



43. IWASA

Internationales Wasserbau-Symposium
Aachen 2013

Wasser als Energieträger

10. und 11. Januar 2013

Ökologischer Forschung(sbedarf) rund um die Wasserkraft

Ein kritischer Überblick aus Sicht der Energiewirtschaft

Michael Detering und Sebastian Roger

Abstract

In contrast to a strong lobby of ecology and fishery, the energy sector was hardly involved in the development of the European Water Framework Directive due to parallel unbundling and deregulation processes. The national concretization in terms of the German Federal Water Act and the resulting technical guidelines and codes of practise are based upon manifold assumptions. Nevertheless, public authorities demand the compliance with rated values, which still require an objective verification. Being aware of their joint responsibility as regards the environment, many hydropower operators consider certain measures inappropriate. As of late, a matter-of-fact dialogue becomes possible taking into account the whole picture including green power marketing, Renewable Energy Law, all stakeholders etc. Consequently, neutral and open minded research is eagerly required with respect to upstream and downstream migration measures, not only for fish but also for macrobenthos and sediments.

Zusammenfassung

Im Zuge der nationalen Implementierung im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) oder im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) wurden bei der untergesetzlichen Konkretisierung unterschiedliche Regelwerke auf Basis mannigfaltiger Annahmen erstellt. Mangels wirklicher Alternativen wird behördenseitig derzeit trotzdem die Einhaltung von Bemessungswerten gefordert, welche noch eines objektiven Nachweises bedürfen. Viele Wasserkraftbetreiber sind sich ihrer ökologischen Mitverantwortung durchaus bewusst, erachten zahlreiche auferlegte Maßnahmen dennoch für unangemessen. Erst seit kurzem findet ein sachlicher Dialog zu Fragen der auf- und abwärts gerichteten Durchgängigkeit sowohl für aquatische Organismen als auch für Sedimente statt. Es zeigte sich, dass einige bisherige grundlegende Annahmen in der Festlegung von Maßnahmen gar nicht zutreffen und stattdessen dringender Forschungsbedarf gegeben ist. Andererseits stehen heute auch neue Technologien zur Umsetzung sowie finanzielle Mittel aus dem EEG und der Grünstromvermarktung zur Verfügung.

1 Einleitung

Viele deutsche Wasserkraftbetreiber setzen an ihren Anlagen Maßnahmen zur Umsetzung der WRRL um, welche in der Regel mit Wasser- und Erzeugungsverlusten verbunden sind. Diese Mindererzeugung läuft den Bestrebungen zur Steigerung des Anteils erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung zu wider. Neben diesen Interdependenzen mit ökologischen Zielsetzungen (insbesondere Klimaschutzziele) haben obligatorische Verbesserungsmaßnahmen auch unter besonderer Berücksichtigung des EEG einzel- und gesamtwirtschaftliche Folgen.

Grundsätzlich sollten die gewässerökologischen Verbesserungsmaßnahmen auf ihre Erforderlichkeit (Existieren Maßnahmen mit gleichwertiger Wirkung und geringerem Eingriff in den Betrieb?), Geeignetheit (z. B. keine flächendeckende Umsetzung von Maßnahmen im Forschungsstadium) und Angemessenheit (Wirtschaftliche Unzumutbarkeit durch Überdimensionierungen, mögliche Bestandsgefährdung v. a. bei kleineren Anlagen) überprüft werden (Verhältnismäßigkeitsgrundsatz). Aufgrund der vielen anderen Nutzungen ist die Wasserkraft nur in Teilbereichen für nachteilige Veränderungen der Gewässer verantwortlich. Daher sollte im Sinne einer Ausgewogenheit von Klima- und Naturschutz der gesellschaftliche Nutzen der involvierten Gewässernutzungen reflektiert und im Rahmen des Bewirtschaftungsermessens zu den jeweiligen Anforderungen der Ökologie ins Verhältnis gesetzt werden.

Zu hinterfragen sind in diesem Zusammenhang insbesondere jene Anforderungen, für die es bislang noch keine technische Lösung gibt. Vor einem Stand der Technik ist grundsätzlich ein fundierter Stand der Wissenschaft per Feldmessungen an Pilotanlagen sowie mit numerischen und experimentellen Modellen zu etablieren. Der F&E-Bedarf resultiert aus dem aktuell geringen Kenntnisstand bzgl. des Verhaltens von Fischen vor einem Kraftwerk und während ihrer Auf- bzw. Abwanderung sowie zur Populationsdynamik, was sich unmittelbar auf die Wirksamkeit entsprechender Maßnahmen auswirkt.

