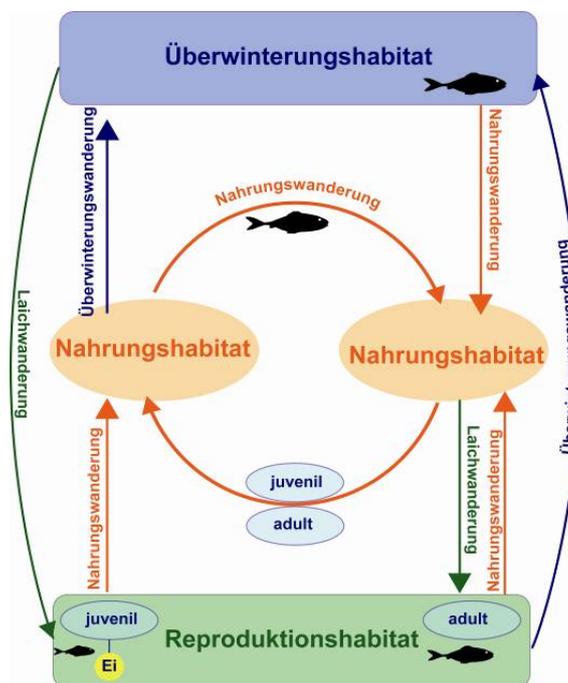


Bild 1: Fischwanderungen zwischen unterschiedlichen Habitaten im Gewässersystem

Methoden zur Erfassung und Analyse von Fischwanderungen

Grundsätzlich lassen sich zwei Herangehensweisen unterscheiden: Techniken, die ohne den Fang der Fische auskommen, und Techniken, die einen Fang der Fische voraussetzen. Beide Vorgehensweisen haben grundsätzliche Vor- und Nachteile. Der Vorteil, Fische ohne Fang zu beobachten, liegt in der prinzipiellen Tatsache Fische nicht zu stören und damit ein authentisches Verhalten zu erfassen. Der Nachteil liegt - je nach Methode - in der Schwierigkeit begründet, Arten zu bestimmen oder Tiere individuell über einen längeren Zeitraum zu erfassen.

Jeder Fang und eine nachfolgende Markierung beeinträchtigt den Fisch grundsätzlich. Um das Risiko für den Fisch, aber auch mögliche Auswirkungen auf das Verhalten zu minimieren, sollten die Eingriffe von erfahrenen Spezialisten und unter Beachtung der tierschutzrechtlichen Vorgaben erfolgen. Unter diesen Bedingungen sind Fänge und Markierungen von Tieren aber eine gute Möglichkeit, die Bewegungen der Tiere kontinuierlich und über einen längeren Zeitraum zu erfassen.

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Kolloquiumsreihe der BAW und BfG

Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze

11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

Methoden, die Fischwanderungen bzw. Bewegungsmuster von Fischen ohne den Fang der Tiere erfassen, basieren auf den physikalischen Grundlagen der Optik, Elektrik und Akustik. Optische Erfassungen differenzieren sich in direkte Sichtbeobachtungen, z. B. durch Taucheinsätze und in indirekte Aufzeichnungen von Bewegungen, z. B. mittels Videobeobachtung. Die elektrischen Methoden basieren auf der Messung einer Veränderung des elektrischen Feldes durch die Fische. Bei den hydroakustischen Methoden lassen sich aktive von passiven Methoden unterscheiden. Während die passiven Methoden Schallwellen, die von den Fischen selbst oder der Umwelt erzeugt werden, mittels Hydrophonen aufzeichnen, basieren die aktiven Methoden auf der Erfassung von Schallwellen, die künstlich über Sender, die an den Fischen angebracht sind ins Wasser abgegeben werden.

