



43. IWASA

Internationales Wasserbau-Symposium
Aachen 2013

Wasser als Energieträger

10. und 11. Januar 2013

Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der BWaStr – „Fischökologie trifft Wasserbau, Wasserbau trifft Fischökologie“

Matthias Scholten, Stefanie Wassermann, Bernd Mockenhaupt und Arne Rüter

Abstract

Re-establishing the ecological connectivity at approximately 250 barrages at Federal Waterways (BWaStr) is a new responsibility of the Federal Waterways and Shipping Administration (WSV) as a consequence of the adaption of the Water Management Act (WHG) in the year 2010. Same time it is a new challenge for engineers of the Waterways and Shipping Administration to merge (fish) ecological and hydraulic-technical constraints, and to develop effective approaches to achieve the aims of European Water Framework Directive, which takes shape within the management plans of federal states.

At the interface between fish ecology and waterway engineering, Federal Institute of Hydrology (BfG) and Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW) are consulting the WSV during the planning and realization process. Joint interdisciplinary research and development projects of both federal institutes will enable to answer the questions arising from consulting practice in a unique way.

Corresponding to the joint research concept of BfG and BAW current and planned research and development projects (F&E projects) can be separated into four research areas “Fundamentals and system knowledge”, “Traceability”, “Passability” and “Downstream migration”. Processing is done in three stages of investigation: Stage one and two summarize existing knowledge, add hydraulic and fundamental fish ecological investigations in laboratory, numerical models and method experimentation, and develop this state of knowledge further by explorative in situ investigations and studies on fish behavior. Findings from both stages continuously contribute to consulting activities. Existing approaches and results of investigations in stage one and two afterwards will be examined at selected pilot sites to assure and improve transferability of the findings.

BfG and BAW presented selected results of current projects as well as pre-studies of future projects. The research area “Fundamentals and system knowledge” contained technical pre-studies on the identification of migration corridors for native fish species in regulated conditions at Federal Waterways, the experimentation with an artificial lateral line to measure turbulent hydraulic conditions as well as the application of an automatic fish counting system.

In order to improve the current knowledge on traceability, velocity measurements within a physical model of the site Lauffen (River Neckar) were evaluated eco-hydraulically

using fish-ecological knowledge from literature to conclude recommendations on entrance configuration and quantity of dotation. Using a physical model on turbine outflow at the Technical University in Munich combined with numeric 3D modelling at BAW, the impact of hydro power design on the hydraulic conditions in the tailrace of large hydro power stations at Federal Waterways in competition with attraction flow from fishway entrance is examined.

Investigations on the traceability at the fishway by PIT – tagged fishes by BfG in Koblenz complete the research area on “traceability”. Hydraulic measurements inside selected basins of the fishway in Koblenz (180° turning basin) as input data for a numeric 3D-Modell were presented as a project example from the research area on passability of fishways. Further passability research is done by BAW in two physical models focusing on the relation of flow pattern, adjacent turbulence and several different existing design criteria for vertical slot passes, using acoustic doppler velocimetry and particle image velocimetry techniques.

Zusammenfassung

Die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an rund 250 Stauanlagen an Bundeswasserstraßen (BWaStr) ist seit Änderung des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) im Jahr 2010 eine neue Aufgabe der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) des Bundes. Gleichzeitig ist es eine neue Herausforderung für die Ingenieure der WSV die (fisch-)ökologischen Anforderungen mit den hydraulisch-technischen Randbedingungen zusammen zu führen und funktionierende Lösungsansätze zu entwickeln, um den Zielen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) konkretisiert in den Bewirtschaftungsplänen gerecht zu werden.

An dieser Schnittstelle zwischen Fischökologie und Wasserbau beraten die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) die WSV im Planungs- und Umsetzungsprozess. Durch gemeinsame interdisziplinäre Forschungs- und Entwicklungsprojekte beider Oberbehörden können offene Fragen, die sich aus dem jetzigen Stand der Technik sowie aus der Beratungspraxis ergeben, in einzigartiger Weise bearbeitet werden.

Entsprechend des gemeinsamen Forschungskonzepts der BfG und BAW lassen sich die laufenden und geplanten Forschungs- und Entwicklungsprojekte (F&E Projekte) den vier Themenbereichen „Grundlagen und Systemverständnis“, „Auffindbarkeit“ und „Passierbarkeit“ sowie „Fischabstieg“ zuordnen. Die Bearbeitung erfolgt in drei Untersuchungsstufen: Stufe eins und zwei fassen bestehendes Wissen zusammen, ergänzen es durch hydraulische und fischökologische Grundlagenuntersuchungen im Labor, numerische Modelle und Methodenerprobung, und entwickeln diesen Kenntnisstand durch explorative Untersuchungen vor Ort und Studien zum Fischverhalten fort. Erkenntnisse aus diesen beiden Stufen fließen kontinuierlich in die Beratungsaktivitäten ein. Bestehende Lösungsansätze und Ergebnisse aus den Untersuchungen aus Stufe eins und zwei

sollen anschließend in einer dritten Stufe an ausgewählten Pilotstandorten geprüft werden, um die Übertragbarkeit der Ergebnisse zu verbessern und zu sichern.

BAW und BfG stellten ausgewählte Untersuchungsergebnisse bereits laufender Projekte sowie Vorstudien zu geplanten Projekten vor. Aus dem Themenbereich „Grundlagen und Systemverständnis“ wurde über technische Vorstudien zur Identifizierung von Wanderkorridoren einheimischer Fischarten in stauregulierten BWaStr, der Erprobung einer künstlichen Seitenlinie zur Erfassung von turbulenten Strömungssituationen sowie den Anwendungsmöglichkeiten von automatischen Fischerfassungssystemen berichtet.

