

## Bauweisen für die beruhigte und gleichmäßig verteilte Durchströmung eines spitzwinkligen Dotationsbeckens

Gerrit Fiedler M.Sc., Bundesanstalt für Wasserbau

### Einleitung

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert unter anderem auch die Erhaltung und Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit in den Fließgewässern. Für die Umsetzung der hierfür notwendigen Maßnahmen an den Bundeswasserstraßen ist die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) zuständig. Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) sind damit beauftragt, den Umsetzungsprozess zu beraten und wissenschaftlich zu unterstützen. Um den derzeitigen Wissensstand für den Bau von funktionstüchtigen Fischaufstiegsanlagen (FAA) (DWA 2014) an den Bundeswasserstraßen anwenden zu können, sind aufgrund der dort vorliegenden Umweltbedingungen und der daraus resultierenden fachlichen Ansprüche spezielle technische Lösungen notwendig. Eine wichtige Aufgabe ist hierbei, die Auffindbarkeit der Anlagen für die Fische in großen Flüssen sicherzustellen, wofür im Unterwasser des Einstiegs eine ausreichend starke Leitströmung ( $Q_{Leit}$ ) notwendig ist (z. B. Weichert et al. 2013). Da an Stauanlagen großer Fließgewässer, an denen häufig eine Wasserkraftanlage betrieben wird, der Betriebsdurchfluss einer FAA ( $Q_{FAA}$ ) für eine gute Auffindbarkeit in der Regel nicht ausreicht, muss im Einstiegsbecken der FAA zusätzliches Wasser hinzugeführt werden. Die Zugabe dieses Wassers wird Dotation ( $Q_{Dot}$ ) genannt und findet in sogenannten Dotationsbecken statt (Bild 1).

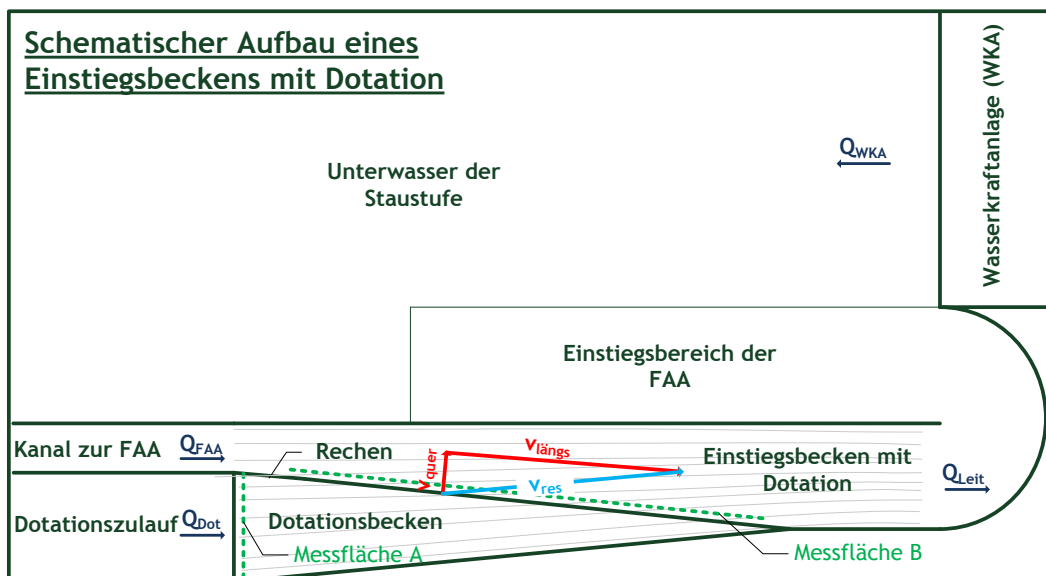


Bild 1: Schematischer Aufbau eines Einstiegsbeckens mit Dotation und spitzwinkligem Dotationsecken. Am Rechen ist die resultierende Fließgeschwindigkeit der Dotionsströmung mit den zugehörigen quer- und längs Komponenten zum Rechen dargestellt (Draufsicht)

Der vorliegende Beitrag stellt Untersuchungsergebnisse aus einem BAW - Forschungsprojekt zur Dimensionierung von Sonderbauwerken in FAA vor. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird unter anderem untersucht, wie die Dotation im Einstiegsbecken von Fischeaufstiegsanlagen technisch umgesetzt werden kann. Hierfür wurde ein Einstiegsbecken mit einem spitzwinklig angeordneten Dotationsrechen in einem gegenständlichen Modell untersucht (Bild 1). Die Bauweise des Dotationszulaufs wurde hinsichtlich einer beruhigten und gleichmäßigen Anströmung des Rechens bzw. Durchströmung des Dotationsbeckens untersucht, damit die Passierbarkeit im Einstiegsbecken sichergestellt werden kann und aufsteigende Fische durch die Dotationsströmung nicht abgelenkt oder sogar verdriftet werden.

