

Eignung von 3-D-HN-Modellen zur hydraulischen Optimierung von Umlenkbecken von Beckenpässen

Im Zuge der Planung von Fischaufstiegsanlagen müssen an vielen Standorten, beispielsweise aufgrund beengter Platzverhältnisse, Umlenkbecken in die Anlagen integriert werden. Die Hydraulik und resultierende ökologische Funktionsfähigkeit dieser Beckenformen ist bislang nur geringfügig untersucht worden. Mit 3-D-hydrnumerischen Modellen können bereits in der Planung von Fischaufstiegsanlagen die Strömungssignatur sowie auftretende Verwirbelungen in den Becken simuliert werden. Die Vorteile und Grenzen derartiger Modelle konnten im Rahmen einer Variantenstudie von drei geplanten Umlenkbecken aufgezeigt werden. Zudem wurde eine neue Beckenform für Umlenkbecken entwickelt, die in den durchgeführten Simulationen die eigens festgelegten Passierbarkeitskriterien am besten erfüllte.

Julia Gatzweiler, Boris Lehmann, Peter Mewis und Marq Redeker

1 Einleitung

Weltweit werden Fischaufstiegsanlagen (FAA) an Querbauwerken und natürlichen Barrieren errichtet, um die stromaufwärts gerichtete Passage von Fischen und aquatischen Wirbellosen und letztlich die ökologische Durchgängigkeit von Flusssystemen sicherzustellen. In Deutschland repräsentiert das DWA-Merkblatt M 509 [1] den Stand des Wissens und der Technik zur korrekten Planung, baulichen Ausführung und dem Betrieb von FAA und fischpassierbaren Bauwerken. Die formulierten Empfehlungen stellen einen Maßstab für ein einwandfreies technisches Verhalten dar. Allerdings kann ein Merkblatt nicht alle Sonderfälle abdecken.

Ferner gibt es noch Kenntnislücken bei gewissen Aspekten. So ist beispielsweise die fischartenspezifisch unzureichende Passierbarkeit von Umlenkbecken (ULB) einiger FAA in biologischen Untersuchungen nachgewiesen worden (Thiem et al. [2] und White et al. [3]). Jedoch existieren kaum Empfehlungen für die Gestaltung von ULB, die bei langen FAA oder aus Platzgründen an vielen Standorten erforderlich sind. Auch ist bekannt, dass die Hydraulik in ULB die Strömung der anschließenden (Linien-) Becken von FAA beeinflussen kann. Mit dem Ziel die geometrische und hydraulische Ausbildung von ULB fischver-

träglich zu gestalten, werden in naher Zukunft bestehende Kenntnisse und Erfahrungen (z. B. Marriner et al. [4]) im Rahmen von Forschung und Entwicklung ergänzt bzw. konkretisiert werden.

Fischökologische Auswirkungen von Strömungen können durch ethohydraulische Laborversuche oder in situ erforscht werden. Für solche Untersuchungen ist es notwendig, die Strömungssignaturen und die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten genau zu kennen. Durch Einsatz von 3-D-hydrnumerischen Simulationen können mit hinreichender Genauigkeit die maximalen Geschwindigkeiten sowie größere Verwirbelungen in den Becken von FAA berechnet werden. Auf vergleichsweise einfache Weise kann z. B. bereits im Stadium der Planung die Form und Anordnung von Becken insbesondere an den Wenden bzw. Umlenkungen verändert und für den Fischaufstieg optimiert werden. Eventuelle Defizite in den Strömungssignaturen können auf diese Weise erkannt und deren Ursachen behoben werden.

Im Rahmen einer Masterarbeit [5] wurde die Strömung in drei ULB eines geplanten Schlitzpasses in einem 3-D-Strömungsmodell genauer untersucht und hydraulisch optimiert. Die gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich der Gestaltung von ULB und der Eignung von Strömungssimulationen in der Planung von FAA sollen nachfolgend vorgestellt werden.

Kompakt

- Ein sorgfältig aufgebautes 3-D-HN-Modell bietet die Möglichkeit, kritische Punkte einer FAA während der Planung zu optimieren.
- Ein trapezförmiges Umlenkbecken erfüllt die ethohydraulischen Bemessungskriterien am besten.
- Die Strömung eines 130°-Knicks ist für Fische passierbar.