Für ein besseres Verständnis der Auffindbarkeit konnten mit Hilfe von Strömungsmessungen im physikalischen Modell des Standorts Lauffen (Neckar) und einer auf Literaturwerten basierenden, ethohydraulischen Bewertung der Fließgeschwindigkeiten Empfehlungen zur Einstiegsgestaltung und Dotierwassermenge erarbeitet werden. Mit einem physikalischen Modell zur Turbinenabströmung sollen an der TU München begleitet durch numerische 3D-Modellierung an der BAW die Wirkung der Kraftwerksgestaltung auf die hydraulischen Verhältnisse im UW großer Wasserkraftanlagen an Bundeswasserstraßen in Konkurrenz zur Leitströmung aus dem Fischpass näher untersucht werden.

Untersuchungen über die Wirksamkeit der Einstiege der FAA Koblenz mit Hilfe der HDX Technologie und mit Transpondern markierten Fischen durch die BfG rundeten den Forschungsbereich der Auffindbarkeit ab. Beispielhaft für den Themenbereich Passierbarkeit wurden hydraulische Untersuchungen in der FAA Koblenz (Wendebetten) zur Kalibrierung eines numerischen 3D-Modells vorgestellt. Zum Themenbereich Passierbarkeit werden in zwei physikalischen Modellen Strömungsmuster und Turbulenzcharakteristik in Abhängigkeit bestehender Bemessungskriterien für Vertikalschlitzpässe analysiert, um diese mit Hilfe von fischökologischen Erkenntnissen aus dem Forschungsbereich „Grundlagen und Systemverständnis“ zu bewerten und ggf. zu optimieren.

1 Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an BWaStr

Die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit der BWaStr, zu der die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) gemäß Wasserhaushaltsgesetz (WHG) seit dem 1. März 2010 verpflichtet ist, stellt sowohl fachlich in der Verbindung von ökologischem und wasserbaulichem Sachverstand als auch zeitlich durch die Fristsetzung gemäß der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie ein ambitioniertes Ziel dar.

Die Bundeswasserstraßen (BWAstr) werden in allen Bewirtschaftungsplänen nach WRRL als prioritäre Wanderrouen für die Fischfauna der Fließgewässer ausgewiesen und nehmen daher innerhalb der Flusseinzugsgebiete eine wichtige ökologische Funktion ein. Darüber hinaus gelten die Defizite in der ökologischen Durchgängigkeit als

wesentliche Ursache für den oft mäßigen bis schlechten ökologischen Zustand der Fließgewässer.

Im Rahmen einer Handlungskonzeption des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zur Umsetzung der Aufgabe wurden die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) beauftragt fachliche Grundlagen für eine Priorisierung der Maßnahmenumsetzung bereit zu stellen (BfG, 2010), die WSV bei der konkreten Umsetzung der Maßnahmen zu beraten und für die angemessene Qualität der Maßnahmen Sorge zu tragen. Gemäß dem Priorisierungskonzept des BMVBS (BMVBS, 2012) ist an 46 Staustufen eine Umsetzung der Maßnahmen innerhalb einer ersten und an weiteren ca. 60 Staustufen eine Umsetzung in der zweiten Zeitscheibe geplant. Derzeit beraten die Bundesanstalten die WSV bei ca. 60 Projekten zur Maßnahmenumsetzung.

Schwerpunkte der Beratung bilden u. a. die Analyse vorhandener Fischaufstiegsanlagen (FAA), die Sicherung der fischökologischen und hydraulisch-technischen Qualität bei der Planung und Umsetzung der Maßnahmen sowie die abschließende Bewertung der Funktionsfähigkeit der Anlagen (BAW/BfG, 2011).

Fischaufstiegsanlagen sind derzeit die adäquate technische Lösung, um die durch Staustufen eingeschränkte longitudinale Durchgängigkeit stromauf ohne eine signifikante Einschränkung der Nutzung durch Schifffahrt und Wasserkraft entsprechend den Zielen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu verbessern. Die fischökologischen Anforderungen an die räumliche und hydraulisch-geometrische Ausgestaltung kollidieren dabei häufig mit lokalen und wirtschaftlichen Randbedingungen. Dies gilt besonders hinsichtlich der Auffindbarkeit: kleine, ggf. mehrere Einstiege sind möglichst direkt zu finden und in der dahinter liegenden Aufstiegsanlage ist der Höhenunterschied in einer vergleichsweise kurzen Strecke zu überwinden. Im Detail werfen die aktuellen Planungsprozesse einzelner FAA offene Fragen auf, die durch die vorhandenen Leitfäden und Merkblätter für FAA nicht eindeutig zu beantworten sind, wie z. B.: Wo ist der Einstieg in eine FAA bei großen Querbauwerken idealer Weise zu platzieren? Wie reagieren Fische auf Turbulenzen? Wie viele Einstiege bzw. Fischaufstiegsanlagen sind notwendig, um z. B. den schwimmschwächeren Fischarten und Größenklassen eine aufwärtsgerichtete Wanderung zu ermöglichen und die Ziele der WRRL zu erfüllen? (vgl. Kampke & Rüter, 2012).

Im Rahmen eines gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungskonzepts erarbeiten die Bundesanstalt für Gewässerkunde und die Bundesanstalt für Wasserbau gemeinsam Lösungen, um die offenen Fragen und Wissensdefizite zumindest in wichtigen Teilaspekten zu lösen.

2 Fischökologie trifft Wasserbau

Fische führen in ihrem Lebenszyklus unterschiedliche Wanderungen durch (Luca & Barras, 2001). Mit Hilfe der Ortswechsel erreichen sie z. B. ihre Laichgebiete und Winterhabitate. Entfernungen und Richtung der Wanderungen sind artspezifisch und können unterschiedliche Gewässer (z. B. Meer und Fließgewässer) verbinden (diadrome Wanderung: z. B. Lachs, Maifisch und Aal). Potamodrome Wanderfische (z. B. Quappe, Barbe oder Nase) haben kürzere Wanderdistanzen und bewegen sich ausschließlich im Süßwasser.