Im Folgenden werden für verschiedene Themenfelder der Stand und die Notwendigkeit ggf. weiterer Forschung vorgestellt. Dazu gehören Fischaufstiegsanlagen, Feinrechen, Bypass-Systeme, Feststofftransport und Mindestwasserführung. Zu den genannten Aspekten werden abschließend der Stand des derzeitigen Wissens eingeschätzt und – basierend auf identifizierten Defiziten – Empfehlungen gegeben.

2 Forschungsfelder

2.1 Fischaufstiegsanlagen

Die Konstruktionstypen von Fischaufstiegsanlagen (FAA) sind vielfältig. Abb. 1 zeigt Beispiele von Beckenpässen, ohne jedoch abschließend zu sein.

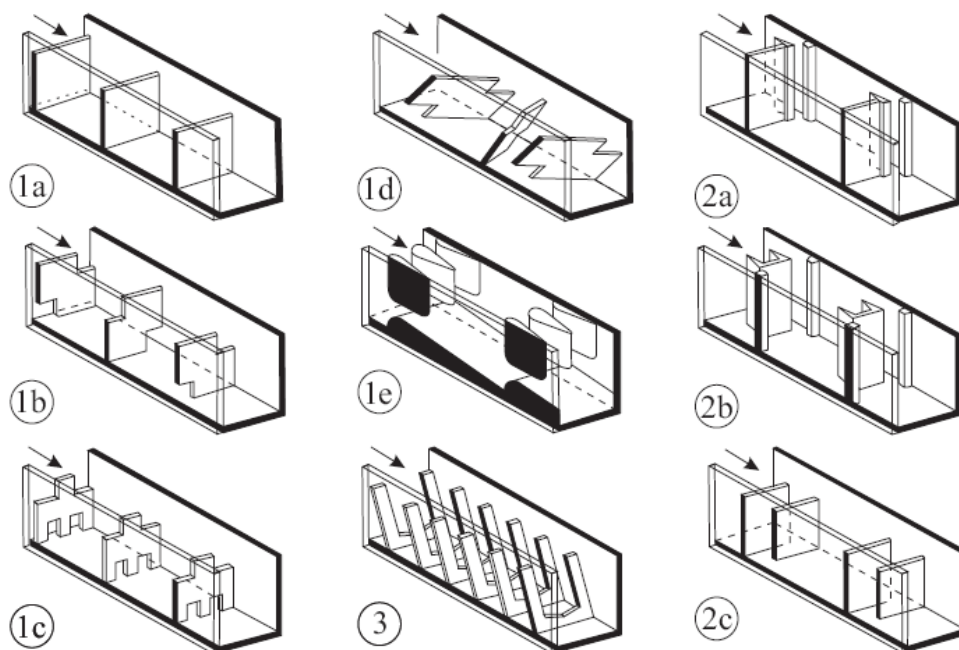


Abb. 1: Ausführungen von FAA: 1) Beckenpässe 1a) ohne 1b-c) mit Kornausschnitten und Schlupflöchern; 1d) Rhomboidpass; 1e) Wulstfischpass; 2a-c) Schlitzpässe; 3) Denil-Pass (Quelle: Gieseke, Heimerl, Mosonyi)

Die Festlegung der geometrischen Grenzwerte (Dimensionierung) erfolgt anhand der Proportionen adulter Exemplare der größten zu erwartenden Zielart. Die Mindestbeckenlänge soll gleich dreimal die Länge der längsten, die Mindestwassertiefe gleich zweieinhalbmal die Höhe der hochrückigsten und die Mindestschlitzbreite zwischen den Becken (hier: Konstruktionstyp Schlitzpass) gleich dreimal die Breite des breitesten zu erwartenden Fisches sein:

- Beckenlänge $> 3 \times L_{\text{Fisch}}$
- Fließtiefe $> 2,5 \times H_{\text{Fisch}}$
- Schlitzbreite $> 3 \times D_{\text{Fisch}}$

Die Festlegung der hydraulischen Grenzwerte (Bemessung) erfolgt auf Basis der Fließgewässerzonierung und der Artengemeinschaft. Hier sind vor allen Dingen die Höhendifferenz zwischen den Becken und die Energiedissipation innerhalb jedes Beckens entscheidend. Neben der Passierbarkeit sind die Kriterien für eine optimale Auffindbarkeit zu beachten, was vor allen Dingen die Anordnung des Einstieges und die Ausbildung einer wahrnehmbaren Leitströmung betrifft.