Optische Methoden

Als Beispiel für optische Methoden sei hier die Videoüberwachung am Fischpass an der Staustufe Iffezheim vorgestellt. Anhand eines Bewegungsmelders werden Videobilder aufgezeichnet, mit Zusatzdaten gespeichert und anschließend ausgewertet. Diese Technik ermöglicht eine artspezifische kontinuierliche Erfassung des Fischeaufstiegs und damit die Analyse tageszeitlicher und saisonaler Wanderungsaktivitäten für einzelne Arten. Anhand solcher Untersuchungsmethoden ließ sich in Iffezheim die stark diurnal und saisonal geprägte Rhythmik der Wanderbewegungen der Barben und anderer Arten nachweisen.

Eine Weiterentwicklung des Bewegungsmelders stellt der „River-Counter“ der Fa. Vaki da. Hier bilden zwei Platten mit je einem Feld eng bestückter Infrarotsensoren ein Tor. Hindurch schwimmende Fische werden in Ihrer Form abgetastet, gezählt und dokumentiert. In Kombination mit einer Videokamera lassen sich die einzelnen Individuen gezielt aufnehmen, erfassen und artspezifisch detektieren. Durch den Einsatz dieser Technik (z. B. an der Fischeaufstiegsanlage Siegburg) sind kontinuierliche Aufzeichnungen von Wanderungen möglich. Der Vorteil gegenüber einer Erfassung mittels Kontrollreuse besteht in der Tatsache, dass die Fische nicht direkt und damit ohne Stress erfasst werden. Ferner führen Kontrollreusen immer zu einer Beeinträchtigung der hydraulischen Bedingungen im Fischpass. Dies kann Fische von einer Passage abhalten, wie erste Videoaufnahmen von einem kombinierten Einsatz beider Geräte (Reuse und Counter) aufgezeigt haben.

Akustische Methoden

Mit dem Kürzel Sonar (Sound Navigation and Ranging) werden generell alle Techniken beschrieben, die auf einer aktiven durch die Ausstrahlung von Schallwellen und den Empfang ihrer Reflexion mittels eines Empfängers (transducers) basieren. Ursprünglich und mit Abstand auch heute noch hat die Einzel-Strahl (single-beam) Technik die größte Verbreitung, z. B. in der marinen Fischerei bzw. generell im maritimen Bereich, wobei Frequenzen zwischen 100 und 400 kHz eingesetzt werden. Der Echolot-Schwinger sendet i. d. R. vertikal.

Mit Entwicklung der „dual-beam“ Echosender wurde es möglich, durch den separaten und zeitlich versetzten Empfang der beiden ausgesendeten Schallwellen mit Hilfe des Empfängers nicht nur die Entfernung zum Ziel, sondern auch die Orientierung des Zielsignals (z.B. eines Fisches) zu dokumentieren.

Für die Analyse von Fischwanderungen und Fischverteilungen in Flüssen kamen seit dem Beginn der 1990 Jahre Dual-Splitbeam-Systeme zum Einsatz (KUBECKA et al. 2000). Bei dieser Technik wird der Empfänger in vier Quadranten unterteilt. Für jeden Quadrant wird die genaue Zeit und Stärke der Reflexion erfasst und die Ergebnisse werden mit Hilfe eines komplexeren Algorithmus miteinander verrechnet. Diese Technik ermöglicht eine genaue Lokalisierung von Einzelzielen (Fischen) im dreidimensionalen Raum. Mit Hilfe moder-

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen
 Kolloquiumsreihe der BAW und BfG
Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze
 11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

ner Softwareentwicklung ist es mittlerweile möglich, mit Hilfe der Splitbeam Technologie die Bewegungsmuster einzelner Fische aufzuzeichnen und auf diese Weise das Verhalten von Fischen z. B. vor Querbauwerken zu analysieren.