Große Flüsse, die in Deutschland als Bundeswasserstrassen (BWaStr) genutzt werden, übernehmen für viele Fischarten eine wesentliche Rolle als Wanderweg. Auf Grund verschiedener anthropogener Nutzungsarten sind viele BWaStr jedoch mit Wehren, Wasserkraftanlagen und Schleusen verbaut. Hydraulisch und morphologisch veränderte Lebensräume in den BWaStr und eine stark eingeschränkte oder gar unterbundene Durchwanderbarkeit ist die Folge (Koop et al., 2012). Auf solche hydraulischen und morphologischen Änderungen treffen Fischarten, deren Lebensstrategien sich in den letzten zwei bis fünf Millionen Jahren bei einzelnen Arten (z. B. den Stören) in sogar wesentlich längeren Zeiträumen entwickelt haben. Komplexe Lebenszyklen anadromer Arten (z. B. Lachs, Neunaugen), die weite Wanderungen mit engen Zeitfenstern für Laich- und Entwicklungsphasen verbinden, werden von einer eingeschränkten Durchwanderbarkeit besonders stark betroffen. Aber auch die potamodromen Arten stellen teilweise hohe Anforderungen an die Ausgestaltung und Erreichbarkeit der Lebensräume. Dies gilt nicht nur für Laich- und Aufwuchshabitate sondern bezieht auch die rechtzeitige Erreichbarkeit von Winterhabitaten und Möglichkeiten zu Kompensationswanderungen nach Abdrift der Fischlarven und Jungfische mit ein.

Während der Wanderung orientiert sich der Fisch mit Hilfe von Sinnesorganen anhand von Umweltreizen, wie z. B. Strömungsgeschwindigkeiten, Oberflächenwellen, Turbulenzen und Fließgeräusche an Hindernissen, Gerüche einmündender Zuflüsse sowie weitere taktile oder visuelle Reize. Querbauwerke verändern die Qualität und Quantität dieser Umweltfaktoren. Wie verarbeitet der Fisch diese Sinnesreize zur Orientierungs- und Navigationshilfe? Welche sensorischen Informationen muss eine Fischaufstiegsanlage aussenden, damit sie von den Fischen während der Wanderung zur Orientierung genutzt und ohne Zeitverlust gefunden werden kann? Welche Anforderungen sind aus populationsbiologischer Sicht an die ökologische Durchgängigkeit zu stellen?

Die Beantwortung dieser Fragen setzt ein tiefes Verständnis der Biologie und Ökologie der Fische voraus. Es ist zur Untersuchung der Fragestellungen also notwendig „den Fisch zu befragen“, d. h. Fische mit ihren physiologischen Eigenschaften und ihren Lebenszyklen als Gegenstand der Untersuchung in den Vordergrund zu rücken.

Dass Fische sich räumlich orientieren können, wurde in verschiedenen Versuchen eindrucksvoll gezeigt. Sie nutzen dazu neben der Seitenlinie den optischen (Odling-Smee

& Braithwaite, 2003), akustischen (Montgomery et al., 2006) und olfaktorischen Geruchs-Sinn (McKeown, 1984). Einige Arten verfügen über einen magnetischen Kompass (Walker et al., 1997, Moore et al., 1990), der allerdings zur Navigation in offenen Gewässern besser geeignet ist, als in Flüssen.

Die Strömung gilt bei der Fischwanderung in Flüssen als funktioneller Reiz zur Orientierung. Sie ist allerdings ebenfalls ein Hindernis, dessen Überwindung Energie kostet. Verbrauchen die Tiere für die Überwindung der Strömung zu viel Energie, dann fehlt diese Energie den Tieren später bei der Fortpflanzung. Energieeffizientes Verhalten ist daher von entscheidender Bedeutung für den Fortpflanzungserfolg. Zur Optimierung des Wander- und Fortpflanzungserfolgs müssten die Tiere dementsprechend nahe genug an der Hauptströmung schwimmen, um den richtigen Weg zu finden und weit genug weg, um so wenig wie möglich Energie zu verbrauchen. Beobachtungen in Flüssen bestätigen energieeffizientes Verhalten und beschreiben Fische, die entlang der strömungsärmeren Gleithänge wandern und zum Erhalt dieser Wanderkorridors auch die Ufer wechseln (McElroy et al., 2012, Crossin, 2004).

Aus diesem aktuellen Kenntnisstand ergeben sich grundsätzliche Anforderungen der Fischökologie an den Wasserbau. So ist ein Wander- bzw. Aufstiegskorridor derart zu gestalten, dass die Fische mit möglichst geringem Zeitverzug und Energieaufwand ins Oberwasser aufstiegen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Tiere die Eingänge mit Hilfe ihrer Sinnessysteme erkennen können und ohne große zeitliche Verzögerung und mit geringem Energieaufwand passieren können. Fische sind dabei nicht als technische Größe, sondern als lebender Organismus mit einer art- und größenspezifischen Plastizität in den physiologischen und populationsbiologischen Eigenschaften und Anforderungen zu verstehen. Die Herausforderung für die Interaktion von Fischökologie und Wasserbau besteht daher dieser biologisch bedingten Variabilität eine gleichermaßen funktionsfähige wie ökonomische, wasserbauliche Lösung für den Fischauf- und Abstieg gegenüber zu stellen.

3 Wasserbau trifft Fischökologie

Bisher hatten Maßnahmen der WSV überwiegend schiffahrtliche Bedürfnisse zum Ziel, wie die WSV auch in ihrem Slogan „Wir machen Schifffahrt möglich“ zum Ausdruck bringt. Ökologische Belange waren bereits in der Vergangenheit Bestandteil dieser Aufgabe, rücken aber mit der Novellierung des WHG stärker in den Fokus. Für die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen bilden die ökologischen Anforderungen der Fische an den Flussbau das direkte Ziel der Maßnahmen, wie auch die Broschüre des BMVBS zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit an Bundeswasserstraßen „Bundeswasserstraßen – Freie Fahrt für Fische“ (BMVBS, 2011) ankündigt.