### **Anforderungen an Einstiegs- und Dotationsbecken**

Im Allgemeinen können die Anforderungen an Einstiegsbecken (mit Dotation) und Dotationsbecken (Bild 1) in hydraulische und bautechnische Anforderungen unterteilt werden. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben, um den Stand des Wissens und offene Fragen in diesem Gebiet darzustellen.

Durch die hydraulischen Anforderungen an Einstiegs- und Dotationsbecken wird sichergestellt, dass das Dotationswasser in einer Art und Weise dem Betriebswasser der FAA zugeführt wird, dass die Passierbarkeit im Einstiegsbecken nicht eingeschränkt wird. Das DWA Merkblatt 509 (DWA 2014) fordert eine ausreichende Dimensionierung der Becken, um Grenzwerte für die Fließgeschwindigkeit und den Turbulenzgrad einzuhalten. Es nennt eine maximale Fließgeschwindigkeit von  $v_{\max} \approx 0,4$  m/s für eine gleichgerichtete Strömung durch eine mechanische Barriere, wie z. B. einen Feinrechen. Des Weiteren wird empfohlen, die Dotationszugabe in Form eines Strahls zu vermeiden, weil dadurch das Schwimmvermögen von Fischen überfordert werden könnte. Diese Informationen geben erste Hinweise für eine angestrebte Hydraulik in Einstiegsbecken mit Dotation, stellen aber keinen ausreichenden Erfahrungs- oder Wissenstand für eine einheitliche Herangehensweise dar.

Der genannte Grenzwert  $v_{\max} \approx 0,4$  m/s kann auf zwei Weisen verstanden werden. Zum einen kann er als resultierende Fließgeschwindigkeit ( $v_{\text{res}}$ ) aufgefasst werden. In DWA (2014) sind jedoch für die „mittlere Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor“ Grenzwerte angegeben, welche 1,5- bis 3,75-fach höher sind (bei Strecken zwischen 10 m und 25 m), als  $v_{\max} \approx 0,4$  m/s. Aus diesem Grund wurde angenommen, dass der angegebene Grenzwert auf die orthogonale Vektorkomponente zum Rechen ( $v_{\text{quer}}$ ) bezogen werden kann. Denn es scheint plausibel, dass bei der vorliegenden Anordnung die Querkomponente der resultierenden Geschwindigkeit den primären Ablenkungseffekt für die Fische darstellt. Auf dieser Annahme beruhend, wurde die Fläche des hier betrachteten Rechens so bemessen, dass sich  $v_{\max}$  bei gegebenen Durchfluss und orthogonaler Durchströmung als resultierende Strömungsgeschwindigkeit einstellen würde. Aufgrund der spitzwinkligen Durchströmung, stellt sich  $v_{\max}$  jedoch für die Querkomponente ein (Bild 1). Die tatsächliche resultierende Strömungsgeschwindigkeit wird im Rahmen der Grenzwerte für die „mittlere Fließgeschwindigkeit im Wanderkorridor“ eingehalten.