2 Methodisches Vorgehen bei einer Planung

Eine funktionstüchtige FAA muss auf ihrer gesamten Länge in einem durchgängigen Wanderkorridor die Bedürfnisse der auftretenden und ggf. anzusiedelnden Fischarten erfüllen, damit sie auffindbar und passierbar ist. Im Folgenden wird aufgezeigt, wie im Rahmen einer realen FAA-Planung die Gestaltung von möglichst optimal passierbaren ULB bewerkstelligt werden

kann. Dazu kommen sowohl hydrodynamisch-numerische (HN) Strömungssimulationen als auch ethohydraulische Ergebnisinterpretationen zum Einsatz. Zudem werden die zu diesem Vorgehen bisher erkannten Anwendungs- und Übertragbarkeitsgrenzen genannt.

2.1 Ethohydraulische Grundlagen

Das DWA-Merkblatt M 509 [1] gibt für Becken von Schlitzpässen Grenzwerte der Strömungsgeschwindigkeit, der Beckendimensionen und des Turbulenzgrads in Form der Leistungsdichte vor. ULB müssen demnach folgende Anforderungen erfüllen:

- Durchgängiger Strömungspfad mit einem Fließgeschwindigkeitsbereich von 0,3 bis 1,7 m/s (Barbenregion bzw. für rheophile Arten),
- Ausreichende Beckengröße, damit der größte Fisch ausreichend Platz zum Manövrieren hat,
- Kein Überschreiten der maximalen Leistungsdichte von 100 W/m^3 , damit ausreichend Energie abgebaut wird und keine Kurzschlussströmung entsteht (Zielfischart: Hecht).

Eine Zusammenstellung des aktuellen Wissensstands von Fischverhalten in turbulenten Strömungen auf Basis von internationalen Labor- und Felduntersuchungen von Fischen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Turbulenzparameter erfolgte in Gatzweiler [5] und ist in **Tabelle 1** zusammengefasst. Es wurde ersichtlich, dass bei Felduntersuchungen in ULB längere Passagezeiten als in geraden Becken festgestellt worden sind ([2], [3]). Als Grund dafür wird eine Desorientierung der Fische infolge dortiger Turbulenzstrukturen angegeben, was sich so nicht trivial mittels einer pauschalisierten Leistungsdichte ausdrücken lässt. Wang [6] empfiehlt die Turbulente Kinetische Energie (TKE) für die Bestimmung lokaler Geschwindigkeitsfluktuationen als Ergänzung der Leistungsdichte, die lediglich ein gemittelttes Maß der Turbulenz darstellt und keine lokalen turbulenten Hindernisse in einem Becken identifiziert. Silva et al. [7] und Odeh et al. [8] konnten in Laboruntersuchungen das Fischverhalten in Bezug zur TKE bringen und hielten fest, dass Fische Bereiche mit einer TKE größer $0,05 \text{ m}^2/\text{s}^2$ meiden. Pavlov et al. [9] stellten fest, dass Fische von vertikalen Wirbeln, die einen Durchmesser von etwa $2/3$ der Fischlänge haben, um die Querachse rotiert werden können. Tritico & Cotel [10] ergänzten die Erkenntnisse von Pavlov et al. [9] um den Wirbeldrehimpuls. Ihre Laboruntersuchungen zeigten, dass ein vertikaler Wirbel erst ab einem Wirbeldrehimpuls von $30 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$ das Potenzial hat, aufgrund seiner Kraft einen Fisch zu destabilisieren [10]. Hinsichtlich horizontaler Wirbel ist aktuell nur bekannt, dass Fische durch diese nicht destabilisiert werden [9]. Inwieweit horizontale Wirbel in Schlitzpässen von Fischen zum Regenerieren genutzt werden, ist noch nicht abschließend untersucht.

Die Fischverhaltensforschung steckt im Bereich der Wirbel und Turbulenzen noch in den Kinderschuhen und in den wenigen ethohydraulischen Versuchen sind nur einzelne Arten betrachtet worden. Aufgrund der bis dato geringen Kenntnisse des Fischverhaltens in Turbulenzen erfolgte in Gatzweiler [5] mit Blick auf die Aussagefähigkeit von numerischen Strömungsmodellen eine Gewichtung der publizierten Kriterien. Demnach wurde für die Passierbarkeit bspw. ein durch das Sonderbecken verlaufender Strömungspfad als besser prognostizierbar und relevanter eingestuft als die energetische Intensität auftretender vertikaler Wirbelstrukturen.

2.2 Aufbau und Plausibilisierung des numerischen Modells

Im Rahmen der Strömungssimulationen wurden Ausschnitte eines nach DWA-Merkblatt M 509 geplanten Schlitzpasses mit lichten Beckenabmessungen $3,65 \text{ m} \times 2,9 \text{ m}$, einem mittleren Sohlengefälle von $3,2 \%$ ($\Delta h = 12 \text{ cm}$ zwischen den Becken) und einem Bemessungsabfluss von $0,63 \text{ m}^3/\text{s}$ untersucht.

