

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Wey, Jennifer K.; Rüter, Arne; Scholten, Matthias**

## **Umgang mit fischbiologisch begründeten Unsicherheiten bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102330>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Wey, Jennifer K.; Rüter, Arne; Scholten, Matthias (2016): Umgang mit fischbiologisch begründeten Unsicherheiten bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Schlüsselfragen bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Fischaufstieg. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau; Bundesanstalt für Gewässerkunde. S. 55-62.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



## **Umgang mit fischbiologisch begründeten Unsicherheiten bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen**

Dr. rer. nat. Jennifer K. Wey, Bundesanstalt für Gewässerkunde

Dr. rer. nat. Arne Rüter, Bundesanstalt für Gewässerkunde

Dr. rer. nat. Matthias Scholten, Bundesanstalt für Gewässerkunde

### **Einleitung**

Als fachliche Grundlage bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen wird in Deutschland in der Regel das DWA-Merkblatt 509 (DWA, 2014) verwendet. Im Merkblatt werden zunächst fischbiologische und –ökologische Grundlagen zusammengefasst (z.B. zu Schwimmverhalten, Schwimmgeschwindigkeiten, Orientierung von Fischen.) und daraus allgemeine und spezifische Anforderungen an die Planung und den Bau von Fischaufstiegsanlagen abgeleitet (z.B. Zielarten und –stadien, Betriebszeiten, geometrische und hydraulische Anforderung an Auffindbarkeit und Passierbarkeit). Wo wissenschaftliche Studien zu spezifischen Fragen im Kontext der ökologischen Durchgängigkeit fehlen, wird auf Expertenwissen und/oder Schlussfolgerungen aus Untersuchungen zurückgegriffen, die in einem anderen Kontext standen (z.B. Ermittlung der Schwimmleistungen aus physiologischen Grundlagenuntersuchungen). Somit wird im aktuellen DWA-Merkblatt 509 i.d.R. der aktuelle Stand des Wissens dargestellt, der zu Recht die biologischen Anforderungen an Fischaufstiegsanlagen begründet. Gleichwohl zeigt sich bei den aktuellen Planungen an Bundeswasserstraßen, die von der Bundesanstalt für Wasserbau und der Bundesanstalt für Gewässerkunde begleitet werden, sehr konkret, dass sich aus fehlenden fischbiologischen Kenntnissen an vielfältigen Stellen Planungsunsicherheiten ergeben können. Der Vortrag stellt Beispiele vor und zeigt auf, wie BfG/BAW bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen in Bundeswasserstraßen mit diesen Unsicherheiten und den daraus resultierenden Risiken umgehen.

### **Grundlagen und Beispiele für fischbiologisch begründete Unsicherheiten bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen**

Wie in Weichert et al. (2016) dargestellt, werden Unsicherheiten von verschiedenen Autoren in zwei Typen unterteilt:

- Typ 1: Unsicherheiten, die aus der natürlichen Variabilität eines Prozesses resultieren (aleatorische Unsicherheiten).
- Typ 2: Unsicherheiten, die aus unvollständigem Wissen, bzw. der partiellen Unkenntnis über einen Prozess resultieren (epistemische Unsicherheiten).

Unsicherheiten vom Typ 1 ergeben sich bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen aus der natürlichen Variabilität von Umgebungsfaktoren, aber auch aus unterschiedlichen Eigenschaften und Verhaltensweisen von Fischen, die selbst innerhalb einer auf den ersten Blick homogenen Gruppe (z.B. einer Art, Größenklasse oder Altersstufe) auftreten können. Dazu gehört die multifaktoriell

(z.B. durch Ernährungszustand, Wassertemperatur, Schadstoffe,...) beeinflusste Schwimmleistung von Individuen (Hammer, 1995), die eine vollständige Übertragung von im Labor erhobenen Daten zur Schwimmleistung auf das Freiland unmöglich macht. Ein weiteres Beispiel ist die wahrscheinlich mit der Erfahrung und Schwarmgröße variierende Furchtlosigkeit von Flussbarschen (Goldenberg et al., 2014) und damit die individuelle Hemmschwelle, sich in eine unbekannte Situation oder Umgebung wie beispielsweise eine Fischaufstiegsanlage zu begeben. Unsicherheiten vom Typ 1 lassen sich weder vermeiden noch reduzieren, d.h. ihnen kann nur begegnet werden, indem bei der Bemessung von Fischaufstiegsanlagen von vorneherein ein möglichst breites Spektrum an zu erwartenden Eigenschaften und Verhaltensweisen der Fische berücksichtigt wird.