Die bautechnischen Anforderungen an Einstiegs- und Dotationsbecken ergeben sich in erster Linie aus den oben beschriebenen hydraulischen Anforderungen und dem zur Verfügung stehenden Platz. Da bei der nachträglichen Errichtung von FAA an Staustufen in der Regel wenig Platz zur Verfügung steht, sind kompakte Bauweisen Voraussetzung (Heimerl 2016). Das Dotationswasser wird häufig mittels einem Rohr-, Schacht- oder Kanalsystem dem Oberwasser entnommen und aufgrund der räumlichen Enge unter der eigentlichen FAA zum Einstiegs-/Dotationsbecken geführt. Hier muss das Dotationswasser aus dem unterirdischen Zulaufsystem mit einem geeigneten Beruhigungsbauwerk in das Dotationsbecken auf FAA-Sohnniveau geführt werden. Grundlegend eignen sich hierfür zwei verschiedene Strategien. Zum einen kann das Wasser aus dem Dotationszulauf mit einer geeigneten Maßnahme im Dotationsbecken beruhigt werden. Diese Möglichkeit bietet sich dann an, wenn unter der FAA wenig Platz zur Verfügung steht, im Bereich des Dotationsbeckens jedoch die Möglichkeit besteht, das Wasser zu beruhigen. Die zweite Möglichkeit ist, das Wasser mit einer günstigen Strömungsführung (z. B. mit Leitblechen) und geringer Turbulenz in das Dotationsbecken zu führen, wobei keine zusätzliche Beruhigung notwendig ist. Diese Lösung ist sinnvoll, wenn im Bereich des Dotationsbeckens aufgrund räumlicher Enge keine Beruhigungsmöglichkeit besteht oder im Zulaufsystem ein geringer Energieverlust angestrebt wird (z. B. bei Betrieb einer Dotierturbine). Sowohl für ein geeignetes Beruhigungssystem als auch für eine vorteilhafte Strömungsführung ist es notwendig, eine wartungsarme Konstruktion einzusetzen, damit eine mögliche Verklausung des Sonderbauwerks vermieden wird.

### **Gegenständliche Modellversuche an der BAW**

Im Rahmen des oben beschriebenen Forschungsprojektes wurde ein spitzwinkliges Dotationsbecken im Hinblick auf die Rechenabströmung und den Zulauf in einem gegenständlichen Modell untersucht. Das Froude-Modell bildet den Planungszustand einer Pilot-Anlage von BfG und BAW an der Staustufe Wallstadt am Main im Maßstab 1:5 ab (Heimerl 2016). Das untersuchte Einstiegsbecken mit Dotation (Bild 1) besteht aus einem etwa 1,5 m breiten Anschlusskanal durch welchen der FAA-Betriebsabfluss von etwa 0,8 m<sup>3</sup>/s fließt (alle Angaben in Naturgrößen). Dieser Kanal weitet sich über 14 m auf eine Breite von 3 m auf, während hier in Hauptströmungsrichtung bis zu 6 m<sup>3</sup>/s Dotationswasser über einen Horizontalfeinrechen hinzugegeben werden. Der spitze Winkel zwischen Rechen und Dotationsbecken beträgt ca. 10 °. Die Rechenfläche wurde nach Vorgaben der BfG so bemessen, dass die Querkomponente der Rechenströmung aufgrund von Forschungsvorhaben 0,2 m/s beträgt (vgl. Schütz 2016).

Um die Funktion eines spitzwinklig angeordneten Dotationsbeckens hinsichtlich einer gleichmäßig verteilten Durchströmung zu untersuchen, wurde der Zulauf zunächst mit einer labortechnischen Beruhigung im Dotationszulauf betrieben. Anschließend wurden Bauweisen für Dotationszuläufe in Form einer Rampe (mit und ohne wabenförmigen Gleichrichter: Wabendurchmesser 0,1 m, Tiefe 1 m) und einer Sohlstufe (mit und ohne Leitbleche nach Idelchik 2008) untersucht. Die getesteten Dotationszuläufe wurden an einen horizontalen Rohrkrümmer angeschlossen, um reale Randbedingungen zu simulieren (Bild 2). In zwei Nebenversuchen wurde der Rohrkrümmer durch eine gerade Rohreinströmung ersetzt, um den Einfluss dieser Randbedingung zu untersuchen.