Der Fisch ist jedoch ein schwieriger „Neukunde“. Forschungsbedarf bzgl. seines art-, größen- und lebensstadienspezifischen Verhaltens auf der einen sowie Richtlinien, die nur eine eingeschränkte Übertragbarkeit auf die Verhältnisse in BWaStr erlauben bzw. in manchen bemessungsrelevanten Punkten sehr vage bleiben, auf der anderen Seite, erfordern einen intensiven Austausch von Ingenieuren und Fischökologen und begründen den nicht geringen Forschungsbedarf. Gleichzeitig unterliegen Stauanlagen an Bundeswasserstraßen vielfältigen Nutzungsinteressen, unter denen Schifffahrt, Fischerei und Wasserkraft nur einige sind. Im Spannungsfeld von ökonomischen Interessen, technischer Machbarkeit und der Kompromissfindung mit allen Beteiligten lautet die Aufgabe „Wie baut man ökonomisch effizient eine ökologische möglichst wirksame Fischaufstiegsanlage?“, wo Staulegung oder eine Rampenlösung nicht möglich ist?

Planer, Entscheider und Beratende stehen häufig vor der schwierigen Aufgabe, die Auswirkungen einer – meist durch baulich-technischen oder ökonomische Belange forcierten – Kompromisslösung auf die fischökologische, ökonomisch schwer quantifizierbare Wirksamkeit der Fischaufstiegsanlage abwägen zu müssen. Dabei sind die Anforderungen an die Funktionsfähigkeit zur Erreichung der Ziele nach Wasserrahmenrichtlinie hoch, denn nicht nur Erhaltung sondern auch Wiederansiedlung von Populationen ist anzustreben. Es ist also einem möglichst hohen Anteil aller aufstiegswilligen Lebewesen (Fische wie Makrozoobenthos!) in möglichst kurzer Zeit ohne großen Energieaufwand Auffinden und Passieren der Anlage zu ermöglichen.

Die Schnittstelle zum Wasserbau ergibt sich dabei einerseits aus der Aufgabe, die Durchgängigkeit mit flussbaulichen Maßnahmen, nämlich in Form von Wasserbauwerken herzustellen, da die Staulegung als Vorzugslösung aufgrund der Mehrfachnutzung von Stauanlagen an BWaStr nur selten in Frage kommt. Dabei sind nach derzeitigem Kenntnisstand die hydraulischen Verhältnisse vermutlich meist der dominante Impuls für das Aufwanderverhalten im Vergleich mit anderen abiotischen Faktoren. Anders als bei sonstigen Maßnahmen stehen dem Ingenieur aber nur wenig und teilweise vage Empfehlungen und Literaturquellen zur Verfügung. Interpretation und Abwägungsentscheidungen zur Kompromissfindung sind rein mit hydraulisch-technischen Fachkenntnissen nicht zielführend. Hydraulische, geometrische und bauliche Aspekte müssen mit bewertet werden, bis entsprechende verallgemeinerbare Kenngrößen abgeleitet werden können.

4 Gemeinsames Forschungskonzept von BfG und BAW

Das Ziel des gemeinsamen Forschungskonzepts von BfG und BAW besteht darin, fachliche Grundlagen für die Bewertung der Funktionsfähigkeit zu schaffen und offene Fragen aus der Beratungspraxis zu klären. Dies soll zu einer Weiterentwicklung des aktuellen Standes der Technik führen und so die Qualität von Maßnahmen zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit sichern. Aus biologischer Sicht steht dabei der Fisch bzw. die Lebensgemeinschaft der relevanten Fischarten mit ihren physiologischen

und ökologischen Eigenschaften als Untersuchungsgegenstand im Zentrum der Betrachtung. Aus wasserbaulicher Sicht sind Empfehlungen für die hydraulisch-technische Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen abzuleiten, die eine ausreichende fischökologische Auffindbarkeit und Passierbarkeit gewährleisten, sowie ggf. notwendige Maßnahmen für den Fischabstieg ermöglichen.

Zur qualifizierten Beantwortung der oben z. T. vorgestellten Wissensdefizite (Kap. 2) entwickeln die BfG und die BAW ein gemeinsames Forschungs- und Entwicklungskonzept, welches sich in die Forschungsbereiche „Grundlagen- und Systemverständnis“, „Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen“, „Passierbarkeit von Fischaufstiegsanlagen“ sowie „Fischabstieg“ gliedert und in den kommenden Jahren Lösungsansätze für die offenen Fragestellungen erarbeiten soll. Es folgt dabei in seinem Aufbau und in seiner Umsetzung zwei grundsätzlichen konzeptionellen Ansätzen:

- einem gestuften Ansatz, welcher durch eine sukzessive Intensivierung der Untersuchungen die Qualität der Ergebnisse und die Übertragbarkeit gewährleistet und verbessert;
- dem Ansatz, an Pilotstandorten die Anwendbarkeit bestehender Empfehlung und für die Verhältnisse an BWaStr. sowie eine beispielhaften Entwicklung von Lösungen bzw. Lösungsansätzen zu untersuchen.

Um dem aktuellen Grad der Erkenntnisse und den notwendigen Vorbereitungen bzw. Voruntersuchungen auf der einen und dem Bedarf nach zeitnahen Lösungen im Rahmen der Maßnahmenumsetzung auf der anderen Seite gerecht zu werden, folgt die Umsetzung des Forschungskonzepts in drei Stufen (s. Abb. 1). Während in der ersten Stufe die Analyse des aktuellen Kenntnisstands, Entwicklung und Erprobung geeigneter fischökologischer Methoden, beispielhafte hydraulische Untersuchungen und Modellierungen und die Verschneidung von Ergebnissen aus beidem im Vordergrund stehen, fokussiert die zweite Stufe auf explorativen Untersuchungen insbesondere zum Fischverhalten, sowohl im Freiland als auch im Labor. Eine experimentelle Überprüfung der Erkenntnisse und damit eine Verbesserung der Übertragbarkeit sollen in der dritten Stufe erfolgen.