Die Dimensionierung wird in der Praxis mittels der o. g. pauschalen Verhältnisse angewandt, wobei die errichteten Anlagen mehr oder weniger gut funktionieren. Der Nachweis erfolgt über Aufstiegskontrollen bzw. ist laut Gelbdruck des DWA-M 509 (DWA, 2010) bei Einhaltung aller Kriterien obsolet. Je nach Leitfischart führt eine Skalierung zu gewaltigen Dimensionen, wie die FAA in Geesthacht an der Elbe beweist (Abb. 2).

Diese ist u. a. auf die Leitfischart des Atlantischen Störs mit 3 Metern Länge ausgelegt. Der geschätzte Kostenumfang 2010 betrug 20 Millionen Euro und es stellt sich die Frage, ob hier eine etwas moderatere Auslegung opportun gewesen wäre.



Abb. 2: FAA in Geesthacht an der Elbe (Bildquelle: Vattenfall)

Dimensionierungen werden keineswegs konsequent aus empirischen Erkenntnissen abgeleitet, sondern basieren vielfach auf Plausibilitätsüberlegungen, welche z. T. sogar empirischen Befunden widersprechen (z. B. Forderung einer Wassertiefe, die der 2,5-fachen Körperhöhe der relevanten Art entspricht, obwohl derselbe Fisch im angrenzenden Gewässer streckenweise auch bei einer Wassertiefe wandert, die gerade seiner Körperhöhe entspricht, vgl. Abb. 3). An Bundeswasserstraßen werden z. T. nochmals deutlich erhöhte Mindestwerte gefordert mit der Begründung, dass mit einem erheblichen Aufkommen von Schwarmfischen gerechnet werde, und dass größere Fischmengen gleichzeitig aufsteigen müssten.



Abb. 3: Fisch im Flachwasser (MKULNV NRW)

RWE beteiligt sich mit der Pilotanlage Unkelmühle an der Sieg (Abb. 6) an einem Forschungsprojekt, bei dem diverse Durchgängigkeitsmaßnahmen in Kombination mit den betrieblichen und produktionstechnischen Auswirkungen über 3 Jahre beobachtet und aufgezeichnet werden sollen.

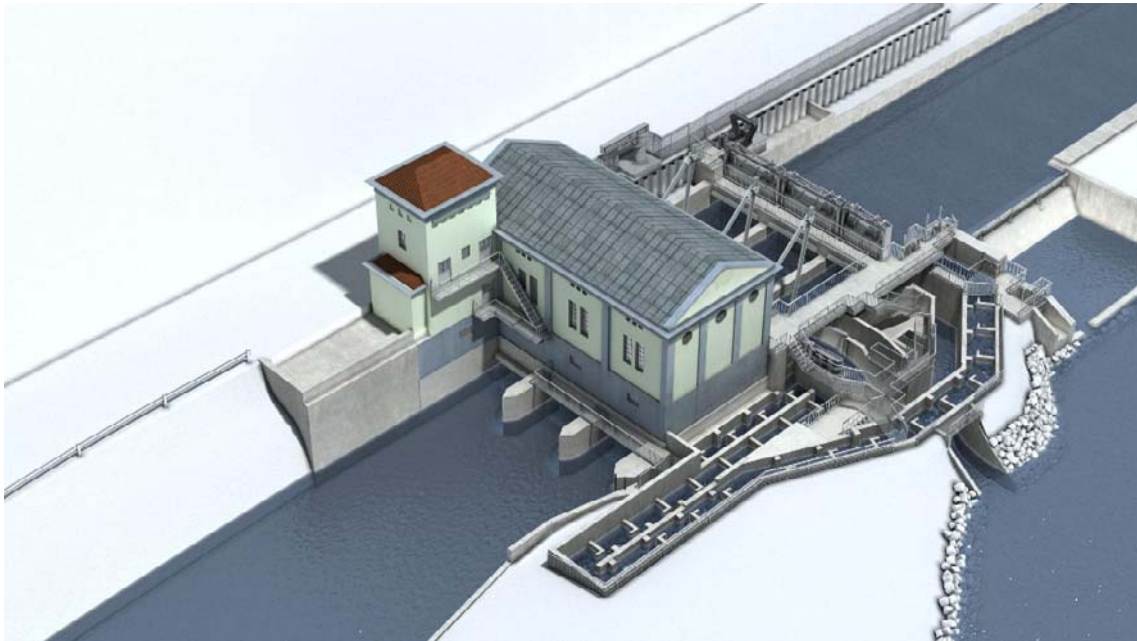


Abb. 6: Übersicht Pilotanlage Unkelmühle

Bei allen theoretischen Überlegungen dürfen in diesem Zusammenhang, die technischen Restriktionen bei Bestandsbauwerken nicht vernachlässigt werden. Dazu gehören neben den immensen Umrüstkosten vor allem statische und betriebliche Probleme, wenn sehr große geneigte Rechenflächen statisch abgefangen und auch kontinuierlich gereinigt werden müssen.