Unsicherheiten vom Typ 2 lassen sich hingegen durch Wissens- oder Informationszuwachs verringern. Anhand des Beispiels „Wanderkorridor“ lassen sich solche Unsicherheiten im Kontext der Planung von Fischaufstiegsanlagen gut illustrieren. Laut DWA-Merkblatt 509 (DWA, 2014) ist der Wanderkorridor „... ein idealisierter Raum, in dem die Voraussetzungen dafür erfüllt sind, dass sich alle Fische orientieren und gegen die Strömung aufschwimmen können, was durch ausreichende Dimensionen und eine gerichtete, turbulenzarme Strömung gewährleistet wird. Der Wanderkorridor erstreckt sich unterbrechungsfrei vom Unterwasser eines Wanderhindernisses über die Fischaufstiegsanlage bzw. das fischpassierbare Bauwerk bis ins Oberwasser...“. Um konkrete Randbedingungen festlegen zu können, die diesen idealisierten Raum definieren, müssen drei grundsätzliche Aspekte bei der Betrachtung eines einzelnen, im Unterwasser einer Stauanlage schwimmenden Fisches berücksichtigt werden: die Motivation zur Aufwanderung, die Orientierungsmöglichkeiten und das Leistungsvermögen des Fisches. Ist die grundsätzliche Motivation zum Aufstieg gegeben, ist es entscheidend, dass eine Orientierung des Fisches sowohl hin zum Einstieg der Anlage als auch verzögerungsfrei innerhalb der Anlage ermöglicht wird. Quellen, die zur Desorientierung des Fisches beitragen, müssen daher vermieden werden. Die Erfüllung dieser Forderungen allein reicht jedoch nicht aus, denn erst, wenn der Wanderkorridor für den Fisch auch vom Unterwasser bis zum Oberwasser mit seiner aktuellen Leistungsfähigkeit zu bewältigen ist, kann von einer gegebenen ökologischen Durchgängigkeit gesprochen werden.

Die Definition des Wanderkorridors ist vor allem von Faktoren geprägt, die den Aspekten Orientierung und/oder Leistungsfähigkeit zuzuordnen sind. Da anadrome und potamodrome Fische gegen die Strömung aufsteigen (Lucas & Baras 2001), kann dabei von einer besonderen Rolle der Hydraulik ausgegangen werden. Bisherige Untersuchungen an anadromen Salmoniden oder Stören bestätigen, dass die Navigation der untersuchten Individuen mit Hilfe der Hydraulik nach bestimmten Strategien erfolgte (Standen et al., 2004; McElroy, 2012). Dieses Verhalten dient vermutlich der Optimierung des Energieverbrauchs während der Wanderung, der über die vor der Wanderung gespeicherten Energiereserven mit der für die Fortpflanzung zur Verfügung stehenden Energie in direkter Beziehung steht (Kinnison et al., 2001; Crossin et al., 2004). Ein Wanderkorridor bezeichnet also den Raum, in dem die Fische mit den von ihnen gewählten Strategien (z.B. zur Optimierung des Energieverbrauchs) in Abhängigkeit von der Strömung und ggf. in Abhängigkeit von anderen Faktoren navigieren. Ein günstiger Wanderkorridor bezeichnet einen Raum, in dem die Fi-

sche mit möglichst geringem Zeit- und Energieverlust aufwandern können. Da er von der Hydraulik abhängig ist, kann er sich bei veränderten Strömungsbedingungen räumlich verschieben. Ermöglicht man Fischen die Navigation innerhalb eines für sie günstigen Wanderkorridors bis zur Fischaufstiegsanlage und in diese hinein, kann von einer idealen Auffindbarkeit derselben ausgegangen werden. Eine offensichtliche Unsicherheit bei der Definition dieses Wanderkorridors ergibt sich aus dem bislang nur auf ausgewählte Arten und bestimmte Randbedingungen bezogenen Wissen über die Strömungscharakteristika, denen von Fischen gefolgt wird.