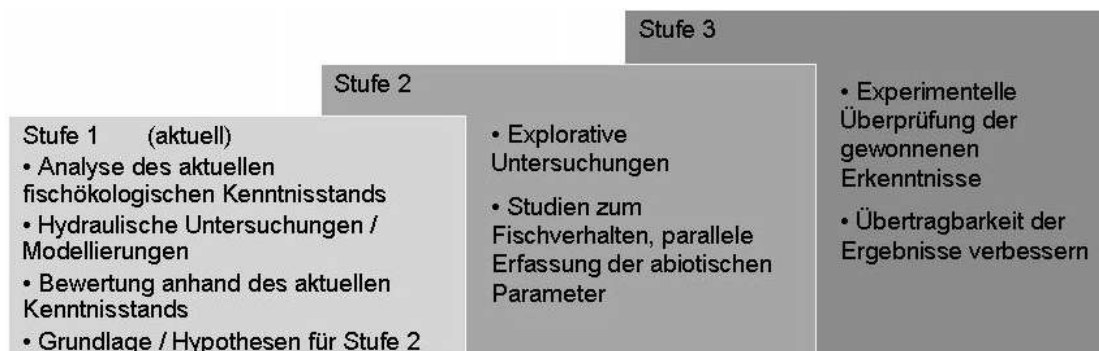


Abb. 1: Konzeptioneller Ansatz Stufenmodell im Rahmen des F&E Konzepts zur „Ökologischen Durchgängigkeit“

Für die Entwicklung und Erprobung von hydraulisch-technischen Lösungen wurde ein Set von Pilotstandorten ausgewählt, welche sich durch bestimmte fischökologische Anforderungen, die Relevanz für die dringlichsten Fragestellungen aus der Beratungspraxis und ihrer Übertragbarkeit sowie durch ihre organisatorischen Randbedingungen auszeichneten. Für die F&E Projekte sind derzeit die Stauanlagen in Koblenz und Lehmen (Mosel), Eddersheim und Wallstadt (Main), Lauffen und Kochendorf (Neckar) sowie in Dörverden und Langwedel (Weser) und Marklendorf (Aller) ausgewählt worden. Die praktische Umsetzung dieser Projekte erfolgt in enger und guter fachlicher Kooperation mit den Ländern, deren Kenntnisse über die regionale Fischfauna ein wichtiger Beitrag für erfolgreiche Projektumsetzung ist.

5 Ausgewählte Forschungsprojekte

Im Folgenden werden einige bereits angelaufene Projekte aus den Untersuchungsstufen 1 und 2 (vgl. Abb. 1) und erste Ergebnisse daraus kurz vorgestellt. Die Bearbeitung dieser Voruntersuchungen beginnt stets mit der Befragung der Fische über Literaturrecherche und/oder Laboruntersuchungen, sowie explorative Felduntersuchungen. Begleitend werden hydraulische Modelle und ethohydraulische Bewertungsansätze erstellt, und schließlich deren Prognosen in der Natur vermessen. Dieser letzte Schritt umfasst in der Regel korrespondierende fischökologische Untersuchungen mit Erfassung abiotischer Faktoren.

5.1 Themenbereich „Grundlagen und Systemverständnis“

5.1.1 Wanderkorridore einheimischer Fischarten in stauregulierten BWaStr – Identifizierung und Charakterisierung anhand von Fischbewegungsmustern und abiotischer Faktoren

Nach derzeitigem Kenntnisstand nutzen wandernde Fischarten die Strömung eines Fließgewässers zur Orientierung. Sie schwimmen gegen die Strömung gerichtet flussaufwärts. Dabei verbrauchen sie Energie. Der Energieverbrauch steigt mit der Stärke der Strömung und der Länge der Strecke, die die Fische überwinden müssen (Crossin et al., 2004). Es gibt Hinweise, dass Fische während der Wanderung Strömungsbereiche im Querschnitt eines Gewässers wählen, in dem die Strömung zur Orientierung ausreicht, aber möglichst geringe Energiekosten verursacht (McElroy et al., 2012).

Im Projekt soll untersucht werden, wie sich Wanderkorridore aufgrund hydraulischer Parameter artspezifisch abgrenzen lassen und ob weitere abiotische Faktoren isoliert werden können, die die Tiere zur Orientierung nutzen. Ist dies der Fall, könnte mit diesen Faktoren ein Wanderkorridor im Gewässer beschrieben werden. Die Kenntnis artspezifischer potentieller Wanderkorridore kann helfen Fragen zur Durchwanderbarkeit

von Stauhaltungen sowie zur Einstiegspositionierung von Fischaufstiegsanlagen zu beantworten.

5.1.2 Entwicklung eines bionischen Systems zur Erfassung turbulenter Strömungsmuster

Fische orientieren sich während ihrer Wanderung unter anderem an der Strömung (Luca & Barras, 2001). Diese nehmen sie mit Hilfe ihres Seitenlinienorgans wahr (z. B. Chagnaud et al., 2008, Engelmann et al., 2002). Das Seitenlinienorgan besteht aus Oberflächenneuromasten, die die Wasserbewegung direkt am Körper erfassen und dem Kanalsystem (Kopf- und Rumpfkanäle), das durch Wasserbewegungen ausgelöste Druckunterschiede detektiert. Herkömmliche Messungsmethoden wie z. B. Punktmessungen mit Acoustic Doppler Velocimetry (ADV), beschreiben mit Hilfe des Doppler-Effekts Strömungsgeschwindigkeiten und Strömungsrichtung. Das Prinzip der Messmethode unterscheidet sich also von dem der Fische. Es stellt sich die Frage ob technische Messungen die Strömungen und Turbulenzen in geeigneter Weise darstellen, um auf die Orientierungs- und Bewegungsmöglichkeiten von Fischen schließen zu können.

Seit einiger Zeit werden bionische Sensoren entwickelt, die auf der Funktionsweise der Fischseitenlinie basieren (Klein & Bleckmann, 2011). Diese misst in einem System aus Kanälen und Poren mit hochsensiblen Zellen feinste Druckunterschiede in hoher räumlicher Auflösung. Innerhalb des Projektes wird ein bestehendes System der künstlichen Seitenlinie (ALLC) der Universität Bonn, für die Erfassung von Strömungsmustern in Fischaufstiegsanlagen und im Unterwasser von Querbauwerken angepasst. Ziel ist es, eine methodische Grundlage zur Charakterisierung ökologisch wirksamer Wanderkorridore „aus Fischsicht“ zu bekommen.

