

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

Hagmeyer, M.; Heimerl, S.

## 3-D-Strömungssimulation von beckenartigen Fischaufstiegsanlagen – neue Wege mit bekannten Werkzeugen

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische  
Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103841>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Hagmeyer, M.; Heimerl, S. (2006): 3-D-Strömungssimulation von beckenartigen Fischaufstiegsanlagen – neue Wege mit bekannten Werkzeugen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Strömungssimulation im Wasserbau (Flow Simulation in Hydraulic Engineering). Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 421-436.

### 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.



## **3-D-Strömungssimulation von beckenartigen Fischaufstiegsanlagen – neue Wege mit bekannten Werkzeugen –**

## **3-D-Flow Simulation of Pool-Type Fishways – new ways with well-known tools –**

von Margit HAGMEYER und Stephan HEIMERL

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Fischaufstiegsanlagen werden gebaut, um die aufwärtsgerichtete Durchgängigkeit von Fließgewässern zu gewährleisten. Um beurteilen zu können, ob der Aufstieg aus hydraulischer Sicht überhaupt funktionieren kann, ist es von Vorteil, wenn man die Strömungsverhältnisse darin detailliert kennt. Beobachtungen der Anlagen und dabei insbesondere der sichtbaren Wasseroberfläche lassen lediglich erahnen, was im Becken genau vor sich geht.

Die Konstruktion und Auslegung nicht nur maschinentechnischer Anlagen wird seit mehreren Jahren durch die Anwendung der numerischen Simulation unterstützt. Vor allem die Modellierung von Fließvorgängen in Strömungsmaschinen kann bereits im Entwurfsstadium dazu beitragen, entscheidende Problemstellen zu verbessern oder zu vermeiden. Die dabei am Institut für Strömungsmechanik und Hydraulische Strömungsmaschinen (IHS) der Universität Stuttgart verwendeten Modellierungswerkzeuge wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes der EnBW Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) [5]/[6] in einer Diplomarbeit [3]/[4] für eine 3-D-Strömungssimulation vorrangig für den Becken-Schlitz-Pass (BSP) aber auch für klassische Schlitz-Pässe angewandt.

### **ABSTRACT**

Fish passage structures are built to ensure the longitudinal connectivity of rivers. For the ability to evaluate if the ladder is correctly operating in the hydraulic point of view, it is advantageous to know its flow structure. Observations of pools and in particular the visible surface merely give an idea about what is exactly happening in the pools.

For many years now not only the construction of machinery is supported by the usage of numerical simulation. Especially the modelling of flow structures in hydraulic machinery can help to improve or avoid decisive problems while developing. With the tools used at the Institute for Fluid Mechanics and Hydraulic Machinery (IHS) at the University of Stuttgart the path the water takes through the pools is resolved primarily for special developed pool-type passes but for vertical slot fishways as well in the course of an EnBW research project.

## 1 Einführung

Gerade für die Zusammenarbeit mit im Bereich der Fischaufstiegsanlagen tätigen Fachleuten, die häufig nicht über entsprechende Kenntnisse verfügen, kann die Visualisierung des numerisch simulierten Abflusses in beckenartigen Fischaufstiegsanlagen eine bedeutende Erleichterung darstellen. Durch die Simulationen können die meist nicht trivialen Strömungsmuster für jeden sichtbar gemacht werden.

Seit über 20 Jahren wird die Hydraulik in Fischaufstiegen untersucht. Bei den beckenartigen Anlagen lag das Hauptaugenmerk der Forscher auf Schlitz-Pässen, die vor allem in Nordamerika weit verbreitet sind. In Veröffentlichungen von Rajaratnam et al. (1986) [9] wurden mehrere Bauarten von Schlitz-Pässen und die Hauptströmung darin näher betrachtet. Weiterführend analysierten Wu et al. (1999) [11] und Puertas et al. (2004) [8] für spezielle Schlitz-Pässe die Geschwindigkeitsverteilung und die Oberflächengeometrie. Im Rahmen dieser Arbeiten wurden mehr oder weniger umfangreiche Geschwindigkeitsmessungen in einzelnen Becken durchgeführt. Von Nachteil ist, dass die Aufnahme der Messdaten für jeden Punkt getrennt erfolgte, weshalb nicht bekannt ist, wie die einzelnen turbulenten Geschwindigkeiten im Gesamtsystem zusammen gehören.

Seit einigen Jahren werden auch vereinzelt numerische Modelle eingesetzt, um die Strömung darzustellen. In Japan verwendeten Fujihara et al. (2002) [2] ein 2-D-Modell. In Australien wurde von Barton et al. (2003) [1] der von Wu et al. (1999) [11] untersuchte Schlitzpass offensichtlich 3-D und mit freier Oberfläche modelliert. In Frankreich wurden von Tarrade et al. (2005) [11] erste 2-D-Parameterstudien zum Schlitzpass initiiert. Die meisten veröffentlichten numerischen Berechnungen wurden jedoch nur mittels Geschwindigkeitsvektoren analog zu den herkömmlichen Laboruntersuchungen visualisiert.

## 2 Motivation

Die Ergebnisse der physikalischen oder numerischen Studien wurden meist als Ebenen mit Geschwindigkeitsvektoren präsentiert, die geringen Aufschluss über den Weg des Wassers durch das Becken geben. Für den speziell entwickelten Becken-Schlitz-Pass gab es bisher keine Messungen an einem physikalischen Modell oder eine numerische Simulation. Aufgrund der Geometrie der Einbauten im Unterschied zum Schlitz-Pass sind Untersuchungen der Hydraulik in jedem Fall von Interesse, um genau zu wissen, wie sich die Strömung ausbildet.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts der EnBW Energie Baden-Württemberg AG (EnBW) [4]/[5]/[6] wurden in einem Becken der Fischaufstiegsanlage Ras-

tatt-Niederbühl umfangreiche Geschwindigkeitsmessungen mit einem ADV durchgeführt. Die alleinige Visualisierung dieser 3-D-Messdaten gibt jedoch keinen zufrieden stellenden Aufschluss über den tatsächlichen Weg des Wassers durch die Becken der Fischaufstiegsanlage.

### **3 Grundsätzliches zur numerischen Modellierung**

Die wesentliche Aufgabe der Einbauten in Fischpässen ist es, für die aufsteigenden Fische Bereiche mit reduzierten Strömungsgeschwindigkeiten zu schaffen. Die Trennwände erzeugen dabei große Turbulenzen im Becken, durch die die Energie des Wassers abgebaut wird. Dabei bewegt sich das Wasser je nach Geometrie der Bauweise auf verschiedenen Wegen durch das Becken.

#### **3.1 Ablauf einer numerischen Modellierung**

Die gesamten Simulationen verlaufen nach einem Grundschemata: Zuerst wird eine Beckengeometrie mit einer CAD-Software (ProEngineer) erstellt, deren Geometriedaten an eine Software zur Diskretisierung (ANSYS ICEM CFD) übergeben wird. Nachdem Randbedingungen und Gittergeometriedaten erstellt sind, wird alles an den am IHS entwickelten Gleichungslöser (FENFLOSS) übergeben. Abschließend kann das Rechenergebnis mit einer Graphiksoftware (Visual3p) ausgewertet werden.