Die numerische Simulation der Strömungsverhältnisse in den ULB erfolgte in zwei Modellen (**Bild 1**):

Das Modell A beinhaltet ein ULB, dessen Strömung durch die Untersuchung verschiedener geometrischer Varianten optimiert wurde.

Das Modell B besteht aus einem 130° -Knick und einem ULB, das sich hinsichtlich der Schlitzanordnung und der Beckenlänge vom ULB des Modells A unterscheidet.

Beide Modelle haben den ULB mehrere gerade Becken vor- bzw. nachgeschaltet, so dass der Randbedingungseinfluss auf die Sonderbecken vernachlässigt werden kann. Für die Erstellung der Geometrie kam die Konstruktionssoftware AutoCAD zum Einsatz. Die damit erstellte 3-D-Anlagengeometrie wurde in die Strömungssimulations-Software Flow3D® der Firma FlowScience Inc. importiert. Innerhalb der so gegebenen Modellränder wurde für die Strömungsberechnungen ein strukturiertes Netz mit einer gleichmäßigen Zellgröße von 5 cm Kantenlänge erstellt. Da ein strukturiertes Gitternetz nicht regional innerhalb einzelner Modellabschnitte gedreht werden kann, liegt es im Bereich des 130° -Knicks schräg zum Geometrierand. Um diesen Umstand auszugleichen, wurde das Netz im Bereich des Knicks um das Doppelte in allen drei Koordinatenrichtungen verfeinert. In beiden Modellen wurde am Einlauf als Randbedingung der Durchfluss der FAA eingesteuert. Um ein gleichmäßiges Einströmen sicherzustellen, wurde die Strömung mittels eines Quelltopfs im Boden in die Anlage eingespeist. Die Wasserspiegel (WSP) in den Becken der FAA waren aus den hydraulischen Berechnungen der Vorplanung (nach [1]) bekannt. Am Auslauf wurde der WSP des nachfolgenden Beckens als Randbedingung festgelegt. Als Anfangsbedingung

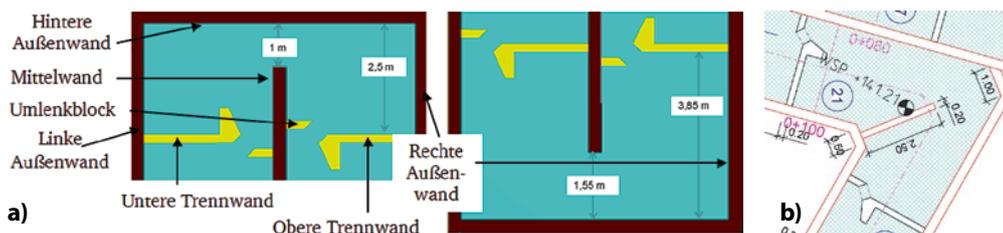


Bild 1: Geometrie der Umlenkecken und des 130° -Knicks:
a) Modell A und
b) Modell B
(Quelle: Gatzweiler)

Tabelle 1: Übersicht der Passierbarkeitskriterien für Becken eines Schlitzpasses (Quelle: nach [5])

Kriterium	Zulässiger Wertebereich
Durchgängiger Strömungspfad	Fließgeschwindigkeit zwischen 0,3 und 1,7 m/s (Barbenregion mit Salmoniden)
Becken- und Schlitzdimensionen in Abhängigkeit vom größten Bemessungsfisch (hier: Hecht)	3-fache Länge des längsten Fisches 2,5-fache Wassertiefe des größten Fisches 3-fache Breite des dicksten Fisches
Leistungsdichte als globales Turbulenzmaß im Becken	$p_d < 100 \text{ W/m}^3$ (Barbenregion)
Destabilisierung bei vertikalen Wirbeln	Stabilitätsprobleme ab Wirbeldurchmessern größer als 2/3 der Fischlänge und Wirbeldrehimpulsen größer $30 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2/\text{s}$
Turbulente Kinetische Energie als lokales Turbulenzmaß	$\text{TKE} < 0,05 \text{ m}^2/\text{s}^2$