Eine derartige Technologie wurde beispielsweise am Dalles Dam am Columbia River (USA) eingesetzt, um die Wirkung von oberflächennahen Verschlussplatten am Kraftwerkseinlauf zu analysieren (HEDGEPEETH et al. 2000). Speziell wurde die Hypothese getestet, dass sich durch den Einbau der Platten die Auffindbarkeit der oberflächennahen Bypässe signifikant verbessert. Hierzu wurde an der Spitze der Verschlussplatten sowie am Turbineneingang jeweils ein Fisch-Tracking System installiert, welches aus einem dualen Splitbeam Sender und Empfänger sowie einem Motor bestand, der den Echostrahl schnell auf den jeweiligen Zielfisch steuern konnte. Es wurde je ein Raum von 10x10x15 m erfasst. Insgesamt wurden zwischen dem 21. April und 1 Juni (Abwanderungszeit der Lachssmolts) rund 45.000 Einzeltracks erfasst und ausgewertet. Die Auswertung der Tracks ergab, dass der Einbau der Verschlussplatten die Fischbewegungen aufwärts in Richtung des Bypasses um 12 % signifikant erhöhte.

Markierungsmethoden

Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Methoden, basieren die im Folgenden aufgeführten Techniken auf dem Fang und der Markierung von Fischen. Die Markierungen können sowohl natürlich vorhandene Markierungen (z.B. durch Parasiten oder biochemische Marker wie stabile Isotope oder Ansammlungen bestimmter Spurenelemente) als auch synthetische und elektronische Markierungen umfassen. Während synthetische passive Markierungen z.B. Farbmarkierungen oder kodierte Tags umfassen, werden passive Transponder und batteriebetriebene und damit aktive Sender unter den elektronischen Markierungen zusammengefasst. Einen Überblick über verschiedene elektronische Markierungen gibt Tab. 1. Anhand von zwei Beispielen werden im Folgenden die Einsatzmöglichkeiten der elektronischen Markierungen vorgestellt.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener elektronischer Methoden zur Markierung von Fischen

	Passive integrated transponder (PIT) tags	Radio frequency identification technology (RFID) tags	Radio-Telemetrie	Akustische Telemetrie
Messprinzip	Elektromagnetische Induktion	Elektromagnetische Induktion	Radiowellen	Schallwellen (Ultraschall)
Frequenzbereich			150 MHz	20 kHz – 2 MHz.
Haltbarkeit	permanent	Zeitl. begrenzt bis permanent	zeitl. begrenzt (Monate bis 2 Jahre)	zeitl. begrenzt (Monate bis 2 Jahre)
Stromversorgung	nicht notwendig	teilw. Batterie	Batterie	Batterie
Größe der Tags	12 mm x 2 mm	23 x 3,9 mm bis 80 x 18 mm	15 x 50 mm	6 x 16 mm bis 9 x 46 mm
Implantierung	subcutan	Bauchhöhle	Bauchhöhle, Magen	Bauchhöhle, Magen
Ablesung Reichweite	Antenne, Scanner nah (< 0,5 m)	Antenne, Scanner nah (1,5 bis 3 m)	Antenne mittel (bis 100 m)	Hydrophon fern (bis 300 m)

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Kolloquiumsreihe der BAW und BfG

Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze

11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

Im ersten Beispiel wurde mit Hilfe der RFID – Transpondertechnologie die Frage der Mortalitätsursachen abwandernder Blankaale im System der Maas untersucht (WINTER et al. 2007, JANSEN et al. 2007). Hierzu wurden in den Jahren 2002 und 2004 jeweils 150 Blankaale mit einem RFID-Transponder versehen und im Oberlauf der Maas ausgesetzt. Entlang der Maas und in verschiedenen Armen des Rheindeltas wurden durch das RIZA (Niederländisches Reichsinstitut für Süßwasser und Abwasserbehandlung) in Zusammenarbeit mit Rijks Waterstraat Antennen quer durch den Fluss verlegt, die einen mit einem Transponder versehenen Fisch automatisch detektieren. Über Fernabfrage werden die Daten der Kontrollstationen regelmäßig von RIZA abgefragt und zentral ausgewertet. Mit Hilfe dieser Experimente ließen sich der Einfluss der Wasserkraftnutzung und der Fischerei auf die abwandernden Blankaale identifizieren und quantitativ abschätzen. So können die „Bottlenecks“ für den Aalabstieg identifiziert und gezielt durch Maßnahmen angegangen werden (WINTER et al. 2007).