5.1.3 Entwicklung und Erprobung automatisierter Fischerfassungssysteme zur Bewertung der fischökologischen Funktionsfähigkeit

Eine wesentliche Aufgabe im Rahmen der Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit besteht in den biologischen Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit von Fischaufstiegsanlagen. Bisher erfolgt eine biologische Funktionskontrolle anhand der Reusenbefischung, die aber Nachteile (z. B. hoher Personalaufwand, Stress für Fische) aufweist.

In diesem Projekt werden zwei neue Methoden der automatischen Fischerfassung für den Einsatz in BWaStr erprobt und weiterentwickelt.

Zum einen handelt es sich um eine berührungslose Erfassung mittels Infrarot- und Videotechnik (River Watcher Fishcounter der FA Vaki). Diese Methode wurde für klare Lachsbäche entwickelt und wird an die Gegebenheiten in BWaStr angepasst sowie ihre Funktionsfähigkeit gegenüber der Reusenbefischung getestet. Ziel ist es, die klassische Reusenbefischung ganz oder teilweise zu ersetzen.



Abb. 2: Lachsmännchen (*Salmo salar*) in der automatischen Fischzählanlage (Vaki-Counter) an der Staustufe Koblenz im Jahr 2012

Zum anderen soll eine Markierungsmethode mittels passiven Transpondern (HDX-Technologie) angewendet werden. Diese Technik ermöglicht durch eine individuelle Markierung der Fische quantitative Informationen über die Auffindbarkeit und Passierbarkeit von FAA zu erheben. Ziel des Projektes ist der Aufbau, Test und erste Anwendung der Methode am Pilotstandort Koblenz.

5.2 Themenbereich „Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen“

Für eine gute Auffindbarkeit einer Fischaufstiegsanlage ist u. a. eine erkennbare Leitströmung erforderlich. Die bestehenden Regelwerke liefern jedoch wenig konkrete Hinweise, wie eine solche Leitströmung im turbulenten, drallbehafteten Unterwasser von Kraftwerken zuverlässig erzeugt werden kann. Aufgrund der hohen Bedeutung der Leitströmung für die Auffindbarkeit der FAA einerseits, sowie der ökonomischen Relevanz der Dotationswassermenge als Energieverlust für den Kraftwerksbetreiber andererseits sind genaue Dimensionierungsempfehlungen von besonderem Interesse.

5.2.1 Identifizierung geeigneter Dotationswassermengen zur Abgrenzung geeigneter Strömungskorridore im Unterwasser

BfG und BAW untersuchen Fragen von Zugabeart und Einstiegsgestaltung im Zusammenhang mit der Dotationswassermenge mit Hilfe von physikalischer und numerischer Modellierung in Grundlagenuntersuchungen sowie an verschiedenen Pilotstandorten. Nach Anpassung der ethohydraulischen Bewertungsskala für die in Lauffen relevanten Fischarten wurden ADCP-Strömungsmessung im UW des Kraftwerks Lauffen zur Kalibrierung eines physikalischen Modells (vgl. Abb. 3, links) durchgeführt. Für verschiedene Einstiegsgestaltungen wurden bei charakteristischen Abflussbedingungen zwischen Q30 und Q330 die Strömungsbedingungen im Bereich des Wanderkorridors über

und im Nahbereich der Einstiegsrampe mit Hilfe von ADV-Punktmessungen in mehreren Tiefen und Querprofilen erfasst (Abb. 3, rechts).

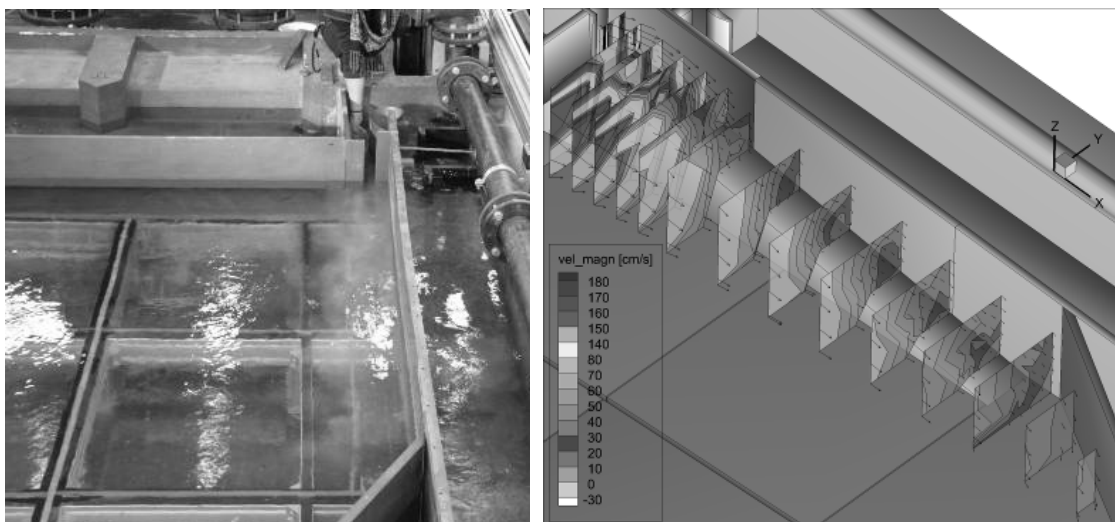


Abb. 3: Farbversuch (links) und Fließgeschwindigkeitsmessung (rechts) im physikalischen Modell, Blick von unterstrom auf den Einstiegsbereich der FAA.

Die Messergebnisse und Farbversuche zu verschiedenen Varianten wurden nach Darstellung mit Hilfe der ethohydraulischen Skala v. a. im Hinblick auf Länge, Gestalt und Lage sowie Einhaltung der Geschwindigkeitsanforderungen verglichen. Auf Basis dieser Untersuchungen wurden 5 % des Durchflusses durch die ufernahe Turbine bei Q330 als Empfehlung für die Dotationswassermenge abgeleitet (Heinzelmann et al., 2013, Weichert et al., 2013).