#### **3.2 Probleme bei der numerischen Modellierung**

Ein numerisches Modell korrekt an die Realität anzupassen, ist bekanntlich nicht trivial. Mehrere Schwachstellen des hier verwendeten Modells wurden erst im Laufe der Arbeit erkannt und soweit möglich beseitigt. Die Hauptprobleme stellen das starre Gitter der finiten Elemente und dabei die Überfallgeometrie sowie die Anzahl der zu berechnenden Becken und der Durchfluss dar.

Der Abfluss in offenen Gerinnen ist immer durch eine freie Oberfläche charakterisiert. Sie bildet zwischen dem Fluid Wasser und dem Fluid Luft eine Grenzschicht, an der besondere Randbedingungen herrschen. FENFLOSS ist für starre Gitter ausgelegt und wird fast ausschließlich für die Berechnung geschlossener sowie mit Wasser voll gefüllter Systeme, wie Turbinen und Saugrohre, verwendet. Dies hat zur Folge, dass die Geometrie der Fischaufstiegsanlage einem Rohr entspricht, bei der nicht nur die Wände, sondern auch die eigentlich freie Oberfläche als feste Berandung betrachtet wird. Um die freie Oberfläche nicht gänzlich zu vernachlässigen, wird der Fläche die Eigenschaft reibungsfrei zugeordnet.

Den Übergang von einer Beckenoberfläche zur nächsten bildet der Überfall. Die Ausbildung der Überfallgeometrie stellt eine besondere Herausforderung dar, da diese die Wasserführung entscheidend beeinflussen kann. Die Form des Über-

falls wurde iterativ an die Realität angenähert, da sich dieses Problem in FENFLOSS nicht abschließend lösen lässt.

Zu Beginn der Modellierungen wurde deutlich, dass die Strömung nach dem Eintritt und vor dem Austritt durch die über den Querschnitt konstanten Randbedingungen beeinflusst wird. Die angrenzenden Becken sollten daher bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Um die Becken zu bestimmen, deren Strömung von Ein- und Austritt unbeeinflusst sind, wurde eine Beckenkaskade betrachtet. Mit den Erkenntnissen wurde die minimale Anzahl der notwendigen Becken für den Becken-Schlitz-Pass sowie den Schlitz-Pass neben dem halben Anströmbecken auf vier ganze Becken festgelegt.

Bei Fischaufstiegen ist neben der maximal zulässigen Geschwindigkeit auch der Durchfluss zu beachten. Für die verschiedenen Beteiligten an der Planung eines Fischaufstiegs ist der Abfluss wichtig, entweder um den Fischaufstieg zu sichern oder aber im Sinne der für die Stromerzeugung verlorenen Wassermenge.

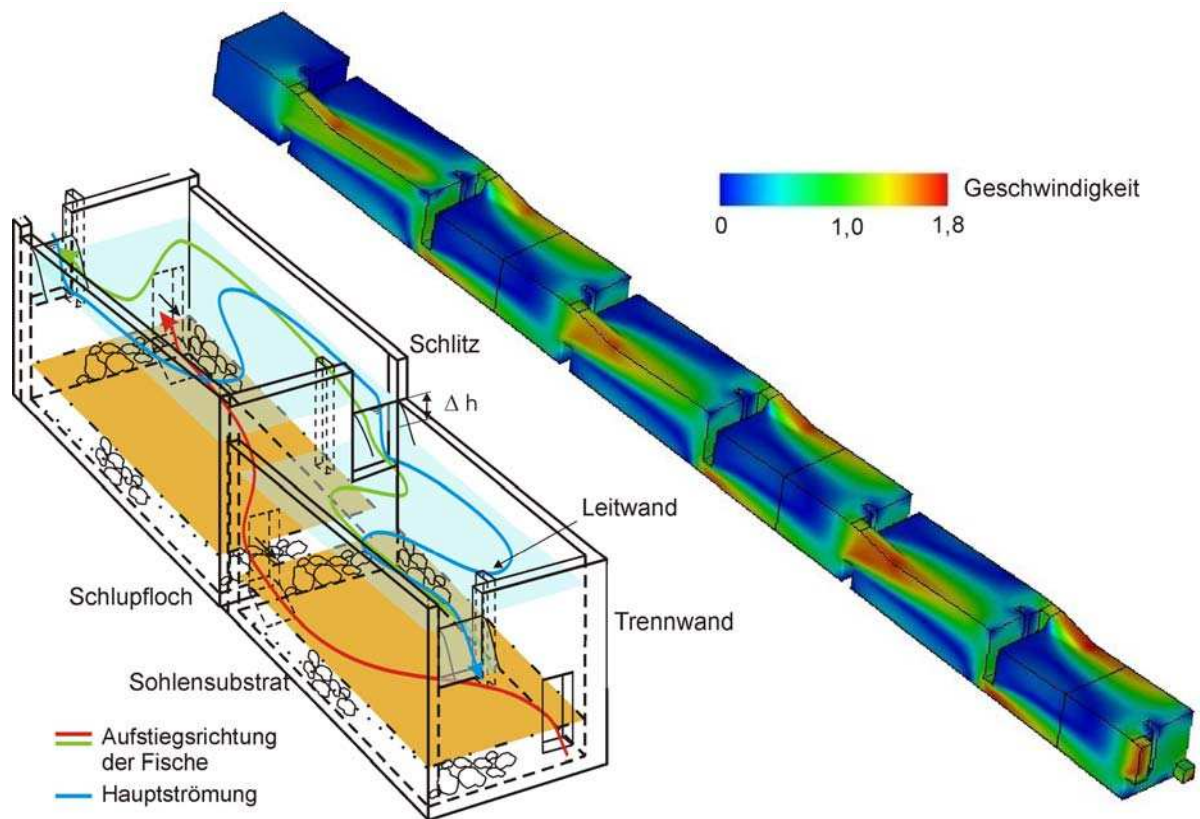
Bei den ersten Berechnungen floss mehr Wasser pro Becken hinaus als hinein. Diese Mehrwassermengen addierten sich bei der Anordnung mehrerer Becken hintereinander. Mit angepassten Parametern in FENFLOSS konnte die Abweichung deutlich reduziert werden. Die verbleibende Differenz ist auf numerische Randbedingungen am Austritt zurückzuführen, die von FENFLOSS fest vorgegeben werden.

Zunächst wurden die Rechnungen nur stationär durchgeführt, wobei zahlreiche Rechnungen abbrechen, meist durch verschiedene Ursachen, wie nicht zu lösende Turbulenz- oder Geschwindigkeitsgleichungen. Einige Rechnungen hingegen mussten daraufhin quasi-stationär berechnet werden, d. h. dass die Gleichungen für den instationären Zustand verwendet werden, jedoch nicht die dafür erforderliche Anzahl der Zeitschritte. Aber auch bei den quasi-stationären Fließvorgängen konnte das Durchflussproblem nicht abschließend gelöst werden. Für alle Berechnungen wird deshalb darauf hingewiesen, dass die Geschwindigkeitsverteilungen und deren Betrag der Realität zwar sehr nahe kommen, ein optimiertes Modell jedoch noch bessere Ergebnisse erzielen dürfte.