Welche Ausdehnung hat die Lebensraumnutzung von potamodromen Arten in einem unverbauten Flusssystem und welche Teillebensräume werden in die regionalen Wanderungen der Fische mit eingebunden. Diese komplexe Fragestellung wurde Ende der 1990 Jahre beispielhaft durch Hr. F. Fredrich vom Institut für Gewässerökologie (IGB) an der Elbe im Rahmen der Elbeökologie-Forschung untersucht (FREDRICH 2002 a, b, 2003). Dabei kam die Methode der Radiotelemetrie zum Einsatz. Insgesamt wurden 200 Einzelfische aus fünf Arten mit Sendern versehen. Die Sender wurden durch eine Operation in die Bauchhöhle implantiert. Die Lebensdauer der Sender betrug 12 Monate und die Reichweite der Erfassung betrug ca. 200 m. Die Genauigkeit der Ortung ca. 10 m. Durch regelmäßige Kontrollfahrten auf der Mittel- und Unterelbe wurde die Position der Einzeltiere erfasst.

Aus den Ortungsdaten der Fische ergibt sich ein Netz von Aufenthaltsorten und Aufenthaltszeiten, welche zunächst getrennt für einzelne Individuen analysiert werden kann. Die Ergebnisse belegen für die Arten Zander, Brasse und Aland eindrucksvoll die zeitlich-räumliche Nutzung von Seitengewässern (z.B. als Winter- und Laichhabitat) und geben Auskunft über Wanderungsdistanzen zwischen den Lebensräumen. So konnten Wanderdistanzen zwischen den einzelnen Lebensräumen zwischen 3 und 170 km festgestellt werden. Aus allen Ergebnissen zusammen ließ sich für die Mittel- und Unterelbe die Ausdehnung der funktionellen Lebensräume verschiedener Arten ermitteln und ihre Lage zueinander beschreiben. Es zeigte sich, dass bestimmte funktionelle Lebensräume eher kleiner dimensioniert sind, die räumliche Vernetzung dieser Lebensräume aber über große Distanzen erfolgt.

Die hydroakustische Telemetrie basiert auf der Abgabe von Tönen im Ultraschallbereich. Gegenüber der Radiotelemetrie bietet die Erfassung der Töne mit Hydrophonen unter Wasser den Vorteil einer größeren Reichweite. Ferner ist sie sowohl im Süß- als auch im Meerwasser und damit auch gut für die Übergangsgewässer nutzbar. Die zeitliche Abfolge der Töne ermöglicht eine individuelle Codierung der Sender. Die technologische Weiterentwicklung führte in den letzten Jahren zu einer deutlichen Verkleinerung der Sender und zur Automatisierung der Erfassung anhand von fest installierbaren Hydrophonen. Beispielhaft wird diese Technologie derzeit im Rahmen der Untersuchungen zur Wiedereinbürgerung der Störe in die Flusssysteme der Elbe und Oder eingesetzt. Erste Ergebnisse sind bei der Deutschen Gesellschaft zur Rettung des Störs zu erfragen.

Mit Hilfe eines fest installierten Systems von Hydrophonen bietet die hydroakustische Telemetrie die Möglichkeit zur permanenten kleinräumigen und hoch aufgelösten Überwachung von Fischbewegungen, z. B. im Unter- oder Oberwasser von Querbauwerken. Die Vorteile hydroakustischer Sender gegenüber der Radiotelemetrie liegen u. a. in der kontinuierlichen Überwachung, der Erfassung in größeren Tiefen, der Erfassung

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Kolloquiumsreihe der BAW und BfG

Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze

11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

in größeren Reichweiten sowie der Möglichkeit eine 2 D und 3 D Positionierung des Fisches vorzunehmen und dadurch die Analyse von kleinräumigen Fischbewegungen zu ermöglichen. Bis her gibt es nur sehr wenige derartige Untersuchungen, die sich fast alle auf Salmoniden bzw. Graskarpfen in Nord-Amerika beziehen. Insbesondere für die Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen aber auch von Bypässen für den Fischabstieg sind derartige Untersuchungen sehr wertvoll.