Ähnliche Untersuchungen zur Frage der Leitströmung im Zusammenhang mit Einstiegsgestaltung und Zugabeart wurde mit Hilfe eines mit ADCP-Strömungsmessungen kalibrierten numerischen 3D-Modells für den Standort Kochendorf durchgeführt und werden in Kürze vorliegen.

5.2.2 Untersuchung der Auswirkungen von unterschiedlichen Turbinencharakteristika und Betriebsweisen auf die Strömungsverhältnisse im UW von Stauanlagen

Die Auffindbarkeit von FAA hängt wesentlich von den Strömungsverhältnissen im Unterwasser, einer erkennbaren Leitströmung sowie geeigneter Positionierung und Gestaltung des/der Einstieg(e) ab. Bei den in Kap. 5.2.1 vorgestellten Untersuchungsmethoden ist dabei die wirklichkeitsnahe Erfassung und Abbildung bzw. das Verständnis der hochturbulenten Drallströmung im UW von Wasserkraftanlagen eine große Herausforderung.

Im Rahmen einer Kooperation mit der TU München sollen Geschwindigkeits-, Turbulenz- und Wirbelfelder stromab des Saugrohraustritts für Wasserkraftanlagen mit BWaStr-typischen baulichen und technischen Randbedingungen, sowie die Auswirkun-

gen möglicher baulicher Veränderungen im Saugrohr und im Unterwasser des Kraftwerks auf die Strömungssituation und den Kraftwerksbetrieb analysiert werden.

Für die Untersuchungen wird ein 3D-HN-Modell aufgebaut. Die physikalische und numerische Modellierung, ethohydraulische Interpretation der numerischen Ergebnisse, sowie ggf. ethohydraulische Untersuchungen im physikalischen Modell sollen klären, wie sich unterschiedliche Kraftwerkscharakteristika auf die Strömungsverhältnisse im UW auswirken, und in welcher Weise diese unterschiedlichen Strömungsverhältnisse das Fischverhalten beeinflussen.

5.3 Themenbereich „Passierbarkeit von Fischaufstiegsanlagen“

5.3.1 Analyse der Auswirkung unterschiedlicher geometrischer und hydraulischer Variationen auf die Passierbarkeit einer FAA in Schlitzpassbauweise

Fischaufstiegsanlagen (FAA) in Schlitzbauweise stellen für die Randbedingungen an BWaStr (begrenzter Raum, oft stark schwankenden UW-Spiegel) derzeit den bevorzugten Bautyp dar. Der aktuelle Stand der Technik ermöglicht deutliche Variationen in der geometrischen und hydraulischen Bemessung, deren Auswirkungen auf die Passierbarkeit der FAA ungeklärt sind. Ferner ist die Wirkung großer Fischpasslängen, oder von Sonderstrukturen wie Wendebecken, auf die Funktionsweise unklar.

Anhand von hydraulischen und ökologischen Labor- und Freilanduntersuchungen soll sowohl der Einfluss des Unterwasserstandes als auch von unterschiedlichen Beckengeometrien, Wendebecken, und der Anlagengesamtlänge auf die Passierbarkeit analysiert werden. Das Projekt wird sowohl in einem Modellfischpass als auch an ausgewählten FAA, wie der FAA Koblenz, an BWaStr durchgeführt.

Im Labor werden Strömungssignatur und Turbulenzmerkmale für mehrere geometrische Varianten eines Beckenschlitzpasses mit ADV, und für einzelne Varianten mit Particle Image Velocimetry (PIV) erfasst. In Koblenz wurden bereits ADV-Messungen der Strömungsgeschwindigkeit in den Ein- und Ausgangsschlitz des unteren Wendebeckens in zwei Tiefen in über 400 Messpunkten als Grundlage für die Kalibrierung eines 3D-HN-Modells erfasst (vgl. Abb. 3). Langfristig werden anhand der beckengenauen Erfassung des Aufstiegs von markierten Wanderfischen (HDX-Technologie) Daten zur Wandergeschwindigkeit und Passierbarkeit erfasst.

Zur fischökologischen Bewertung der Passierbarkeit wird in Naturuntersuchungen ebenfalls die passive Transponder Technik (HDX) verwendet. Zudem sollen u. a. optische Fischerfassungssysteme zum Einsatz kommen, um genaue Aussagen über die Bewegungsmuster von unterschiedlichen Fischarten in FAA treffen zu können. Ziel des Projektes ist es, anhand von Passierbarkeitsraten und Verhaltensuntersuchungen von Fischen die Passierbarkeit von Schlitzpässen in Abhängigkeit unterschiedlicher geomet-

rischer Variationen genauer zu analysieren, um die geometrisch-hydraulischen Bemessungsgrundlagen im aktuellen Stand der Technik zu verbessern.



Abb. 4. Strömungsmessungen mit ADV in Koblenz (links), HDX Antenne installiert im Eingang einer Fischaufstiegsanlage

6 Fazit und Ausblick

Die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit stellt für Biologen und Ingenieure gleichermaßen eine inter- und transdisziplinäre Herausforderung insbesondere in der Lösung offener Fragen zur Bau- und Funktionsweise von Fischaufstiegsanlagen, aber auch von Maßnahmen für den Fischabstieg dar. Dieser stellen sich die Bundesanstalt für Gewässerkunde und die Bundesanstalt für Wasserbau mit der gemeinsamen Durchführung verschiedener Forschungsprojekte in den Bereichen Grundlagen und Systemverständnis, Auffindbarkeit, Passierbarkeit und Fischabstieg.

Aus biologischer Sicht ermöglicht nur das tiefe Verständnis des Verhaltens und der Physiologie der Fische die komplexen Fragestellungen effizient zu bearbeiten. Um ein solches Verständnis zu erlangen, sind nicht nur Grundlagenuntersuchungen, sondern auch die Bereitstellung, d. h. die Entwicklung und Erprobung neuer Technologien durchzuführen. Diese Untersuchungen sowie auch die Untersuchungen an den Pilotstandorten sind meist untrennbar an die natürlichen Wanderrhythmen der Fischfauna gekoppelt, und erstrecken sich dadurch über längere Zeiträume.