#### **4 Modellierung des Becken-Schlitz-Passes**

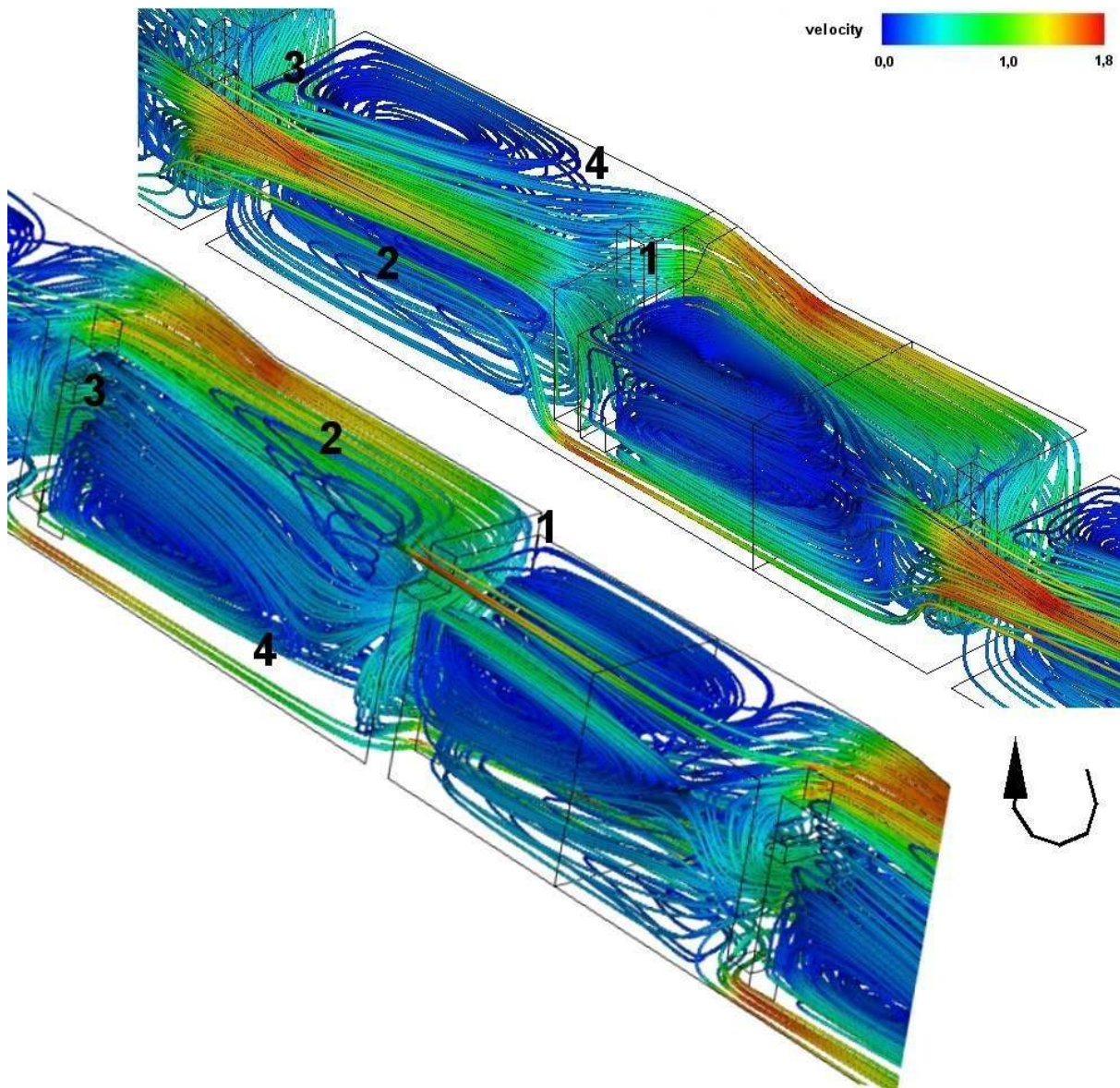
Die Becken des exemplarisch untersuchten Becken-Schlitz-Passes in Rastatt-Niederbühl nahe Karlsruhe in Südwestdeutschland haben eine Länge von 2,60 m, eine Breite von 1,20 m und bauen bei einer mittleren Wassertiefe von 0,90 m pro Becken eine Wasserspiegeldifferenz von 20 cm ab. Der Durchfluss der Anlage liegt bei 200 l/s.

Diese Bauweise stellt eine weiterentwickelte Mischform zwischen den klassischen Formen eines Becken- und eines Schlitz-Passes dar, bei der die Trennwände jeweils einen tieferen Schlitz sowie ein sohlennahes Schlupfloch enthalten [6]. Dabei sind diese Öffnungen von Trennwand zu Trennwand jeweils abwechselnd an den Außenseiten angeordnet, damit sich eine gleichmäßige Beckendurchströmung ergibt (s. Abbildung 1). Einen ersten Eindruck der Strömung erhält man aus einer Gesamtansicht der visualisierten Ergebnisse in Abbildung 1.



**Abbildung 1:** *Grundschemata des Becken-Schlitz-Passes und visualisierte Berechnungsergebnisse des Becken-Schlitz-Passes auf der Berandungsfäche*

Die beiden Hauptströme aus den Öffnungen in der Trennwand sind deutlich zu erkennen. Das erste Becken wird wegen des Einlaufeinflusses nicht in die genaueren Betrachtungen einbezogen. Der Strahl aus dem Schlitz bewegt sich hauptsächlich an der Oberfläche und der Außenwand entlang. Das Wasser aus dem Schlupfloch strömt ebenso direkt am Boden auf die Trennwand zu. Es bilden sich großflächige Rückströmwirbel unterhalb des Überfallstrahls sowie neben und über dem Schlupflochstrahl, die in den Stromliniendarstellungen besser zu erkennen sind.



**Abbildung 2:** *Stromlinien im untersuchten Becken: Ansicht von oben (oben) und gedrehte Ansicht von unten (unten)*

Anhand der Stromliniendarstellung in Abbildung 2 ist zu erkennen, dass sich das Wasser aus dem Überfallstrahl zum einen Teil direkt hin zum nächsten Schlitz und zum anderen Teil auf die Trennwand (Wand 1) zu bewegt, wo es nach unten abgelenkt wird. Ein Teil dieses umgelenkten Wassers fließt durch das Schlupfloch, ein weiterer Teil in den Wirbel unter dem Strahl und der letzte Teil geht unter der Leitwand hindurch und durch den Schlitz.

Das Wasser, das durch das Schlupfloch in das Becken strömt, geht zum einen in den Wirbel rechts davon und zum anderen direkt auf Wand 1 zu und durch den nächsten Schlitz, wie Abbildung 2 zeigt. Deutlich zu erkennen sind die Augen des Wirbels rechts und über dem Schlupflochstrahl. Dort bildet sich ein großer Wirbel mit gekrümmter Achse aus, der durch die beiden charakteristischen Hautströme aus Schlupfloch und Schlitz angeregt wird.

## 5 Variantenuntersuchung einer Fischaufstiegsanlage

Um die Funktionsweise und die Strömungsbildung des Becken-Schlitz-Passes und des Schlitz-Passes besser vergleichen und unterscheiden zu können, wurde an einer Gerinnegeometrie eine Variantenuntersuchung durchgeführt. Dafür wurde eine gesamte Anlage mit Ein- und Auslauf sowie einigen repräsentativen Problemzonen in Form von typischen Knicken im Längsverlauf nachgebildet, in die verschiedenen Trennwände eingebaut wurden. Neben der sich jeweils ergebenden Strömung soll hier die Modellierung einer gesamten Anlage und die Auswirkung der unterschiedlichen Bauweisen betrachtet werden.