2.3 Bypass-Systeme

Bypass-Systeme gibt es (wie auch FAA) in diversen naturnahen und technischen Ausführungen (Abb. 7). Der Grundgedanke eines funktionierenden Bypass-Systems erscheint sehr vielversprechend. Die Effizienz von Bypässen im Hinblick auf Auffindbarkeit und Durchwanderbarkeit muss jedoch weiter erforscht und optimiert werden. Entsprechende Forschungsvorhaben sind bereits angelaufen bzw. in Vorbereitung.

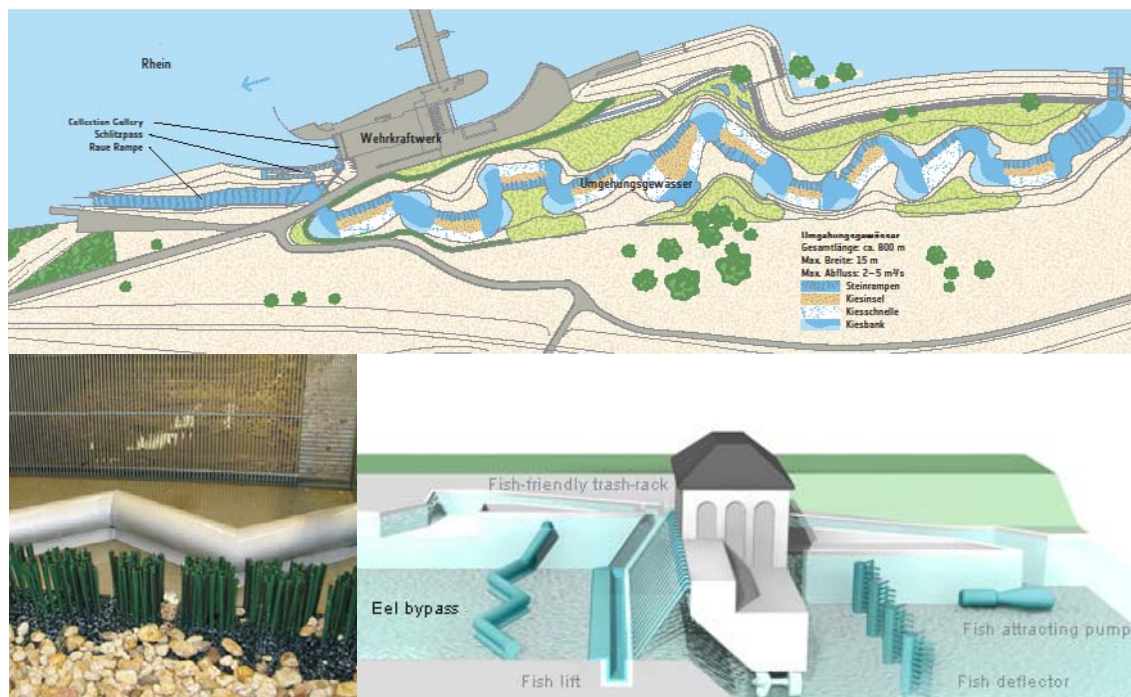


Abb. 7: Technische und naturnahe Bypass-Systeme (Quellen: RADAG, KLAWA Anlagenbau)

2.3.1 Ethohydraulische Bandbreite

Entscheidend für die Wirksamkeit und Effizienz ist das artspezifische Fischverhalten:

- rheophile/limnophile Gilden
- Positiv rheotaktisches Verhalten: ufer-, sohlen-, oberflächennah
- Verdriftung mit der Hauptströmung
- diadrome/potamodrome Wanderungen
- Schwimmgeschwindigkeiten
- Ausdauer, Sprungverhalten, Sprintvermögen
- Akkumulation, Synchronisation, Schwarmfische

Fische verhalten sich selten so, wie wir Menschen dies erwarten (Abb. 8). Der Anthropomorphismus ist durch eine fachlich fundierte etho-hydraulische Forschung zu ersetzen. In-situ-Untersuchungen können durch Störeffekte komplett überlagert werden und dadurch unbrauchbar sein. Modellversuche im Labormaßstab sind aufgrund von Skalen und Modelleffekten nicht uneingeschränkt auf Naturabmessungen und -bedingungen übertragbar. Daher sind adäquate etho-hydraulische Versuchseinrichtungen und fischfaunistisches Expertenwissen unbedingt erforderlich.