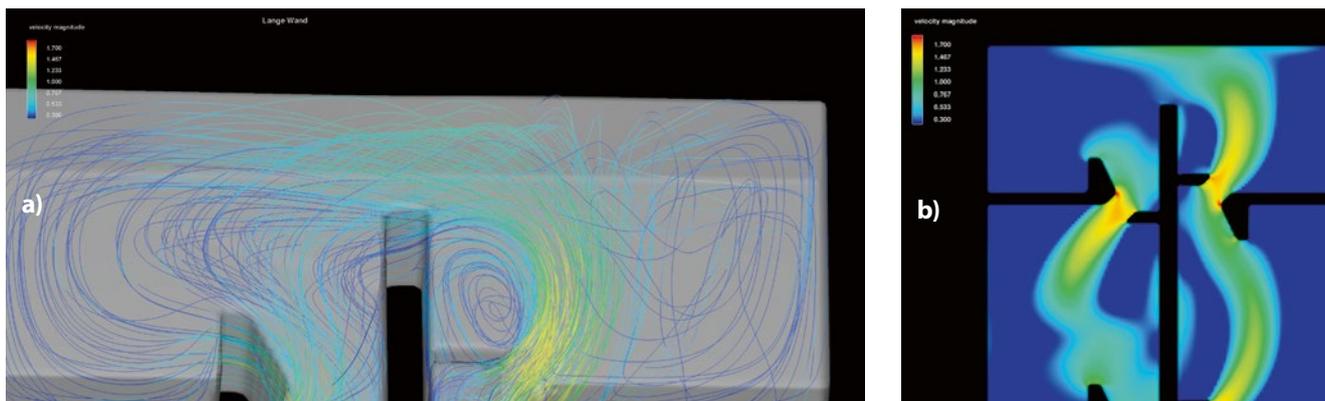


Bild 2: Umlenkbecken des Modells A: a) Stromlinien und b) Geschwindigkeitsverteilung (Quelle: Gatzweiler)

befindet sich in jedem Becken ein Wasserblock mit der Höhe des WSP des jeweiligen Beckens. Die Simulationszeit kann auf diese Weise erheblich reduziert werden. Die Auswirkungen der Turbulenz auf die Strömung wurden mit dem statistischen $k-\epsilon$ -Turbulenzmodell nach dem RNG-Ansatz berücksichtigt. Dieser verwendet zwei zusätzliche Transportgleichungen, um aus der TKE und der Dissipationsrate die Wirbelviskosität zu bestimmen (s. [12]). Bei diesem Ansatz werden die Auswirkungen der Wirbelgröße auf die Turbulenz berücksichtigt, wodurch nach Schwarze [13] komplexe Strömungen genauer erfasst werden. In Simulationen von Barton et al. [11] und Läkemäker et al. [12] erfasste das RNG-Modell die turbulente Struktur der Schlitzpassströmung am genauesten. Da in den Modellen geplante Son-

derbecken simuliert wurden, konnte keine Kalibrierung des Modells erfolgen. Die Plausibilität des Modells wurde durch einen Vergleich des Strömungsverlaufs im Bereich der geraden Becken überprüft. Hierbei zeigte sich eine gute Übereinstimmung mit bekannten Strömungssignaturen in realisierten FAA. Eine Variation der Widerstandbeiwerte hat keine Strömungsänderung ergeben.

3 Simulationsergebnisse

Die ethohydraulische Interpretation der Strömungsbedingungen in den simulierten Sonderbecken erfolgte anhand der Kri-

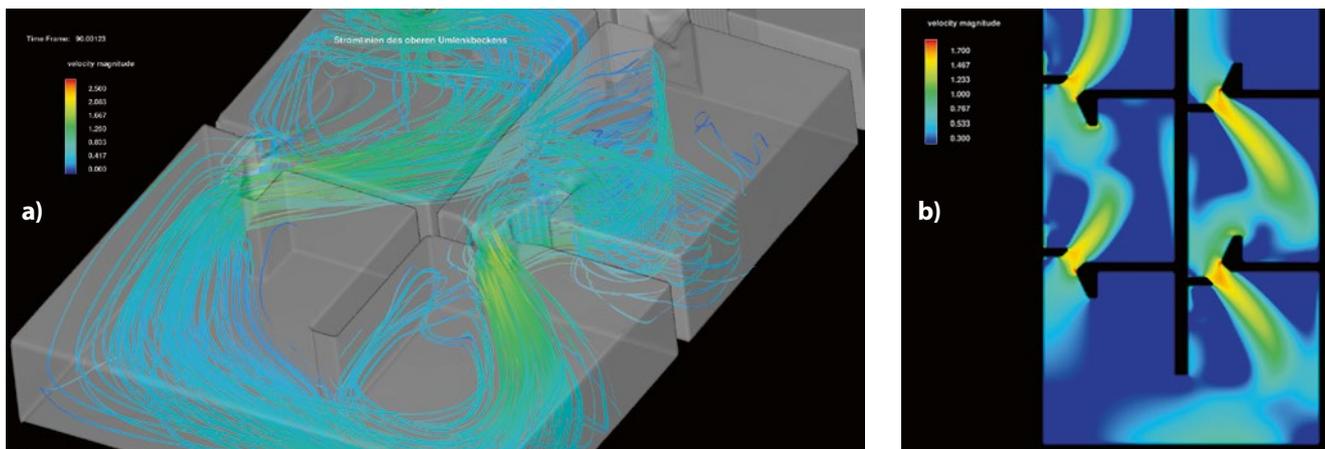


Bild 3: Umlenkbecken des Modells B: a) Stromlinien und b) Geschwindigkeitsverteilung (Quelle: Gatzweiler)