Abgesehen von der Einhaltung hydraulischer Grenzwerte muss laut DWA (2014) sichergestellt sein, dass die geometrischen Anforderungen der verschiedenen Fischarten an den Wanderkorridor eingehalten werden. In diesem Zusammenhang wird aus durchschnittlichen Fischgrößen und typischen Bewegungsmustern ein minimaler Raumbedarf abgeleitet, den jede Fischart für ihre Schwimmbewegungen benötigt. Dies ist eine mit dem zur Verfügung stehenden Wissen fundierte und nachvollziehbare Abschätzung. Ob darüber hinaus gehende geometrische Anforderungen an den Wanderkorridor bestehen, also z.B. im Hinblick auf die Bewegung von Fischschwärmen größere Abmessungen notwendig sind oder morphologische Strukturen der Gewässersohle die Aufwanderung beeinflussen können, ist hingegen noch unklar.

Darüber hinaus kann grundsätzlich hinterfragt werden, ob die bisherige Orientierung an geometrischen und vor allem hydraulischen Faktoren ausreichend ist, um den Wanderkorridor zu definieren. Anhand von Laboruntersuchungen konnte gezeigt werden, wie die sinnesphysiologischen Eigenschaften der Fische die Wahrnehmung sowohl hydraulischer (z.B. Fließgeschwindigkeit, Turbulenz; Enders et al., 2009, 2012; Kemp 2012) als auch optischer (Odling-Smee & Braithwait 2003a; Odling-Smee & Braithwait 2003b) und akustischer Signale (Tolimeri et al., 2004; Radford et al., 2011) ermöglichen und die Orientierung bzw. Aufenthaltsorte im Gewässer bestimmen können. Sie können potentielle Signalgeber auf dem Weg zur Fischaufstiegsanlage sein oder, im umgekehrten Fall, die Fische ablenken oder gar abschrecken. Auch hierzu sind bisher nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen vorhanden, insbesondere fehlen Freilanduntersuchungen.

Grundlage der obigen Ausführungen sind zunächst die Motivation, die Orientierungsmöglichkeiten und das Leistungsvermögen des einzelnen im Unterwasser einer Stauanlage schwimmenden Fisches. Da die Untersuchung der Motivation eines einzelnen Fisches und der damit verbundenen Interaktion mit dessen Orientierung und Leistungsvermögen allerdings nicht zielführend ist, werden meist verallgemeinerte Erkenntnisse zu den relevanten Fischarten (und/oder Altersstadien) genutzt. Dieser verallgemeinernde Schritt bringt ein gewisses Maß an Unsicherheit vom Typ 1 in den Planungsprozess. Er ist aber zulässig und sogar notwendig, da sich nur so aus den vorhandenen Kenntnissen Bemessungskriterien ableiten lassen, die die zum jetzigen Zeitpunkt bekannten fischbiologischen Grundlagen widerspiegeln und somit eine nach dem Stand des Wissens bestmögliche Funktionsfähigkeit gewährleisten. Dieser Stand wird momentan durch die Bemessungskriterien der DWA (2014) abgebildet. Werden Unsicherheiten vom Typ 2 durch zunehmendes biologi-

sches Grundlagenwissen kleiner, müssen die verallgemeinerten Bemessungskriterien entsprechend angepasst werden.