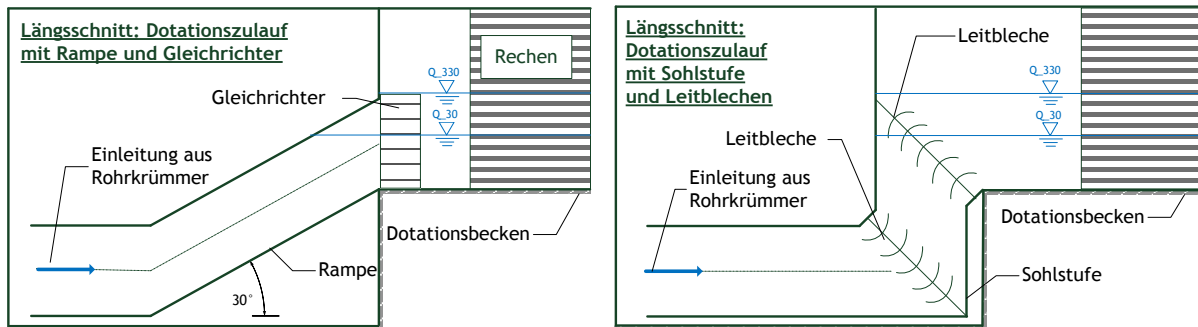


Bild 2: Skizze der untersuchten Bauweisen für Dotationszuläufe in Form einer Rampe und einer Sohlstufe (Längsschnitt)

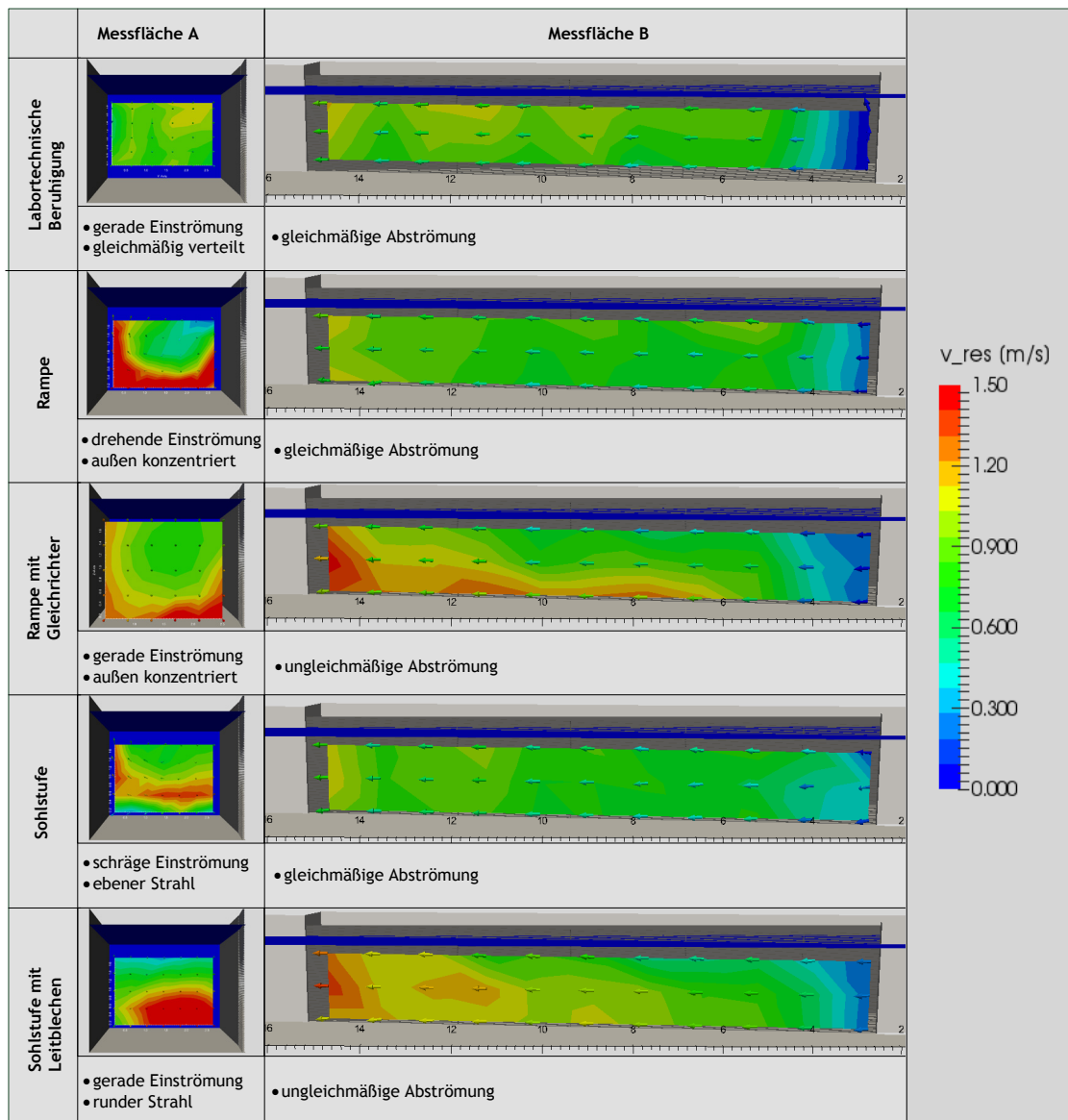
Für die Untersuchung der Strömung wurden ADV-Messungen in Messfläche A (Einströmung ins Dotationsbecken) und Messfläche B (Rechenabströmung) durchgeführt (Lage der Messflächen in Bild 1). Bei dem Versuch mit dem wabenförmigen Gleichrichter wurde Messfläche A um die Tiefe des Gleichrichters in Strömungsrichtung versetzt.