Die abgebildeten Becken haben eine Länge von 2,90 m und eine Breite von 1,20 m bei einer mittleren Wassertiefe von 0,90 m. Als Becken-Schlitz-Pass benötigt die Anlage 300 l/s, als Schlitz-Pass 350 l/s.

In den jeweiligen Abbildungen werden stets eine Ansicht der Strömung an der Oberfläche und darunter ein Stromlinienbild dargestellt.

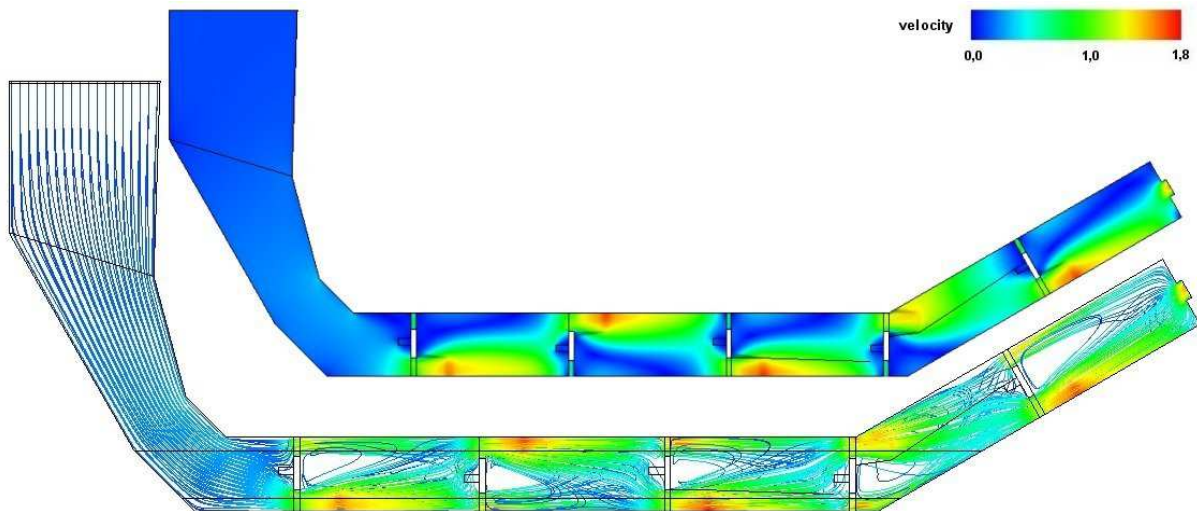
### 5.1 Modellierung als Becken-Schlitz-Pass mit erstem Überfall außen

Bei der ersten Variante als Becken-Schlitz-Pass (BSP) ist der erste Überfall außen angeordnet. Wie bei der Modellierung des BSP Rastatt-Niederbühl (Abbildung 1) sind in Abbildung 3 die beiden Hauptströmungen durch den Schlitz und das Schlupfloch gut sichtbar.

Beim BSP treten örtlich hohe Geschwindigkeiten vor allem an drei Stellen auf: durch die Umströmung an der Schlupflochoberkante und an der Schlitzunterkante sowie im Bereich des eintauchenden Überfallstrahls. Der Strömungsverlauf in den Becken stimmt insgesamt recht gut mit dem Verlauf der Stromlinien der exemplarischen Modellierung der Fischaufstiegsanlage Rastatt-Niederbühl überein. Beim Grundmuster treffen die Hauptströmungen auf die Trennwand, wo sie in die Wirbel bzw. die nächsten Öffnungen umgelenkt werden.

Bei dieser BSP-Variante ist die Strömung in Becken 4 nach dem Knick etwas unvorteilhaft. Die Strömung aus dem Schlitz vor dem Becken trifft genau auf den nächsten Schlitz, da sie nicht ausreichend umgelenkt wird. Das Wasser aus dem Schlupfloch wird durch die abknickende Wand ebenfalls in diese Richtung gelenkt. Infolge dessen entsteht nicht der typische Wirbel neben dem Schlitz und über dem Schlupfloch, sondern eine schräge, unregelmäßige Verwirbelung.

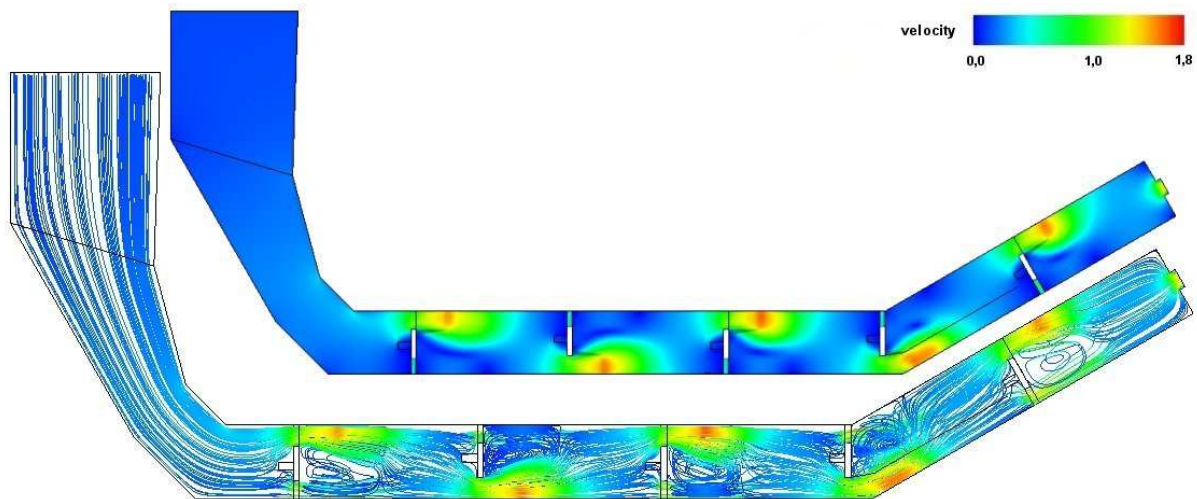




**Abbildung 3:** *Becken-Schlitz-Pass mit erstem Überfall außen liegend*

## 5.2 Modellierung als Becken-Schlitz-Pass mit erstem Überfall innen

Bei der zweiten Becken-Schlitz-Pass-Variante ist der erste Überfall innen angeordnet. In Abbildung 4 geht die Hauptströmung aus dem Schlitz mit ihren höheren Geschwindigkeiten nicht so weit an der Beckenwand entlang wie in Abbildung 3, sondern verteilt sich auf die gesamte Beckenbreite.



**Abbildung 4:** *Becken-Schlitz-Pass mit erstem Überfall innen liegend*

Auch in der Stromliniendarstellung in Abbildung 4 ist zu erkennen, dass sich das Wasser aus dem Schlitz schneller in die Beckenmitte orientiert als bei der ersten Variante in Abbildung 3. In den Stromlinienverläufen in den einzelnen Becken, vor allem der Becken 1 bis 3, ist dies im Vergleich mit den Verläufen der Variante 1 gut zu erkennen.