## **Umgang mit Unsicherheiten und Lösungsstrategien**

Beim Umgang mit den oben skizzierten Unsicherheiten müssen zwei parallele Wege beschritten werden. Zum einen ist es im Hinblick auf die Zeit- und Umsetzungsziele der WRRRL unerlässlich, unter Abwägung der damit verbundenen Risiken trotz der gegebenen Unsicherheiten Fischaufstiegsanlagen zu planen und zu bauen. Dabei ermöglichen Planung und Bau nach Stand der Technik (DWA, 2014) die größtmögliche Funktionssicherheit auf Basis des aktuellen Wissens. In Bundeswasserstraßen kommen zusätzlich die „Arbeitshilfe Fischaufstiegsanlagen“ (BAW/BfG, 2015) und aktuelle Erkenntnisse aus BAW- und BfG-eigener Forschung sowie Untersuchungen anderer Institutionen zum Tragen. Sowohl aus der Planung als auch aus der Funktionskontrolle der umgesetzten Maßnahmen ergeben sich Erkenntnisgewinne (und sei es „nur“ zu bisher nicht erkanntem Forschungsbedarf), die zur Reduzierung von Unsicherheiten des Typs 2 beitragen können. Die Reduzierung von Unsicherheiten des Typs 1 ist hingegen kaum möglich. Sie wäre grundsätzlich nur über die Berücksichtigung eines möglichst breiten Spektrums an fischbiologischen Eigenschaften „mit Sicherheitszuschlag“ bei der Bemessung realisierbar (also z.B. über eine sehr großzügige geometrische Dimensionierung). Solange die Notwendigkeit solch großzügiger Anlagen nicht fachlich belegt ist, werden sie allerdings aufgrund anderer Ansprüche (z.B. von Wasserkraftbetreibern oder Grundstückseignern) meist nicht umsetzbar sein. Nichtsdestotrotz werden die momentan umgesetzten Maßnahmen die ökologische Durchgängigkeit bereits erheblich verbessern.

Zum zweiten muss über Forschungsprojekte der Abbau von Unsicherheiten des Typs 2 vorangetrieben werden. Grundlage dafür ist die stetige Weiterentwicklung von geeigneten Methoden zur Erfassung von Fischen und ihrer Umwelt. Basierend auf den Ausführungen zu Unsicherheiten bei der Definition des Wanderkorridors lässt sich dies an den folgenden Beispielen illustrieren:

Wie bereits im vorherigen Kapitel aufgezeigt, ergibt sich eine Unsicherheit bei der Definition des Wanderkorridors aus dem bislang nur auf ausgewählte Arten und bestimmte Randbedingungen bezogenen Wissen über die Strömungscharakteristika, an denen sich Fische orientieren. Systematische Untersuchungen zu allen Zielarten und Altersstadien sind nur mit großem Aufwand umsetzbar. Die aktuelle technische Weiterentwicklung telemetrischer Systeme kann dabei helfen. Sie resultiert zum einen in immer kleineren und ausdauernderen Sendern und zum anderen in einer höheren Genauigkeit der Erfassung von Fischbewegungen in zweidimensionaler (bei ausreichender Tiefe sogar dreidimensionaler) Auflösung (Adams et al., 2012). Systematische Untersuchungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde in den Stauhaltungen Kostheim (Main) und Langwedel (Weser) werden in den nächsten Jahren im Zusammenhang mit hydraulischen Modellen und

bathymetrischen bzw. und akustischen Aufnahmen zeigen, ob sich auf diese Weise Aussagen über das Wanderverhalten von Fischen in stauregulierten Bundeswasserstraßen erzielen lassen.

In ethohydraulischen Versuchen lassen sich weitere Erkenntnisse über die Orientierung von Fischen gewinnen. Mit der Fragestellung angemessenen Versuchsdesigns und den entsprechenden statistischen Methoden können hierbei Rückschlüsse über die Reaktion bestimmter Fischarten auf definierte hydraulische Signale sowie die damit verbundenen Komponenten einer Fischaufstiegsanlage (wie z.B. Zugaberechen) gewonnen werden. Hierzu sei auf Schütz (2016) verwiesen. Ebenso ist es denkbar, mit Verhaltensversuchen in Laborrinnen die Reaktion von Fischen auf bestimmte Geometrien (z.B. enge Wendungen) zu erfassen.

Bei allen theoretischen und praktischen Ansätzen zur Verringerung von Unsicherheiten ist eine der größten Herausforderungen die Übertragbarkeit – vom Rechner oder Labor ins Freiland, aber auch bei Naturuntersuchungen zwischen verschiedenen Standorten mit unterschiedlichen Randbedingungen. Der ethohydraulische Versuchsansatz gewährleistet dabei ein hohes Maß an Übertragbarkeit der Ergebnisse aus dem Labor ins Freiland (Adam & Lehmann, 2011). Darüber hinaus ermöglichen in Zukunft mehrere Pilotanlagen von BfG und BAW in den Bundeswasserstraßen das Verhalten von Fischen unter verschiedenen natürlicheren Randbedingungen zu testen (Schütz & Henning, 2014).