Die Kenntnis der Strömungsverhältnisse und anderer abiotischer Faktoren zum Zeitpunkt der fischökologischen Beobachtungen liefert dabei eine wesentliche Grundlage für das Verständnis des Fischverhaltens. Hier stehen jedoch weitgehend bewährte Methoden zur Verfügung, die lediglich auf den fischökologischen bzw. lokalen Kontext zugeschnitten werden müssen.

Durch Verschneiden von fischökologischem Grundlagenwissen, lokalen Beobachtungen und Erfassung von hydraulischen Bedingungen und weiteren abiotischen Faktoren sollen ethohydraulische Zusammenhänge herausgearbeitet und z. B. Dimensionierungsempfehlungen weiterentwickelt werden.

Das dreistufige Vorgehenskonzept von BfG und BAW nutzt die Zeit bis zur Fertigstellung der Pilotanlagen zur Gewinnung der notwendigen fachlichen Grundlagen und Eingrenzung von Untersuchungsfragestellungen. Ergebnisse fließen kontinuierlich in die WSV-Beratung ein und sind über ihre Anwendung und Überprüfung an Pilotstandorten eng auf die Bedürfnisse der WSV abgestimmt und direkt nutzbar.

Eine Reihe von Grundlagenuntersuchungen insbesondere verschiedene Literaturstudien, Untersuchungen zu Passierbarkeit und Dotationswassermenge in physikalischen und numerischen Modellen, der Natur sowie Erprobung fischökologischer Erfassungsmethoden konnten bereits abgeschlossen werden.

Die erfolgreiche Umsetzung der Forschung von BfG und BAW soll die Qualität der Maßnahmen gewährleisten und die Kosten bei der Umsetzung und Unterhaltung z. B. von FAA so weit wie möglich reduzieren.

7 Literatur

BfG – Bundesanstalt für Gewässerkunde (2010): Herstellung der Durchgängigkeit an Staustufen von Bundeswasserstraßen. Fischökologische Einstufung der Dringlichkeit von Maßnahmen für den Fischaufstieg. BfG-1697, 125 S.

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) (2011): Arbeitshilfe – Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen. Digital zu beziehen unter: <http://www.baw.de/durchgaengigkeit> sowie <http://www.bafg.de/durchgaengigkeit>

Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012): Erhaltung und Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen Erläuterungsbericht zu Handlungskonzeption und Priorisierungskonzept des BMVBS. BMVBS 19S. plus Anhang.

Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012): Bundeswasserstraßen: Freie Fahrt auch für Fische; Broschüre für Öffentlichkeitsarbeit;

Chagnaud B. P., H. Bleckmann, M. H. Hofmann (2008): Lateral line nerve fibers do not code bulk water flow direction in turbulent flow. *Zoology*, Volume 111 (3): 204–217

Crossin, G. T., S.G. Hinch, A.P. Farrell, D.A. Higgs, A.G. Lotto, J.D. Oakes, M.C. Healey (2004): Energetics and morphology of sockeye salmon: effects of upriver migratory distance and elevation. *Journal of Fish Biology*, Vol 65 (3): 788-810

- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hrsg.): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. In: DWA-Merkblätter (2010), Nr. 509 (Entwurf)
- Engelmann J., W. Hanke, H. Bleckmann (2002): Lateral Line Reception in still- and running water. *J. Comp. Physiol. A*, 188 (7): 513-526
- Heinzelmann Ch., R. Weichert, S. Wassermann (2013): Hydraulische Untersuchungen zum Bau einer Fischaufstiegsanlage in Lauffen am Neckar; *WasserWirtschaft* 1/2: 26-32
- Kampke W., A. Rüter (2012): FuE-Konzept von BfG und BAW – Projekte zur groß- und kleinräumigen Auffindbarkeit. In: Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen – Herausforderung, Untersuchungsmethoden, Lösungsansätze BAW Tagungsband des 2. Kolloquiums zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen
- Klein A., H. Bleckmann (2011): Determination of object position, vortex shedding frequency and flow velocity using artificial lateral line canals. *Beilstein J. Nanotechnol.* Vol. 2: 276–283
- Koop J., von Landwüst C., Wieland S., Scholten M. (2012) Verbesserung und Wiederherstellung der Durchgängigkeit für Fische in Bundeswasserstraßen. *WasserWirtschaft* 5: 12-20
- Luca MC, E. Barras (2001): *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science
- McElroy B., A. DeLonay, R. Jacobson (2012): Optimum swimming pathways of fish spawning migrations in rivers. *Ecology* 93 (1): 29-34
- McKeown, B.A. (1984): *Fish Migration*, Croom Helm, London
- Montgomery, JC, A. Jeffs, SD Simpson, M. Meekan, C. Tindle (2006): Sound as an orientation cue for the pelagic larvae of reef fishes and decapod crustaceans. *Advances in Marine Biology* 51: 143-196
- Moore A., S.M. Freak, I.M. Thomas (1990): Magnetic particles in the lateral line of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 329:11-15
- Odling-Smee L., VA Braithwaite (2003): The role of learning in fish orientation. *Fish and Fisheries* 4(3): 235-246
- Walker M.M., C. E. Diebel, C. V. Haugh, P. M. Pankhurst, J. C. Montgomery, C. R. Green (1997): Structure and function of the vertebrate magnetic sense. *Nature* 390: 371-376
- Weichert R., W. Kampke, L. Deutsch, M. Scholten (2013): Zur Frage der Dotationswassermenge von Fischaufstiegsanlagen an großen Fließgewässern; *WasserWirtschaft* 1/2: 33-38

Anschrift der Verfasser

Dipl.-Biol. M. Scholten
Dipl.-Biol. A. Rüter
Dipl. Biol. B. Mockenhaupt
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Dipl.-Met. S. Wassermann
Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstr. 17
76187 Karlsruhe