Die Messergebnisse der durchgeführten Versuche sind in Bild 3 dargestellt. Der Versuch mit der labortechnischen Beruhigung im Dotationszulauf zeigt, dass die Einströmung im Zulauf und beinahe die gesamte Rechenfläche mit etwa 1 m/s gleichmäßig durchströmt wird. Eine weitere Analyse der Rechenströmung hat gezeigt, dass der Bemessungswert von 0,2 m/s für die Querkomponenten flächendeckend eingehalten wird. Der kleine langsam strömende Teil im rechten Bereich der Rechenabströmung wird durch die Aufweitung/Einengung der Kanalquerschnitte und damit verbundenen Ablösungen hervorgerufen.

Bei Einsatz der Rampe (ohne Gleichrichter) tritt bei der Einströmung ins Dotationsbecken eine drehende Strömung mit erhöhter Strömungsgeschwindigkeit in den Außenbereichen auf. Durch Nebenversuche konnte nachgewiesen werden, dass dieses Phänomen durch die Abströmung des Rohrkrümmers in Kombination mit der Rampe hervorgerufen wird. Die Rechenabströmung zeigt trotz der ungleichmäßigen Zulaufströmung eine gleichmäßige Verteilung. Der gleiche Versuch mit Gleichrichter ist in der darunter liegenden Abbildung in Bild 3 dargestellt. Es zeigt sich, dass der Gleichrichter die zuvor drehende Strömung in eine gerade Strömung umändert. Die inhomogene Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten wird nur leicht abgeschwächt. Bei der Rechenabströmung tritt im Vergleich zu den vorherigen Versuchen eine ungleichmäßige Verteilung mit erhöhten Geschwindigkeiten an der Sohle und im linken Bereich auf. Bei dem beschriebenen Nebenversuch zeigte die Rampenbauweise eine bessere Einströmung ins Dotationsbecken, wenn der Rohrkrümmer nicht angeschlossen ist (nicht dargestellt).

Der Versuch mit der Sohlstufe (ohne Leitbleche) zeigt, dass das Wasser durch die zweifache Umlenkung in Form eines schrägen und leicht drehenden ebenen Strahls in das Dotationsbecken einströmt. Die Abströmung des Rechens ist dagegen gleichmäßig verteilt. Bei zusätzlicher Strömungsführung durch Leitbleche ist die Einströmung ins Dotationsbecken gerade, aber durch einen runden Strahl charakterisiert. Es konnte durch einen Nebenversuch gezeigt werden, dass der Strahl durch den Rohrkrümmer verursacht wird und durch die Leitbleche mitgeführt wurde. Die

Rechenabströmung ist ungleichmäßig und weist erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten im linken Bereich auf. Bei dem beschriebenen Nebenversuch zeigte die Sohlstufe mit Leitblechen eine gute gleichmäßig verteilte Einströmung, wenn der Rohrkrümmmer nicht angeschlossen ist (nicht dargestellt).



**Bild 3:** Gemittelte Strömungsgeschwindigkeiten von Messfläche A links (Blickrichtung gegen die Strömungsrichtung) und Messfläche B rechts (Hauptströmungsrichtung von rechts nach links) bei verschiedenen Zulaufbauweisen.

**Fazit**

Der Versuch mit der labortechnischen Beruhigung des Dotationszulaufes zeigt, dass das untersuchte spitzwinklige Dotationsbecken bei gerader und gleichmäßiger Einströmung ins Dotationsbecken auch eine gleichmäßige Rechenabströmung aufweist. Des Weiteren konnte festgestellt

werden, dass bei diesem Zustand die Bemessungsgeschwindigkeit für die Querkomponente von 0,2 m/s eingehalten wird.