Interessant ist hier nun auch die Ausbildung der Strömung in Becken 4. Hier wird die Strömung aus dem Schlitz durch die abknickende Wand umgelenkt und erzeugt dadurch ein Strömungsbild, das nahezu dem der anderen Becken ent-

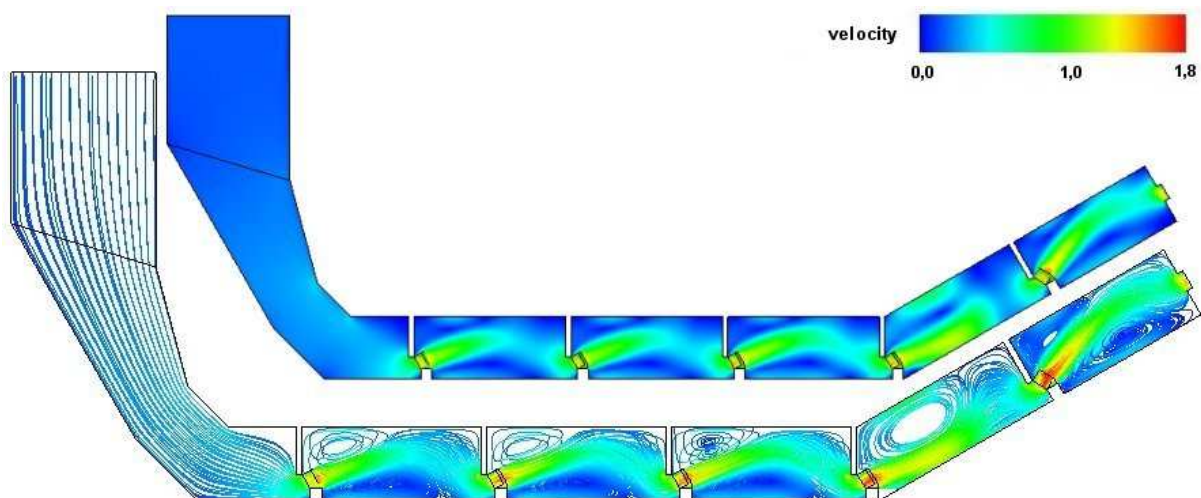
spricht. Die nicht umgelenkte Strömung aus dem Schlupfloch zielt zwar genau auf das nächste Schlupfloch, wird jedoch durch die sich ausbildenden Wirbel im Becken beeinflusst und zum nächsten Schlitz gelenkt. Der Wirbel nach der Trennwand vor dem vierten Becken ist besser ausgebildet als bei Variante 1, aber ebenfalls etwas unregelmäßig.

Bei beiden Varianten sollte weiter untersucht werden, wie eine näher am Schlitz angebrachte zusätzliche Leitwand die Strömung beeinflusst. In den berechneten Geometrien wird an der Trennwand das Wasser hauptsächlich nach unten umgelenkt. Von Interesse wäre daher, ob sich ohne oder mit einer anderen Leitwandanordnung das gleiche Strömungsbild einstellen würde.

### 5.3 Modellierung als Schlitz-Pass mit außen angeordneten Schlitzten

Die erste Variante als Schlitz-Passes (SP) wird mit außen angeordneten Schlitzten berechnet. In Abbildung 5 ist eine Schwachstelle dieser Anordnung sofort erkennbar, da in Becken 4 Strömungen auftreten, die fast direkt zum nächsten Schlitz führen, es sich also fast ein unerwünschter hydraulischer Kurzschluss einstellt.

Der Vergleich der beiden Abbildung 5 oben und unten verdeutlicht, dass bereits die Oberflächenansicht beim Schlitz-Pass eine Aussage über den Verlauf der Hauptströmung erlaubt. In der Stromliniendarstellung ist noch deutlicher zu sehen, dass sich in den ersten drei Becken eine fast identische Strömung ausbildet, die vom gekrümmten Einlauf nicht beeinflusst wird. Außerdem ist hier nun zu erkennen, dass die Länge des Beckens 4 ausreicht, um die hohe Geschwindigkeit der Strömung aus dem Schlitz zu reduzieren. Trotz der ungünstigen Voraussetzungen durch den Knick wird ein Teil des Wassers vor der nächsten Trennwand noch umgelenkt.



**Abbildung 5:** *Visualisierung des Berechnungsergebnisses für den SP mit außen liegenden Schlitzten ohne Leitwände*

#### 5.4 Modellierung als Schlitz-Pass mit innen angeordneten Schlitzen

Um die geringfügig hydraulisch kritischen Punkte bei außen liegenden Schlitzen zu vermeiden, werden die Schlitze zusätzlich auf der Innenseite angeordnet. Zu erwarten ist nun, dass sich die Strömung gut ins Becken hinein orientiert und keine hydraulischen Kurzschlüsse entstehen.

An der Farbverteilung und den Stromlinien in Abbildung 6 ist ersichtlich, dass diese Anordnung der Schlitze an der Innenwand eine gleiche, regelmäßige Strömung in fast allen Becken erzeugt. Das hydraulische Problem in Becken 4 tritt bei dieser Variante nicht auf, auch wenn das Wasser aus dem Schlitz auf die gegenüberliegende Wand prallt. Aus diesem Grund ist diese Variante derjenigen mit außen liegenden Schlitzen vorzuziehen.

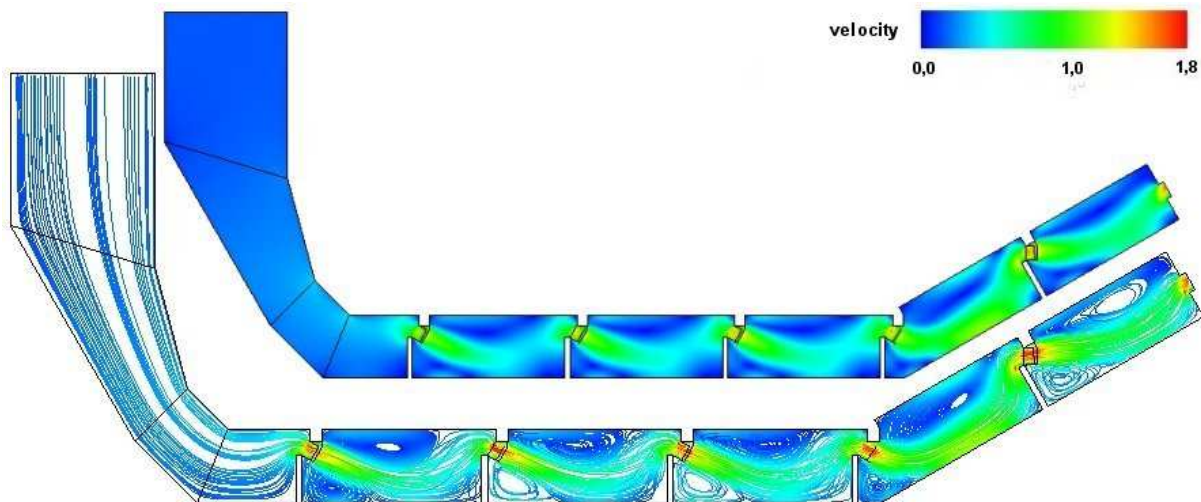
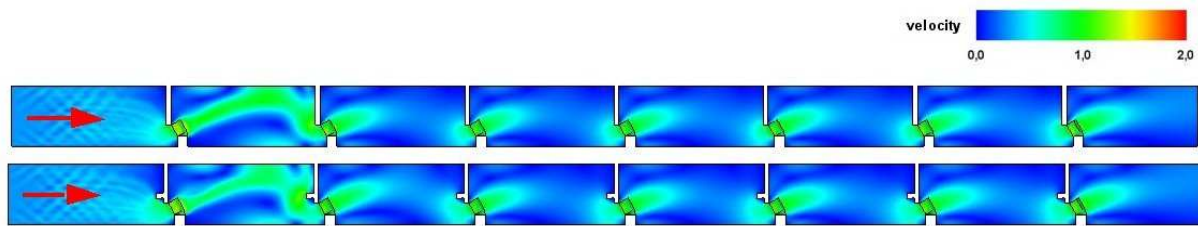