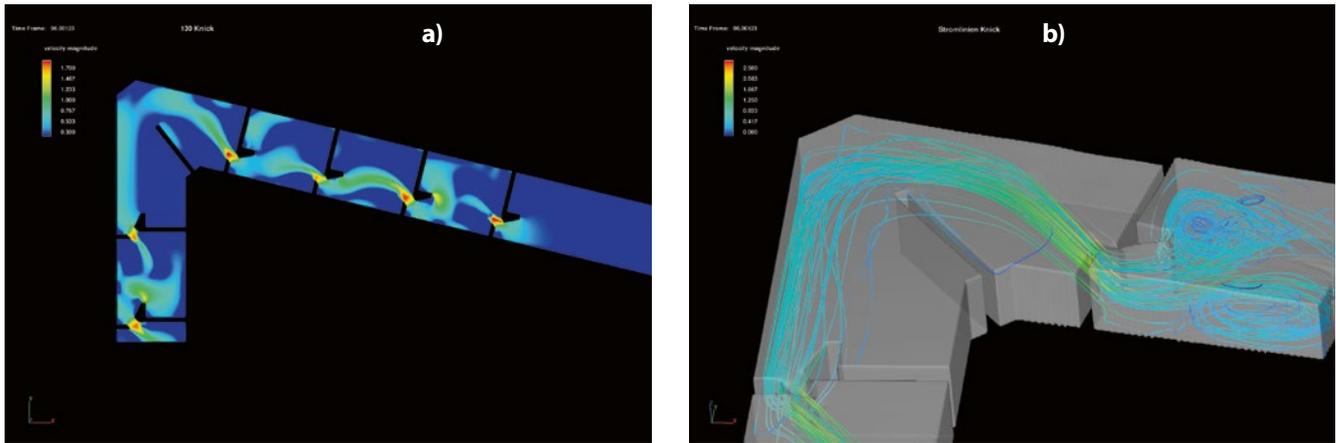


Bild 4: 130°-Knick: a) Geschwindigkeitsverteilung und b) Stromlinien (Quelle: Gatzweiler)

terien aus Gatzweiler [5] (Tabelle 1). Hierfür wurden die Strömungssignaturen der Simulationen betrachtet und entsprechend ihrer Bewertung erfolgte eine Änderung der Beckengeometrien, um die hydraulischen Bedingungen zu verbessern.

3.1 Umlenkbecken

Im ULB des Modells A prallt der Strahl auf die hintere Außenwand (Bild 2a). Infolgedessen entsteht eine vertikale Walze, die aus Sicht der Passierbarkeit für Fische negativ bewertet wird. An dieser Stelle wird viel Energie umgewandelt, so dass der Strömungspfad im Durchgang des ULB abreißt und die rheoaktive Geschwindigkeit unterschritten wird (Bild 2b). Im ULB des Modells B findet aufgrund der Länge des Beckens kein Strahlaufprall statt (Bild 3a). Jedoch ist der Strömungspfad dort ebenfalls nicht durchgängig und schon auf Höhe der Mittelwand wird die rheoaktive Geschwindigkeit unterschritten (Bild 3b).

3.2 130°-Knick

Im 130°-Knick ist die Strömung durchgängig (Bild 4a). Der obere Schlitz leitet die Strömung einmal quer durch das Becken um die Leitwand herum, wodurch eine lange Lauflänge zur Energieumwandlung genutzt wird (Bild 4b). Die Strömung prallt nicht auf die Außenwände, sondern wird von der rechten Wand an die linke Wand geleitet, ohne dass sich vertikale Wirbel ausbilden oder der Strömungspfad abreißt. Die Strömungsverhältnisse des 130°-Knicks sind aus Sicht der Passierbarkeit für Fische gut. Es stellt sich ein durchgängiger Strömungspfad ein, Turbulenzen sind nur geringfügig vorhanden und es gibt einige strömungsberuhigte Bereiche.