Abb. 8: Ohne Worte (Bildquelle: Vattenfall Europe)

Oft zeigen Fische Vermeidungsreaktionen vor relativ groben Rechen und auch vor Beschleunigungen, turbulenten Strukturen, Vibrationen und Geräuschen infolge des Maschinenbetriebes. Die Kombination von geschickt angeordneten Bypässen mit Leiteinrichtungen (zu denen auch Grobrechen zählen können) kann einen wertvolleren Beitrag zum Fischpopulationsschutz liefern als die komplette mechanische Barriere durch die Installation von Feinrechen. Nach aktuellen Erkenntnissen müssen Fische vielmehr einen alternativen Wanderkorridor vom Ober- ins Unterwasser angeboten bekommen und diesen auch wahrnehmen können.

2.3.2 F&E-Projekt EtWas

RWE Innogy koordiniert im Auftrag des Landes NRW die „*Untersuchungen von Fischwanderungen zur Erarbeitung eines Echtzeitwarn-systems an Wasserkraftanlagen*“ (EtWas). Unter Begleitung einer behördlichen Fach-Arbeitsgruppe (Bezirksregierungen Düsseldorf und Köln, LANUV, MKULNV) werden durch das Büro für Umweltplanung (BUGeFi), die LFV Hydroakustik GmbH, das Institut für Statistik der LMU München, ein Software-Büro (jTi-Soft) und mit Unterstützung des Ruhrverbandes Grundlagenforschungsprojekt zur Etho-Hydraulik im Oberwasser von Laufwasserkraftanlagen betrieben. Das Gesamtbudget von 420 000 € für die Laufzeit vom 01.12.2011 bis zum 31.12.2013 werden zu ca. einem Drittel durch RWE Innogy und zu ungefähr zwei Dritteln von der Bezirksregierung Düsseldorf bereitgestellt.

Die Fragestellungen innerhalb von EtWas sind vielfältig:

- Wie verhalten sich Fische artspezifisch vor Wasserkraftanlagen, an (vorhandenen) Bypass-Systemen und Rechen?
- Gibt es wiederkehrende Aktivitäts- bzw. Verhaltensmuster?
- Sind Akkumulations- oder Synchronisationseffekte zu beobachten?

Zur teilweisen Beantwortung dieser Fragen wird ein **Dual Frequency Identification Sonar (DIDSON)** oberwasserseitig zweier benachbarter WKA an der Lippe installiert

und die Fischaktivitäten vor den Turbineneinläufen und/oder den Wehrfeldern kontinuierlich aufgezeichnet (Abb. 9).



Abb. 9: Didson-Setup am Standort Hamm-Uentrop, hier parallele Datenerfassung an der WKA und am Wehr (BUGeFi, LFV Hydroakustik GmbH)

Ziel ist die automatische Detektion und Identifizierung der Fische (Abb. 10) sowie die Evaluierung der Aktivitätsdaten (auch im Zusammenhang der vorliegenden abiotischen Faktoren und standortspezifischen Umweltrandbedingungen). Für räumlich und zeitlich definierte Intervalle (Aktivitätszeiträume) sollen als Fernziel angemessene effektive (ökologisch wirksam & kosteneffizient) Maßnahmen in Echtzeit (Zeitverzug in Sekunden) abgeleitet werden. Aus den gewonnenen Daten resultiert ein Erkenntnisgewinn, was die Eignung, Güte und Anordnung von Fischableitsystemen und die Identifikation von sogenannten Triggern für Abwanderungsereignisse angeht.