Abbildung 6: *Visualisierung des Berechnungsergebnisses für den SP mit innen liegenden Schlitzen*

### 6 Untersuchung des Einflusses von Leitwänden bei Schlitz-Pässen anhand einer geraden Gerinnegeometrie

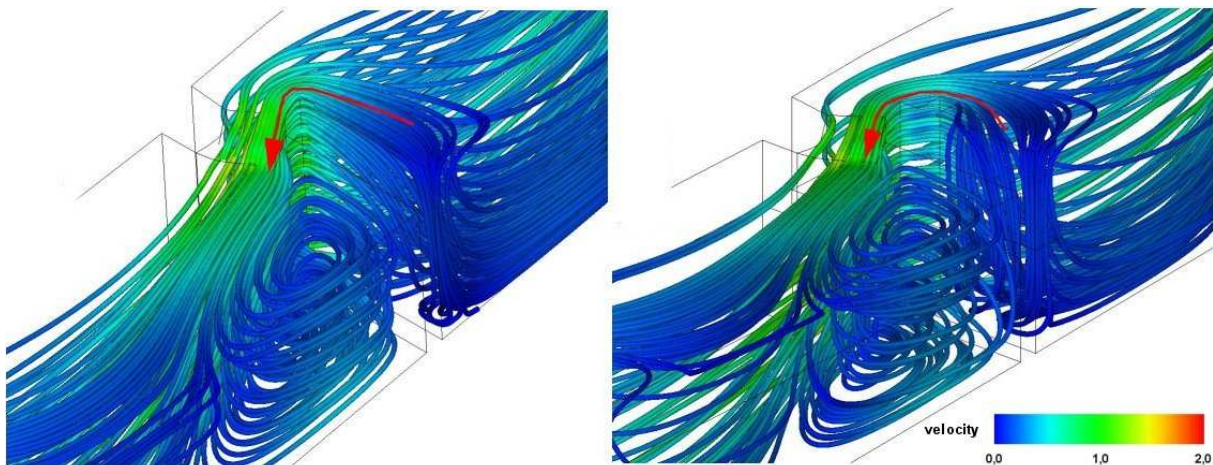
Um die Strömung in den einzelnen Becken und insbesondere bei der Schlitzdurchströmung positiv zu beeinflussen, werden vor allem beim SP häufig Leitwände eingebaut. Mit Untersuchungen an einer geraden Gerinnegeometrie mit und ohne Leitwände soll deren Einfluss verdeutlicht werden.

Die Geometrie des Gerinnes und der Trennwände entspricht derjenigen, die in den Becken 2 und 3 in der Variantenuntersuchung verwendet wurde. In Abbildung 7 ist wieder gut zu erkennen, dass das erste Becken durch den Einlauf und das letzte Becken durch den Auslauf beeinflusst wird, sich aber im Rest der Kaskade ein identisches Strömungsmuster einstellt – unabhängig von den Leitwänden.



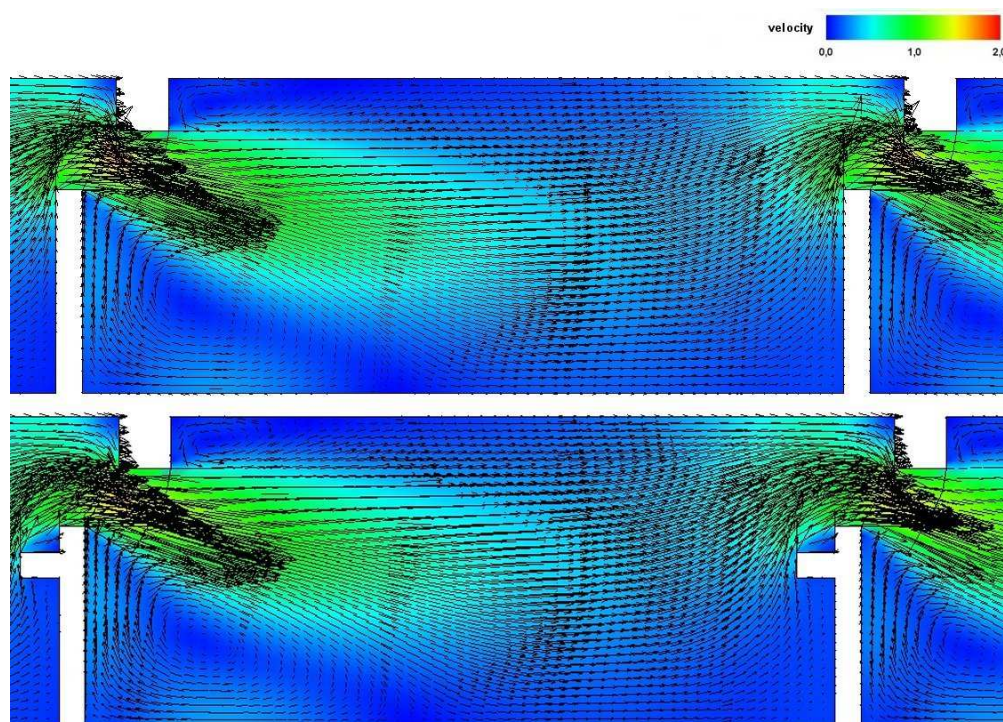
**Abbildung 7:** *Gerades Schlitz-Pass-Modell: oben: ohne Leitwände; unten: mit Leitwänden*

Zur Verdeutlichung sind in Abbildung 8 Stromliniendarstellungen der beiden Fälle wiedergegeben. Ohne Leitwand (Abbildung 8 li.) beschreiben die Stromlinien eine enge Kurve, fast einen Knick. Der eigentliche Überfallstrahl wird dabei offensichtlich vom querströmenden Wasser nachteilig beeinflusst. Mit Leitwand (Abbildung 8 re.) hingegen fließt das Wasser gleichmäßig in einem ausgeprägten „weichen“ Bogen in den Schlitz und durch diesen hindurch.



**Abbildung 8:** *Stromlinien am Schlitz li.: ohne Leitwand und re.: mit Leitwand*

Um noch besser erkennen zu können, was im Bereich der Trennwand und bei der Umströmung der Leitwand passiert, werden in einer horizontalen Ebene Strömungsvektoren eingeblendet. Wie in Abbildung 9 (oben) deutlich erkennbar ist, entsteht durch die Umlenkung des Wassers an der Trennwand eine Querströmung in die Hauptströmung hinein. Der Einbau einer Leitwand (Abbildung 9 unten) beeinflusst dagegen das umgelenkte Wasser bereits vor dem Schlitz so, dass es gleichmäßiger in diesen Schlitz fließt.