Ausblick und Forschungsbedarf

Der Überblick der Methoden zur Untersuchung der Fischwanderung hat gezeigt, dass

- technische Innovationen der letzten Jahre und Jahrzehnte die Möglichkeiten zur Analyse der Fischwanderung erheblich erweitert haben,
- kontinuierliche, kleinräumige und großräumige Erfassungen von Fischen technisch machbar sind,
- keine Technik für sich ein umfassendes Verständnis der Fischwanderung ermöglicht, sondern eine Kombination von Technologien sinnvoll ist,
- der Einsatz der technischen Möglichkeiten eng an die Fragestellungen und die abiotischen und biotischen Rahmenbedingungen zu koppeln ist,
- der Einsatz der Techniken eines qualifizierten und erfahrenen Personals bedarf und
- Erfahrungen nationaler und internationaler Arbeitsgruppen bei der Anwendung und Entwicklung von neuen Methoden genutzt werden sollten.

Oft hört man die Meinung, dass im Prinzip alles zum Thema Fischwanderung bekannt sei. Doch stimmt, das? Eine Auswertung von ca. 500 Untersuchungen zu Fischwanderungen zeigt, dass die Mehrzahl der Studien in Nord-Amerika durchgeführt wurde und sich diese primär auf Salmoniden (Lachse und Forellen) beziehen (LUCAS & BARRAS 2001). Konkrete Studien zu den Zielarten der Durchgängigkeit, wie sie in den deutschen Bewirtschaftungsplänen nach WRRL oder in durch die FFH Arten benannt werden, liegen kaum vor; speziell hinsichtlich der Fragen:

- Wie orientieren sich die Fische bei ihren Wanderungen?
- Welche Auswirkungen haben staugeregelte Flüsse auf die Lebensraumausdehnung und Nutzung?
- Welche Vernetzung von Lebensräumen ist erforderlich und populationsbiologisch notwendig?

Vor dem Hintergrund der geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen (z. B. Herstellung des guten ökologischen Zustands nach EG-WRRL oder die EG VO Aal) sind spezifische Kenntnisse über die lokale bzw. regionale Fischfauna erforderlich, um die Maßnahmen, z. B. zur Herstellung der Durchgängigkeit oder zum Erhalt einer spezifischen Menge abwandernder Blankaale effizient und erfolgreich gestalten zu können. Speziell wird es als notwendig angesehen,

- ...das Wanderverhalten verschiedener Zielarten (nicht nur Aal und Lachs), speziell im Nah- und Fernfeld von Querbauwerken,
- ...die Wirksamkeit und Effizienz von spezifischen technischen Lösungen zur Verbesserung der fischökologischen Durchgängigkeit,
- ...die populationsbiologischen Anforderungen an die Effizienz der Durchgängigkeit,
- ...spezifische regionale und lokale Kenntnisse über die Lage, Qualität und Bedeutung von Schlüsselhabitaten und
- ...die Wechselwirkungen zwischen Fisch und Hydraulik z. B. für die Optimierung der Passierbarkeit und Auffindbarkeit der Fischpässe

mit Hilfe moderner Methoden der Fischerfassung und Markierung zu untersuchen.