4 Optimierung der Strömungsverhältnisse der Umlenkbecken

In einer Variantenstudie wurde der Einfluss von Leitelementen, der Mittelwandlänge, der Beckengröße und der Form der Außenwände auf die Strömung untersucht. Ziel war es, die ULB derartig zu gestalten, dass der Strömungspfad nicht abreißt und ein Strahlaufprall an der hinteren Außenwand verhindert wird.

4.1 Einbau von Leitelementen

Leitelemente sollen durch Einengung des Abflusskorridors im ULB einen durchgängigen Strömungspfad bewirken. Die Simulationsergebnisse zeigen jedoch, dass Leitelemente unabhängig von ihrer Form und Länge für ULB nicht geeignet sind. Sie wurden jeweils im Durchgang des ULB des Modells A angeordnet und erzeugten dort eine Kurzschlussströmung (Bild 5).

4.2 Variation der Mittelwandlänge

Die Variation der Mittelwandlänge beeinflusst weder die Durchgängigkeit des Strömungspfads noch den Strahlaufprall. Der Strömungspfad reißt bei längerer Mittelwand früher ab (Bild 6) und die Position der horizontalen Rezirkulation in der Beckenmitte ändert sich in Abhängigkeit von der Mittelwandlänge. Aus Sicht des Fischverhaltens ist noch nicht abschließend geklärt, ob Becken eines Schlitzpasses horizontale Wirbel zur Regeneration enthalten sollten und in welcher Dimension bzw. wo diese angeordnet werden sollten (s. Abschnitt 2.1). Deshalb wurde auf eine weitergehende Untersuchung des Mittelwandeinflusses auf horizontale Wirbel verzichtet.

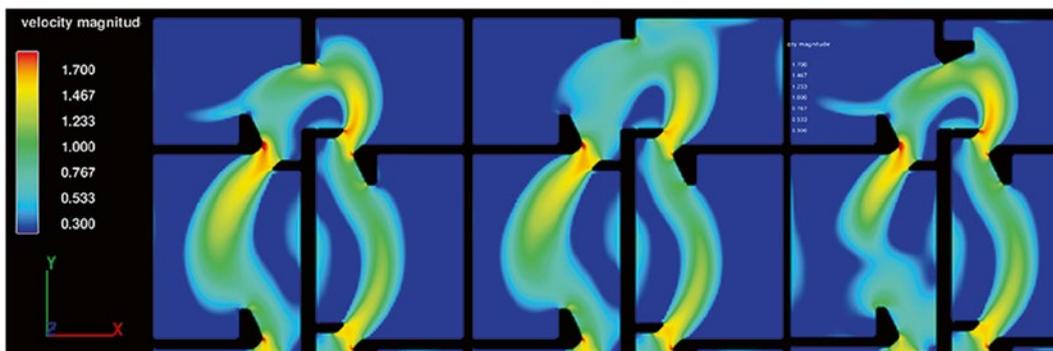


Bild 5: Geschwindigkeitsverteilung im ULB des Modells A bei Einbau von Leitelementen links: langes Leitelement, Mitte: kurzes Leitelement, rechts: hakenförmiges Leitelement (Quelle: Gatzweiler)

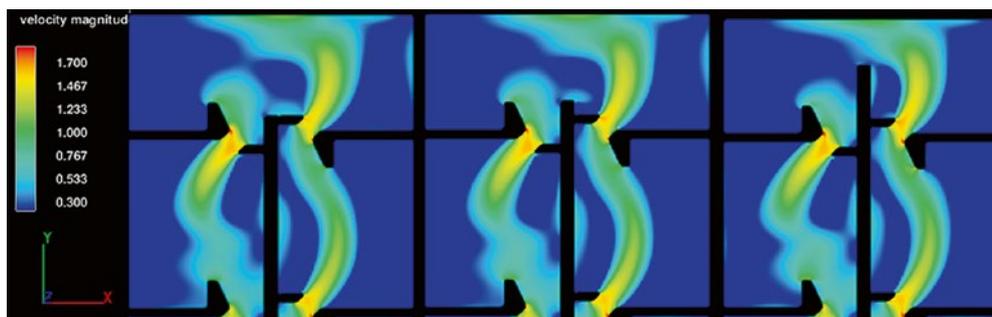


Bild 6: Geschwindigkeitsverteilung im ULB des Modells A bei Variation der Mittelwandlänge links: ohne Mittelwand, Mitte: kurze Mittelwand ($1/4 \cdot LLB$), rechts: lange Mittelwand ($3/5 \cdot LLB$) (Quelle: Gatzweiler)

4.3 Variation der Beckenlänge

Der Vergleich der beiden ULB in Abschnitt 3.1 zeigt, dass der Strahlaufprall ab einer gewissen Beckenlänge verhindert wird (Bild 3a). In zusätzlichen Simulationen stellte sich heraus, dass erst ab einer Beckenlänge von mehr als 3 m ein Strahlaufprall an der hinteren Außenwand verhindert werden kann. Bei allen Beckenlängen war der Strömungspfad nicht durchgängig und es konnte eine vertikale Walze im Durchgang des ULB festgestellt werden.