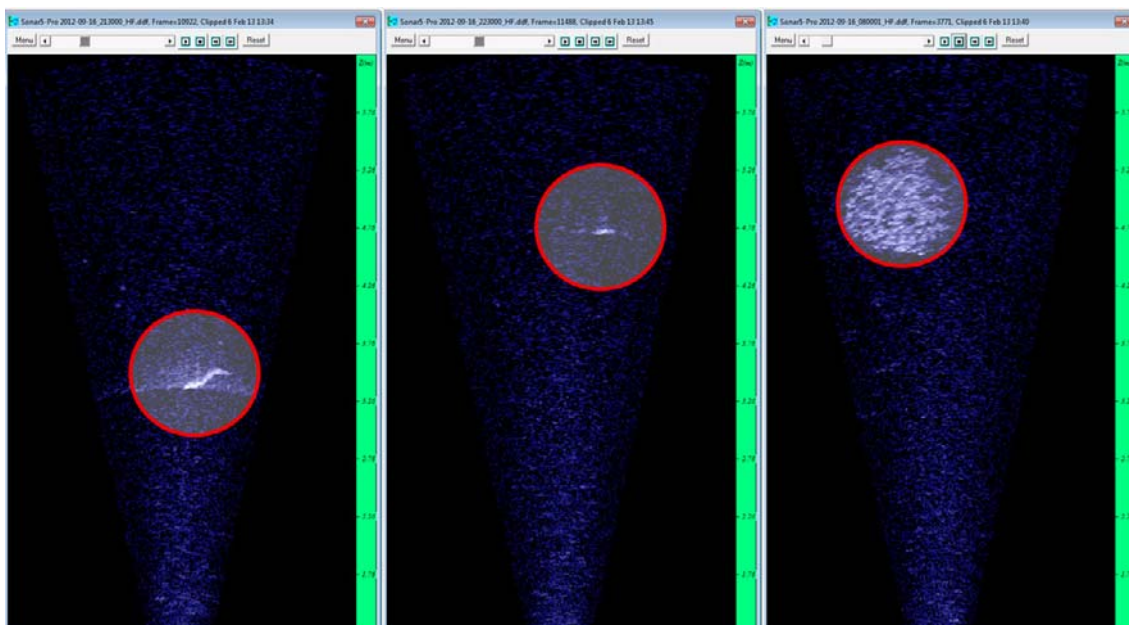


Abb. 10: Beispiele unterschiedlicher Kontakttypen anhand von Didson-Standbildern: Aal (links), kleiner Einzelfisch (Mitte) und dichter Schwarm (rechts) (BUGeFi, LFV Hydroakustik GmbH)

2.4 Feststoffe

Stauseen und Stauhaltungen verändern die Gewässermorphologie und den Feststoffhaushalt erheblich. Neben den ökologischen Folgen ist die zunehmende Verlandung von Reservoiren im Oberwasser sowie die verstärkte Ufer- und Sohlenerosion im Unterwasser auch betrieblich relevant. Die Entnahme und Entsorgung von Sedimenten kann genau wie die gezielte Zugabe von Sedimenten äußerst kostspielig sein. Auf Grund der zunehmenden Sedimentation bis hin zur Verlandung ist die Auswirkung auf viele Wasserkraftanlagen enorm. Die Weltbank geht davon aus, dass ohne Gegenmaßnahmen bis zur Mitte des Jahrhunderts etwa 20 % aller Wasserkraftanlagen auf Grund von Sedimentation der Stauräume nicht mehr betriebsfähig sein werden. Damit stellt die Sedimentation von Stauräumen die größte Bedrohung der Nachhaltigkeit von Wasserkraft dar. Umgekehrt führt der entstehende Mangel an Sediment stromabwärts von Stauanlagen zu erheblichen Erosionsproblemen im Gewässerbett.

2.4.1 Sedimenttransfer

Als umweltfreundliche und nachhaltige Lösung wurde bei RWE ein innovatives Verfahren entwickelt (Abb. 11). Hierbei wird Sediment ähnlich einem Saugbaggerverfahren beständig in kleinen Mengen aufgenommen, innerhalb des Gewässers weiter transportiert und vor den Abflussorganen wieder abgelagert.

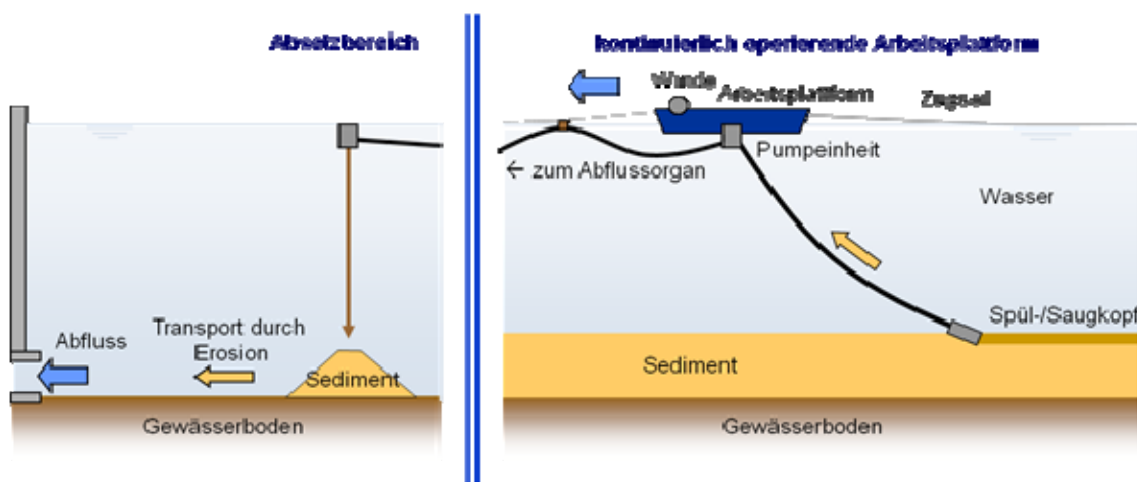


Abb. 11: Prinzip des naturnahen Sedimenttransfers (Quelle: DB Sediments)