**Abbildung 9:** *Geschwindigkeitsvektoren in einer horizontalen Ebene in etwa halber Beckenhöhe bei identischem Maßstab: oben: ohne Leitwände; unten: mit Leitwänden*

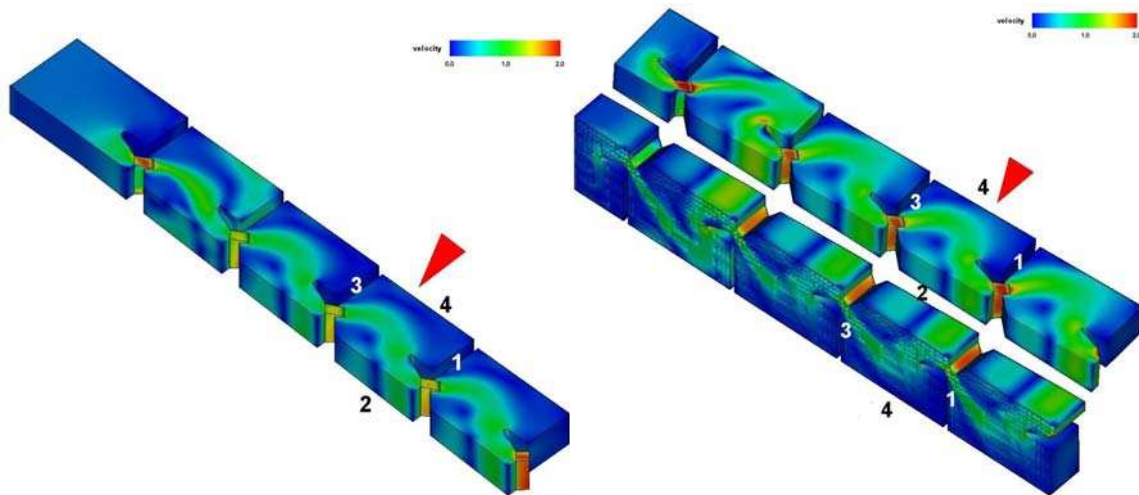
Dieser Unterschied zwischen Trennwänden mit und ohne Leitwand wurde auch an einem gebauten Fischpass in situ ausprobiert, wobei die Ergebnisse aus den numerischen Untersuchungen bestätigt wurden.

Aus den Untersuchungen ergibt sich, dass die Anordnung von Leitwänden eine positive Wirkung auf die Beckenströmung hat. Die weniger abrupte Umlenkung des Wassers durch die Leitwand in den Schlitz beruhigt und formt den Überfall, wodurch auch der Bereich geringerer Strömung für den aufsteigenden Fisch positiv beeinflusst wird. Der Einbau kann daher empfohlen werden.

## 7 Einfluss der Sohlengeometrie auf die Ergebnisse der Schlitz-Pass-Modellierung

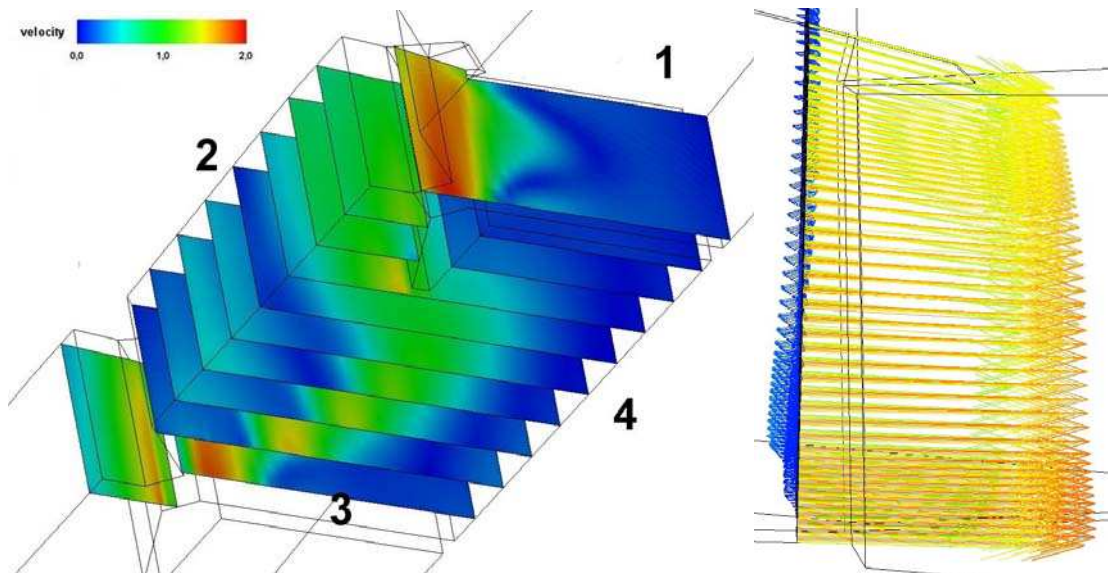
Um zusätzlich den grundsätzlichen Strömungsverlauf und den Einfluss von Sohlensubstrat weiter zu untersuchen, wurde exemplarisch die Geometrie der Fischaufstiegsanlage (FAA) am Rheinkraftwerk Iffezheim [7] modelliert. Die Trennwände sind mit so genannten Hammerköpfen anstatt von einfachen Leitwänden versehen. Im deutschsprachigen Raum wird in nahezu allen Typen von FAA in der Regel Sohlensubstrat eingebaut, um dem Benthos und schwimmschwächeren Fischarten einen Aufstieg zu ermöglichen. Als einfachstes Modell für die ungenormten Bruchsteine des Sohlensubstrats werden kleine unregelmäßige „Pyramiden“ in die Modellgeometrie übernommen (Abbildung 10 re.).

Bereits in der Visualisierung des gesamten Anlagenausschnitts in Abbildung 10 sind die Hauptströmungen gut zu erkennen. Die durch den Schlitz und Umlenkblock in die Beckenmitte geleitete Hauptströmung fließt in einem Bogen durch das Becken und zum nächsten Schlitz hinaus. Zu beiden Seiten der Hauptströmung entstehen großflächige Wirbel.



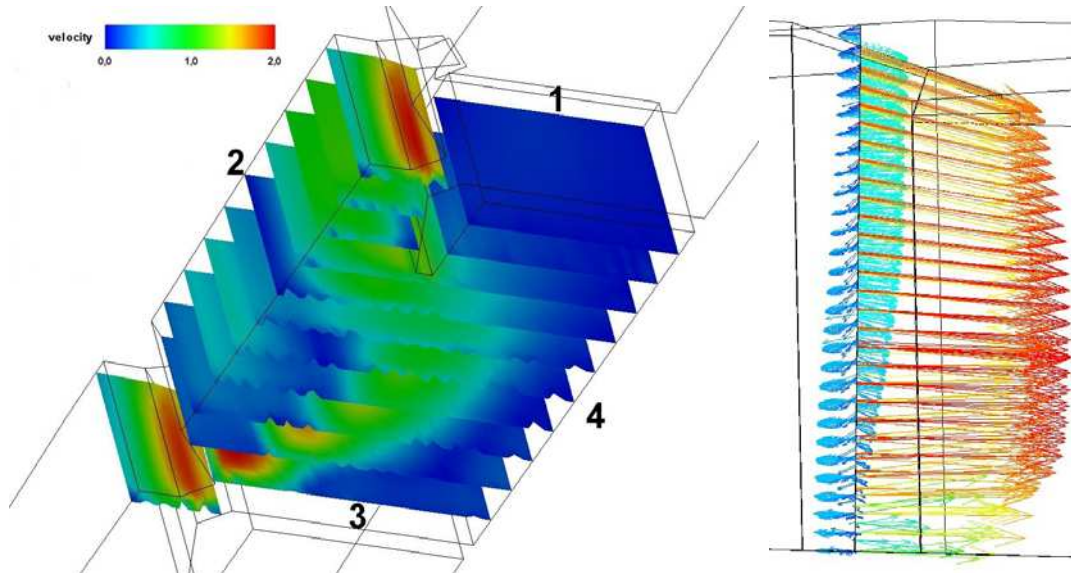
**Abbildung 10:** Visualisiertes Ergebnis des Schlitz-Passes Iffezheim: ohne Sohlensubstrat (li.) und mit Sohlensubstrat (re.)