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen
 Kolloquiumsreihe der BAW und BfG
Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze
 11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe

Literatur

- DRÄGER, P. (2001): Ausonius: Mosella Lateinisch/Deutsch, herausgegeben, in Blankverse übersetzt und mit einer Einführung versehen von Paul Dräger. Paulinus, Trier, 160 S.
- FREDRICH, F. (2002a): Wanderungen des Zanders zwischen Winter- und Nahrungshabitaten. In: NELLEN, W., KAUSCH, H., THIEL, R. & R. GINTER (Hrsg.): Ökologische Zusammenhänge zwischen Fischgemeinschafts- und Lebensraumstrukturen der Elbe. Abschlussbericht des BMBF-Forschungsvorhabens, FKZ 0339578. Universität Hamburg, Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, 223-230. [HTTP://ELISE.BAFG.DE/?4022](http://elise.bafg.de/?4022)
- FREDRICH, F. (2002b): Habitatwechsel des Blei. In: NELLEN, W., KAUSCH, H., THIEL, R. & R. GINTER (Hrsg.) Ökologische Zusammenhänge zwischen Fischgemeinschafts- und Lebensraumstrukturen der Elbe. Abschlussbericht des BMBF-Forschungsvorhabens, FKZ 0339578. Universität Hamburg, Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft, 238-243. [HTTP://ELISE.BAFG.DE/?4022](http://elise.bafg.de/?4022).
- FREDRICH, F. (2003): Long-term investigations of migratory behaviour of asp (*Aspius aspius* L.) in the middle part of the Elbe River, Germany. - Journal of Applied Ichthyology **19**, Special Issue: Ecology of fishes in the Elbe River, 294-302
- HEDGEPEETH, J.B., JOHNSON, G.E., SKALSKI, J.R. & J. BURCZYNSKI (2000): Active fish tracking sonar (AFTS) for assessing fish behaviour. Acta Acustica united with Acustica **88**, 739-742
- JANSEN, H. M., WINTER, H. V., BRUIJS, M. C. M. & H.J.G. POLMAN (2007): Just go with the flow? Route selection and mortality during downstream migration of silver eels in relation to river discharge. – ICES Journal of Marine Science, **64**: 1437–1443
- KUBECKA, J., FROUZOVA, J., VILCINSKAS, A., WOLTER, C. & O. SLAVIK (2000): Longitudinal hydroacoustic survey of fish in the Elbe River, supplemented by direct capture. In: COWX, I.G. (ed.): Management and Ecology of River Fisheries, Blackwell Science, Oxford, 14-25
- LUCAS, M.C. & E. BARRAS (2001): Migration of Freshwater Fishes. Blackwell Science, Oxford, 420 p.
- MYERS, G.S. (1938): Fresh-water fishes and west Indian zoogeography. Annual Report of the Smithsonian Institute 1937, 339-364
- MYERS, G.S. (1949): Usage of anadromous, catadromous and allied terms for migratory fishes. Copeia 1949, 89-97
- MCDOWALL, R.M. (1997): The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. Reviews in Fish Biology and Fisheries **7**, 443-462
- NORTHCOTE, T.G. (1978): Migratory strategies and production in freshwater fishes. In: GERKING, S.D. (ed.): Ecology of Freshwater Production. Blackwell Science, Oxford, 326-359
- NORTHCOTE, T.G. (1984): Mechanisms of fish migration in rivers. In: McCLEAVE, J.D., DODSON, J.J. & W.H. NEILL (eds.): Mechanisms of Migration in Fishes. Plenum, New York, 317-355
- TSUKAMOTO, K., NAKAI, I. & W.V. TESCH (1998): Do all freshwater eels migrate? Nature **396**, 635-636
- WINTER, H. V., JANSEN, H. M. & A.W. BREUKELAAR (2007): Silver eel mortality during downstream migration in the River Meuse, from a population perspective. ICES Journal of Marine Science **64**, 1444–1449

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen

Kolloquiumsreihe der BAW und BfG

Ökohydraulische Grundlagen, Mess- und Modellierungsansätze

11. und 12. Mai 2010 in Karlsruhe