4.4 Anpassung der Außenwände

Die oben beschriebenen Veränderungen ergaben keinen Strömungsverlauf, der die Kriterien aus Tabelle 1 zufriedenstellend erfüllt. Dementsprechend erfolgte eine Variation der Außenwände. Eine Abrundung der Beckenwandkontur verhinderte zwar ein Abreißen der Strömung, aber der Strahl prallte wie zuvor gegen die Außenwand (Bild 7a). Inspiriert aus der guten Umlenkung des Strahls im 130° -Knick (Bild 4b) erfolgte in der Endvariante eine Anpassung des Winkels der Außenwände (Bild 7b). Das trapezförmige Becken verzeichnet einen durchgängigen Strömungspfad, der ohne Aufprall von den Außenwänden durch den Durchgang geleitet wird (Bild 7c). Eine vertikale Walze im Durchgang findet sich auch in dieser Variante, aber alle anderen Kriterien sind bestens erfüllt. Positive Nebeneffekte dieser Lösung sind, dass die Wände nachträglich in ein Rechteckbecken eingebaut werden können und sie betonschaaltechnisch unkompliziert erstellt werden können.

5 Vorteile und Grenzen von 3-D-HN-Modellen

Das DWA-Regelwerk [1] empfiehlt bei der Bemessung von Sonderbecken von Schlitzpässen die Durchführung von numerischen Strömungssimulationen zur sorgfältigen Analyse der hydraulischen Bedingungen. Der Vorteil des Einsatzes des 3-D-HN Modelles in der hier vorgestellten Arbeit war, dass der Strahlaufprall an der hinteren Außenwand als mögliches Problem für die Passierbarkeit eines ULB schnell und effizient identifiziert werden konnte. Darüber hinaus war es möglich, durch Variantenstudien qualitativ den Strömungspfad des ULB zu verbessern. Am Computer konnte vergleichsweise leicht sichtbar gemacht werden, welche Parameter die Strömung in welcher Weise beeinflussen.

Wie Labormodelle bieten auch 3-D-HN-Modelle die Möglichkeit, die Hydraulik von Sonderbecken bereits in der Planung zu untersuchen. Zunächst muss eine geeignete Strömungssimulationssoftware ausgewählt werden. Die Software Flow3D® hat in der

Vergangenheit für FAA gute Ergebnisse erzielt und gilt dementsprechend für die Optimierung der Sonderbecken als geeignet.

Modelle sind stets mit Ungenauigkeiten behaftet, die es zu quantifizieren und zu reduzieren gilt. Für die Rauheit der Wandung liegen gute Erfahrungswerte vor. Auch das verwendete Turbulenzmodell ist vielfach getestet. Durch eine Sensitivitätsanalyse wurden diese beiden Parameter variiert [5]. Sowohl die Änderung des statistischen Turbulenzmodells als auch die Variation der Sohlenrauheit haben keine wesentlichen Änderungen in den Simulationsergebnissen ergeben.