Die Vielzahl an betrachteten Faktoren, unterschiedliche Untersuchungsmethoden und nicht zuletzt die natürliche Variabilität der Untersuchungsobjekte (der Fische und ihrer Umgebung) erfordern ein stringentes statistisches Untersuchungsdesign, um Wirkzusammenhänge abbilden, Ergebnisse übertragen und Prognosen erstellen zu können.

Darüber hinaus ermöglichen leistungsstarke Rechner auf Basis neu entwickelter Algorithmen die Modellierung hydrodynamischer Muster in einer Auflösung, die für die Analyse von Fischbewegungen nutzbar sind. Gleichwohl ist es eine große Herausforderung, biologisches Verhalten mathematisch abzubilden und in hydraulische bzw. numerische Modelle einzubauen. Mit der Entwicklung der Eulerian-Lagrangian-Agent Methode (ELAM) gelang es Wissenschaftlern der Cornell-University in Zusammenarbeit mit dem US Army Corps of Engineers (USACE) ein Verfahren aufzustellen, welches Bewegungen von Tieren, speziell von Fischen, mechanistisch decodiert und bezüglich gesetzter Randbedingungen durch ein numerisches Modell anhand der Hydraulik prognostiziert (Goodwin et al. 2006). Für eine adäquate Analyse der Fischbewegungsmuster sowie die Entwicklung von Prognosemodellen ist eine Weiterentwicklung solcher Modellansätze notwendig und wird derzeit von BAW und BfG vorangetrieben.

Ließen sich klare Bezüge zwischen Bewegungsmustern und abiotischen (z.B. hydraulischen, akustischen, optischen, geometrischen,...) Faktoren identifizieren, wäre eine wesentliche fachliche Grundlage erarbeitet, um Prognosemodelle für die Planung der Lage von Einstiegen in Fischaufstiegsanlagen zu entwickeln und die Ausgestaltung von Leitströmungen und deren Anbindung an

den Wanderkorridor verlässlicher zu planen. Diese Aspekte sind relevant für eine effiziente Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen und in der Realisierung und im Betrieb der Anlagen wesentliche Kostenfaktoren.

## **Fazit**

Das DWA-Merkblatt 509 (2014) bietet eine gute fachliche Grundlage für Planung und Bau von Fischaufstiegsanlagen, die das bereits vorhandene Wissen widerspiegelt und somit ermöglicht, dass bereits in der Umsetzung befindliche Maßnahmen auf bestmöglichem Niveau zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit beitragen. Trotzdem verbleiben Unsicherheiten hinsichtlich verschiedener Aspekte der Fischaufstiegsanlagen, von denen ein großer Teil aus unvollständigem Wissen bzw. der partiellen Unkenntnis über bestimmte Prozesse resultiert.

Durch gezielte wissenschaftliche Untersuchungen arbeiten die Bundesanstalt für Gewässerkunde und die Bundesanstalt für Wasserbau wie auch andere Institutionen mit Hochdruck an diesen offenen Fragen. Durch immer bessere Methoden gibt es einen immer größeren Erkenntnisgewinn, so dass sich die fischbiologisch begründeten Unsicherheiten bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen und damit die Risiken bei der Zielerreichung kontinuierlich verringern. Dazu werden auch Erkenntnisse aus Planung und Betrieb der Pilotanlagen von BfG und BAW beitragen. Im Sinne einer zeitnahen Maßnahmenumsetzung empfiehlt sich darüber hinaus, die ökologische Durchgängigkeit zunächst an Standorten wiederherzustellen, bei denen die vorhandenen Unsicherheiten eher gering sind bzw. durch geeignete Beratungs- und Untersuchungsleistungen reduziert werden können.