Dort werden die gelockerten Sedimente mit dem Abfluss in naturverträglichen Dosierungen wieder ausgetragen. Dies erlaubt eine Anpassung an den Anlagenbetrieb und an das Transportvermögen des nachfolgenden Gewässers. Das Verfahren ist seit 2011 erfolgreich im Einsatz. Erste ökologische Verbesserungen (v. a. Dingen Makrozoobenthos) zeigten sich bereits nach nur 4 Wochen. Geräte für den vollautomatischen Sedimenttransfer zeigt Abb. 12. Das Verfahren ist als förderfähig nach EEG anerkannt, da es die hydromorphologischen Qualitätskriterien nach Anhang 5 der EU-WRRL als derzeit einzige Technik zum kontinuierlichen Sedimentmanagement erfüllt.



Abb. 12: Geräte zum automatischen Sedimenttransfer (Quelle: DB Sediments)

2.4.2 Geschiebe

Neben der Sedimentierungsproblematik, die in Kap. 2.4.1 vor allen Dingen auf die Ablagerung feinerer Sedimente abstellte, kann der Geschiebetransport der größeren Kornfraktionen in Form von Steinen (63–200 mm), Blöcken (200–630 mm) und großen Blöcken (ab 630 mm) zu großen Schwierigkeiten führen (Abb. 13).



Abb. 13: Verlandung eines kompletten Rechenfeldes mit grobkörnigem Material

Je nach Einzugsgebiet, Geschiebetrieb, Strömungscharakteristika und Hydrologie kann die Umrüstung von festen Wehrkörpern auf Schlauchwehre sinnvoll sein, um das Geschiebe bei Hochwasser schadlos abführen zu können.

2.4.3 Kontaminierte Altlasten

Des Weiteren existieren Forschungen, die sich der Hydrotoxikologie widmen. Die meisten Sedimente enthalten Schadstoffe nur in geogenen und damit natürlichen Konzentrationen. Stromabwärts anthropogener Einleitungen und Einträge können Sedimente je-

doch erhebliche Belastungen aufweisen. An dieser Stelle stellt sich die Frage, inwieweit die Schadstoffe im Falle von veränderten Randbedingungen remobilisiert werden können und damit eine Gefahr für aquatische Organismen darstellen.



Abb. 14: Versuche im Kreisgerinne am IWW der RWTH Aachen mit Sedimenten und Fischen

Zu dieser Thematik wird am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) in Kooperation mit dem Lehr- und Forschungsprojekt Ökosystemanalyse ein interdisziplinäres Projekt im Rahmen der Exzellenzinitiative an der RWTH bearbeitet (Cofalla et al., 2010). Abb. 14 zeigt die entsprechenden Modellversuche im Kreisgerinne des IWW.

2.5 Mindestwasserführung

Die Abgabe von Mindestwasser soll bei Ausleitungskraftwerken u. a. einen passierbaren Wanderkorridor im Mutterbett garantieren. Die teils sehr hohen Erzeugungsverluste stehen im Widerspruch zur EU-Renewables-Directive. Die Höhe eines sinnvollen Mindestwassers ist aus wissenschaftlicher Sicht noch unklar, da eine Vielzahl der Kriterien auf Annahmen basiert. Allein die enorme Anzahl unterschiedlicher Regelungen und Werte in den einzelnen Bundesländern bestätigt eindrucksvoll die Unsicherheit in dieser Thematik.

Die verschiedenen Richtlinien und Leitfäden sind in ihrer Struktur und Herangehensweise zur Ermittlung der geeigneten Mindestwassermenge sehr unterschiedlich. So liegen die Mindestwasserabflüsse bzw. die Orientierungswerte für Mindestwasserabflüsse zwischen $1/6$ MNQ und 1 MNQ. Die Anforderungsprofile der einzelnen Fischarten hingegen weichen nur gering voneinander ab. In pessimalen Stellen wird bei allen Richtlinien und Leitfäden eine Geschwindigkeit größer als $0,3$ m/s gefordert und auch die Wassertiefen (z. B. Äsche) sind in allen Richtlinien und Leitfäden sehr ähnlich. Durch Sohlen- und Uferstrukturierungen im Mutterbett kann in vielen Fällen die erforderliche Mindestwasserdotierung reduziert werden. Eine Dynamisierung der Mindestwasserführung mit saisonalen Zu- aber auch Abschlägen sollte ebenfalls möglich sein.