Die höchsten Geschwindigkeiten treten beim Schlitz-Pass ohne Sohlensubstrat, wie zu erwarten, in der Mitte des Schlitzes in Bodennähe auf, wie die Farbverteilung in Abbildung 11 erkennen lässt. Durch den Einbau der Steine sollen diese Maximalgeschwindigkeiten reduziert werden.



**Abbildung 11:** Geschwindigkeitsverteilung im Schlitz-Pass Iffezheim: li.: in mehreren Schnittebenen, Ansicht von unten; re.: im Schlitz

Der Strömungsverlauf im Becken wird durch das Sohlensubstrats ein wenig beeinflusst, was aber auch auf das kleinere geringere Volumen infolge des Sohlensubstrateinbaus zurückzuführen sein könnte.



**Abbildung 12:** *Geschwindigkeitsverteilung des Schlitz-Passes Iffezheim mit Sohlensubstrat: li.: auf verschiedenen Ebenen im Becken und re. auf der hintersten Ebene*

Das Hauptaugenmerk dieser Betrachtung liegt aber auf dem Einfluss der Rauheit auf das Geschwindigkeitsprofil im Schlitz. An den Darstellungen in Abbildung 12 ist zu erkennen, dass die kleinen Pyramidenspitzen die Geschwindigkeiten in Bodennähe deutlich verringern. Trotz des vereinfachten Modells der Steine zeigt sich der Einfluss des Sohlensubstrats sehr deutlich.

## 8 Zusammenfassung

Die erfolgreiche Inbetriebnahme einer Fischaufstiegsanlage ist das Ziel eines jeden Wasserbau-Ingenieurs, der mit einer derartigen Planung und dem Bau beauftragt ist. Bereits in der Planungsphase können bei einem fachübergreifenden Projekt, wie dem Bau einer Fischaufstiegsanlage, Schwierigkeiten nicht immer vermieden werden. Eine der entscheidenden Fragen ist dabei, was in einer beckenartigen Fischaufstiegsanlage eigentlich passiert. Um bereits im Voraus dies für jeden verständlich zu erklären, wurden numerische Simulationen verschiedener Anlagentypen durchgeführt, die einen ersten, äußerst wirklichkeitsnahen und detailreichen Eindruck von der Beckenströmung ermöglichen.

Im ersten Schritt konnte das numerische Rechenmodell leider nicht alle Erwartungen erfüllen. Daher wird in einer laufenden weiteren Untersuchung der Umsetzung der freien Oberfläche ein intensives Augenmerk geschenkt sowie weite-

re Bauweisen mit verschiedenen Anordnungen und Abmessungen der Becken und Trennwände untersucht werden.

Die numerische Modellierung der beckenartigen Fischauftstiegsanlagen hat einige sehr interessante Erkenntnisse über den tatsächlichen Strömungsverlauf des Wassers durch die Becken ergeben. Diese konnten anhand von Versuchen an bestehenden Anlagen bestätigt werden. Die Ergebnisse und insbesondere die Geschwindigkeitsangaben müssen infolge der erläuterten Grenzen des numerischen Rechenmodells allerdings mit der entsprechenden Sachkunde interpretiert werden.

Schließlich wird deutlich, dass ausführliche Parameterstudien zum besseren Verständnis der hydraulischen Randbedingungen in den Becken notwendig sind, um optimale Fischauftstiegsanlagen zu bauen. Im Laufe der durchgeführten Analysen wurden gleichfalls zahlreiche interessante Aspekte angeschnitten, die in bereits angelaufenen weiteren Untersuchungen ebenfalls vertieft werden.

## 9 Literatur

- [1] Barton, A.; Keller, R.: 3D Free Surface Model for a Vertical Slot Fishway. In: Ganoulis, J.: Proceedings of the XXX IAHR congress, AUTH, Thessaloniki, Greece. S. 409-416, 2003
- [2] Fujihara, M.; Fukushima, T.; Tachibana, K.: Numerical Modelling of Flows in Vertical Slot Single-Slot and Double-Slot Fishways. In: Guo, J.: Advances in Hydraulics and Water Engineering: Proceedings 13th IAHR-APD Congress, Singapore. World Scientific, Vol. II, S. 1019-1024, 2002
- [3] Hagemeyer, M.: Hydraulische Aspekte beckenartiger Fischauftstiegsanlagen. Universität Stuttgart, Institut für Wasserbau, Diplomarbeit, Juli 2005 (unveröffentlicht)
- [4] Heimerl, S.; Hagemeyer, M.; Kohler, B.: En route with water particles in fishways - how to explain flow structure in a pool-type fishway? In: Hydro 2005 - policy into practice. Conference Proceedings, Villach, 2005
- [5] Heimerl, S.: Standardisierung technischer Verbindungsgewässer. Statusbericht zum Forschungsbericht Nr. 87/01. EnBW, 2004 (unveröffentlicht)
- [6] Heimerl, S.; Ittel, G.: Becken-Schlitz-Pässe als zukunftssträchtige Bauweise für technische Verbindungsgewässer. In: Wasserwirtschaft 92 (2002), Heft 4/5, Seite 54-55
- [7] Heimerl, S.; Ittel, G.; Urban, G.: First operational experiences with one of



- the largest fish passage structures in Europe and applicability to other sites. In: Hydro 2001 - Opportunities and Challenges, Conference Proceedings, Riva del Garda, 2001, S. 313-322
- [8] Puertas, J.; Pena, L.; Teijeiro, T.: Experimental Approach to the Hydraulics of Vertical Slot Fishways. *J. Hydraulic Engineering*, 130 (1), S.10-23, 2004
- [9] Rajaratnam, N.; Van der Vinne, G.; Katopodis, C.: Hydraulics of Vertical Slot Fishways. In: *J. Hydraulic Engineering*, 112 (10), S. 909-927, 1986
- [10] Tarrade, L.; Manceau, R.; Texier, A.; David, L.; Larinier, M.: Etude numérique des écoulements hydrodynamique turbulentes dans une passé à poissons. In: 17ème Congrès Français de Mécanique, Troyes, September 2005
- [11] Wu, S.; Rajaratnam, N.; Katopodis, C.: Structure of Flow in Vertical Slot Fishways. In: *J. Hydraulic Engineering*, 125 (4), S. 351-360, 1999

**Autoren:**

Dipl.-Ing. Margit Hagemeyer  
Voith Siemens  
Hydro Power Generation  
Alexanderstr. 11  
89522 Heidenheim  
(seit 01.02.2006)

Dr.-Ing. Stephan Heimerl  
EnBW Kraftwerke AG  
Bereich Wasserkraftplanung (TB)  
Lautenschlager Straße 20  
70173 Stuttgart  
S.Heimerl@enbw.com