Die Versuche mit den verschiedenen Dotationszulaufbauweisen wurden mit dem Ziel durchgeführt, möglichst kompakte Bauweisen zu finden, die eine gerade und gleichmäßige Einströmung ins Dotationsbecken sicherstellen. Bei gerader Rohreinströmung (ohne Rohrkrümmer) konnte mit einer untersuchten Bauweise, ähnlich wie unter Laborbedingungen, eine gerade und gleichmäßige Einströmung ins Dotationsbecken erreicht werden (Sohlstufe mit Leitblechen). Die dargestellten Ergebnisse und die beschriebenen Nebenversuche zeigen, dass die Abströmung des Rohrkrümmers einen deutlichen Einfluss auf die Einströmung ins Dotationsbecken hat. Tritt eine ungleichmäßige aber nicht gleichgerichtete Einströmung ins Dotationsbecken auf (Rampe ohne Gleichrichter und Sohlstufe ohne Leitbleche) wirkt sich der 3D-Effekt des Rohrkrümmers nicht auf die Rechenabströmung aus. Tritt jedoch eine ungleichmäßige aber gleichgerichtete Einströmung ins Dotationsbecken auf (Rampe mit Gleichrichter und Sohlstufe mit Leitbleche), wirkt sich dies negativ auf die Rechenabströmung aus. Dieser Effekt scheint damit zusammenzuhängen, dass die Reichweite eines Strahles verkürzt wird, wenn eine gewisse Vermischung im Wasser stattfindet.

Rückschließend bedeutet dies für die Bauweise von Dotationszulaufen, dass die Randbedingung aus dem Rohrsystem mitbetrachtet werden muss. Kann ausgeschlossen werden, dass 3D-Effekte eintreten, kann mit den untersuchten Bauweisen eine gleichmäßige Rechenabströmung und damit die Einhaltung eines Bemessungswertes erreicht werden. Ist jedoch mit 3D-Effekten aus dem Rohrsystem zu rechnen, scheint sich eine gewisse Verwirbelung und Vermischung der ungleichmäßigen Einströmung besser auszuwirken als eine gleichgerichtete ungleichmäßige Strömung. Die untersuchten Bauweisen sollten das Entstehen von Turbulenz im Dotationszulauf mittels zusätzlichen Strömungsführungen bewusst unterbinden. Da die Messergebnisse zeigen, dass Effekte aus dem Rohrsystem eine wichtige Rolle spielen, sollte in Zukunft auch untersucht werden, inwieweit kompakte Bauweisen mit gezielter Energiedissipation eine beruhigte und gleichmäßige Durchströmung von spitzwinkligen Dotationsbecken sicherstellen können.

Zudem sind weitere Erkenntnisse über das Fischverhalten im Bereich der Rechenabströmung notwendig, damit die Strömung besser bewertet werden kann. Dies betrifft beispielsweise die Frage, ob gemittelte Strömungsgeschwindigkeiten ausreichen, um eine Strömung für die Fischpassierbarkeit zu beurteilen. Zudem ist für den hier betrachteten Inhalt interessant, ob auch kleinere Rechen anwendbar sind, da der untersuchte Rechen mit einer Bemessungsgeschwindigkeit von 0,2 m/s großzügig bemessen ist. Diese Fragestellung ist unter anderem Gegenstand der momentan laufenden ethohydraulischen Versuche, welche von BfG und BAW durchgeführt werden (Schütz 2016).

## Literatur

DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2014): Merkblatt 509 Fischaufstiegsanlagen und Fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung.

- Heimerl, S. (2016): Anordnung und Gestaltung der Einstiege in Fischaufstiegsanlagen – Herausforderungen an die Planung, in: Kolloquiumsreihe der BAW und BfG „Schlüsselfragen bei der Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen“.
- Idelchik, I. E. (2008): Handbook of Hydraulic Resistance. 6. Auflage, Jaico Publishing House, Mumbai.
- Schütz, C.(2016): Ethohydraulische Untersuchungen von BfG und BAW, in: Kolloquiumsreihe der BAW und BfG „Schlüsselfragen bei der Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen“
- Weichert, R., Kampke, W., Deutsch, L., Scholten, M. (2013): Zur Frage der Dotationswassermenge von Fischaufstiegsanlagen an großen Fließgewässern. In: WasserWirtschaft 1/2, 2013, Seiten 33-38