2.6 Sonstige Forschungsfelder

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit und ohne weitere Detaillierung werden in diesem Unterkapitel weitere Stichworte aufgezählt, auf die im Rahmen dieses Artikels nicht näher eingegangen wird.

- Belüftung/Sauerstoffhaushalt
- Bedeutung von Auengebieten (laterale Durchgängigkeit, Habitate)
- Uferbefestigung (Baustoffe, Ökotoxikologie, Habitate)
- Laich-, Nahrungs- und Rückzugshabitate (Strukturgüte, Populationsdynamik)
- Fischangepasste Turbinentechnik, -betriebsweise
- Mortalitätsfaktoren (anthropogen): Wasserkraft, Fischerei (inkl. Bewirtschaftung), Schifffahrt (Gewässerausbau, Schäden durch Schiffsschrauben v. a. bei Begegnungsfahrten), Gewässergüte
- ...

3 Fazit, Einschätzung und Empfehlungen

Auf Basis der zuvor gegebenen Ausführungen lassen sich für die Hauptaspekte der aktuellen Umsetzung der WRRL zusammengefasst folgende Einschätzungen und Empfehlungen geben:

- Dimensionierung und Bemessung von FAA
Die aktuellen Richtwerte können als Orientierungswerte genutzt werden. Vor allem in Bezug auf Bestätigung, Optimierung und ggf. Korrektur ist weitere Forschung jedoch dringend erforderlich.
- Feinrechen
Eine pauschale flächendeckende Anwendung erscheint derzeit fragwürdig, da es zurzeit widersprüchliche Ergebnisse gibt. Die Installation von Feinrechen vor allen Dingen an mittleren und großen Wasserkraftanlagen ist kein Stand der Technik sowohl was die Statik als auch den Betrieb (Verlegung, Verkrautung, Rechenreinigung) betrifft. Eine praktische Umsetzung sollte erst nach fundierter Klärung erfolgen.
- Technische Bypass-Systeme
Hier gibt es vielversprechende Ansätze und Konzeption, welche numerisch, experimentell und in situ breiter wissenschaftlich untersucht werden müssen.
- Feststofftransport
Ein naturnaher Sedimenttransfer kann sich wirtschaftlich auch für Betreiber von Stauanlagen bzw. Gewässerunterhaltungspflichtige lohnen. Das Thema wird bisweilen in der Fischerei nicht voll verstanden. Hinsichtlich starker Geschiebeführung in

Flüssen muss über angepasste Designs von Sperrbauwerken (z. B. Schlauchwehre) nachgedacht werden.

▪ Mindestwasserführung

Hier bestehen umfangreiche Wissenslücken, so dass die Werte durch begleitende Monitoring-Programme bestätigt oder angepasst werden müssen. Im Hinblick auf oft schwierige und langwierige Verfahren zur Festlegung der Mindestwassermenge in Ausleitungsstrecken sollte es möglich sein, die Mindestwassermenge in mehreren Schritten zu ermitteln. Dies wird seitens RWE Innogy an einigen Standorten ausgehend von einem Mindestwert nach dem bottom-up Prinzip in einem Stufenplan in Kooperation mit der genehmigenden Fachbehörde umgesetzt.

4 Literatur

Cofalla, C.; Brinkmann, M.; Roger, S.; Hudjetz, S.; Kammann, U.; Zhang, X.; Wiseman, S.; Giesy, J.; Hecker, M.; Wölz, J.; Hollert, H.; Schüttrumpf, H. (2011): Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbehafteter Sedimente im Kreisgerinne. In: Innovative Methoden und Ansätze in Wasserbau und Wasserwirtschaft: 40. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen (IWASA) 2010 / Hrsg.: Holger Schüttrumpf. - Aachen : Shaker, 2011. - (Mitteilungen / Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen ; 163). - ISBN: 978-3-8322-9984-2, S./Art.: 28-47

DWA (2010): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. Schriftenreihe der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA). Merkblatt 509 im Gelbdruck. Hennef: DWA. – 978-3-941897-04-5

Anschrift der Verfasser

Dr.-Ing. M. Detering
Dr.-Ing. S. Roger
RWE Innogy GmbH
Hydro Power & New Technologies
Asset Management Hydro
Gildehofstraße 1
45127 Essen