## **Literatur**

- Adam, B., Lehmann, B. (2011): Ethohydraulik: Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Springer Verlag, Berlin.
- Adams, N.S., Beeman, J.W., Eiler, J.H. (editors) (2012): Telemetry techniques: a user guide for fisheries research. American Fisheries Society, Bethesda, Maryland.
- BAW/BfG (2015): Arbeitshilfe Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen (AH FAA). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Version 2.0, 26.06.2015.
- Crossin G., Hinch, S., Farrell, A., Higgs, D., Lotto, A., Oakes, J., Healey, M. (2004): Energetics and morphology of sockeye salmon: effects of upriver migratory distance and elevation. *Journal of Fish Biology*. Volume 65, S. 788-810.
- DWA (2014): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) e.V., Hennef.
- Enders E.C., Royb, M.L., Ovidioc, M., Hallotd, É.J., Boyera, C., Petitd, F., Royd, A.G. (2009): Habitat choice by atlantic salmon parr in relation to turbulence at a reach scale. *North American Journal of Fisheries Management*. Volume 29 (6), S. 1819-1830.

- Enders E.C., M. H. Gessel, J. J. Anderson, J. G. Williams (2012): Effects of Decelerating and Accelerating Flows on Juvenile Salmonid Behavior. *Transactions of the American Fisheries Society* 141 (2):357-364
- Goldenberg, S.U., Borchering, J., Heynen, M. (2014): Balancing the response to predation - the effects of shoal size, predation risk and habituation on behaviour of juvenile perch. *Behavioral Ecology and Sociobiology*. Volume 68, S. 989–998, DOI 10.1007/s00265-014-1711-1.
- Goodwin, R.A., Nestler, J.M., Anderson, J.J., Weber, L.J. Loucks, D.P. (2006): Forecasting 3-D fish movement behavior using a Eulerian-Lagrangian-agent method (ELAM). *Ecological Modelling*. Volume 192 (1-2), S. 197-223.
- Hammer, C. (1995): Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology*. Volume 112A (1), S. 1-20.
- Kemp, P. S. (2012): Bridging the gap between fish behavior, performance and hydrodynamics: An ecohydraulics approach to fish passage research. *River Research and Applications*. Volume 28, S. 403–406.
- Kinnison M., Unwin, M., Hendry, A., Quinn, T. (2001): Migratory costs and evolution of egg size and number in introduced and indigenous salmon populations. *Evolution*. Volume 55, S. 1656-1667.
- Lucas M.C., Baras, E. (2001): *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science, Oxford.
- McElroy, B., DeLonay, A., Jacobson, R. (2012): Optimum swimming pathways of fish spawning migrations in rivers. *Ecology*. Volume 93 (1), S. 29-34.
- Odling-Smee, L., Braithwaite, V. A. (2003a): The role of learning in fish orientation. *Fish and Fisheries*. Volume 4, S. 235–246.
- Odling-Smee, L., Braithwaite, V. A. (2003b): The influence of habitat stability on landmark use during spatial learning in the three-spined stickleback. *Animal Behaviour*. Volume 65 (4), S. 701-707.
- Radford, C.A., Stanley, J.A., Simpson, S.D., Jeffs, A.G. (2011): Juvenile coral reef fish use sound to locate habitats. *Coral Reefs*. Volume 30 (2), S. 295-305.
- Tolimieri N., Haine, O., Jeffs, A., McCauley, R., Montgomery, J. (2004): Directional orientation of pomacentrid larvae to ambient reef sound. *Coral Reefs*. Volume 23 (2), S. 184-191.
- Schütz, C. (2016): Ethohydraulische Untersuchungen von BfG und BAW. Tagungsband 5. BfG/BAW-Kolloquium „Schlüssel Fragen bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Fischaufstieg“, 08./09. Juni 2016, Karlsruhe.
- Schütz, C., Henning, M. (2014): Pilotanlagen – angewandte Forschung für die Qualitätssicherung von Maßnahmen. Tagungsband 4. BfG/BAW-Kolloquium „Forschung und Entwicklung zur Qualitätssicherung von Maßnahmen an Bundeswasserstraßen“, 09./10. Juli 2014, Koblenz.
- Standen, E.M., Hinch, S G., Rand, P.S. (2004): Influence of river speed on path selection by migrating adult sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. Volume 61, S. 905-912.



Weichert, R., Heneka, P., Henning, M., Mahl, L. (2016): Qualitätssicherung bei der Planung von Fischaufstiegsanlagen – Berücksichtigung von Unsicherheiten am Beispiel der Leitströmung. Tagungsband 5. BfG/BAW-Kolloquium „Schlüsselfragen bei der Umsetzung von Maßnahmen zum Fischaufstieg“, 08./09. Juni 2016, Karlsruhe.