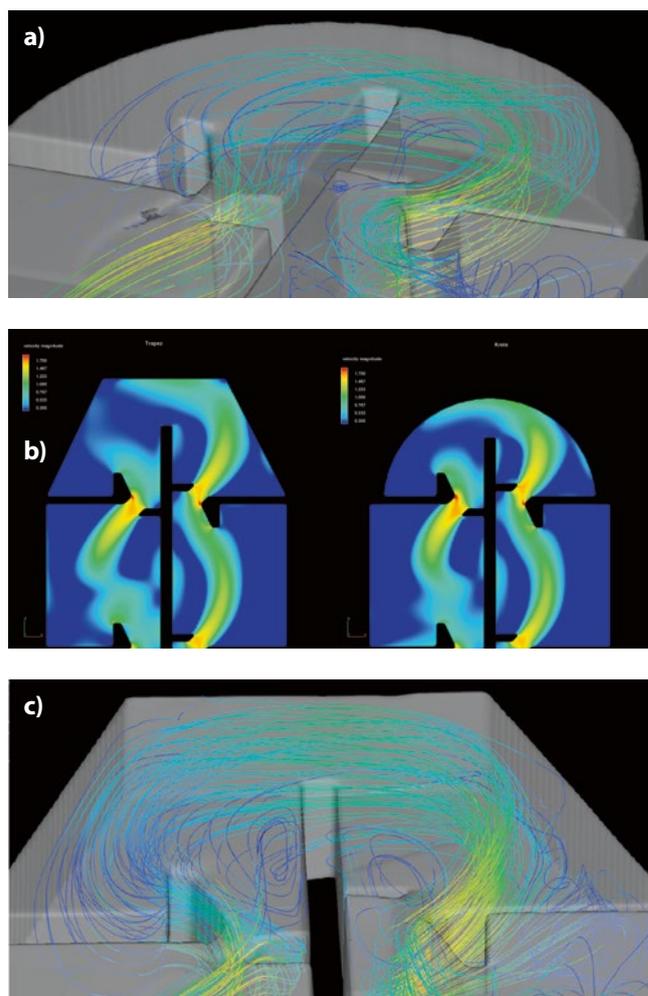


Bild 7: Geschwindigkeitsverteilung und Stromlinien im ULB des Modells A bei Variation der Außenwände: a) Rundung, b) Vergleich von Trapezform und Rundung, c) Trapezform (Quelle: Gatzweiler)

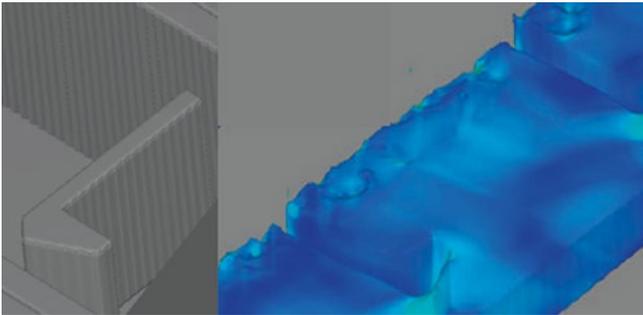


Bild 8: Ungenaue Netzauflösung bei schiefen Geometrien und geringer Zellbreite (links) und daraus resultierende Wirbelbildung (rechts) (Quelle: Gatzweiler)

Als Problem hat sich allerdings die Diskretisierung herausgestellt. Die Netzauflösung ist dann ausreichend, wenn sie die Lösung nicht mehr wesentlich beeinflusst. Dieses Kriterium ist allgemein nicht leicht nachzuweisen. In diesem Fall war die Beeinflussung jedoch sichtbar. Das block-strukturierte Modellnetz von Flow3D hat sich als starke Einschränkung herausgestellt. In Flow3D® können ausschließlich rechteckförmige Zellen parallel zu den Koordinatenachsen erstellt werden. Beim 130°-Knick hat diese Tatsache Probleme bei der Modellierung erzeugt. Durch den Knick ist die Geometrie des gesamten folgenden Teiles nicht parallel zu den Koordinatenachsen. Das Netz löste die Beckenränder stufenartig auf (**Bild 8 links**). In den Simulationsergebnissen führte diese ungenaue Geometrieerfassung zu Ablösungen an den Beckenrändern und Turbulenzen in den Becken (**Bild 8 rechts**). Um eine Beeinflussung der Strömungsstruktur durch ungenaue Geometrieerfassung ausschließen zu können, musste der Bereich des 130°-Knicks doppelt so fein aufgelöst werden wie der Rest der Anlage. Auch im Bereich der Schlitze gab es Probleme. Eine feine Schlitzauflösung ist wichtig, um die Hydraulik der FAA richtig zu erfassen. Im Rahmen dieser Untersuchungen musste das gesamte Netz fein aufgelöst werden, da eine Netzverfeinerung ausschließlich kleiner Bereiche, wie bspw. der Schlitze, in Flow3D® zu erheblichen Artefakten in der Verteilung der Geschwindigkeiten führte. In Modell A war eine Zellweite von 5 cm in allen drei Koordinatenrichtungen notwendig, um eine Unabhängigkeit der Strömungsergebnisse vom Netz sicherzustellen. Die große Elementanzahl führte zu Simulationszeiten von mehreren Tagen auf einem Personal-Computer mit i7 CPU, weshalb nur ausgewählte Varianten untersucht werden konnten.

Die Durchführung einer 3-D-HN-Modellierung erfordert Know-how und Zeit. Es ist insbesondere auf eine hinreichende Feinheit des Rechnernetzes zu achten. Grundsätzlich ist eine Validierung und soweit möglich Kalibrierung des Modells zu empfehlen. Da die Sensitivität der Ergebnisse gegenüber den Modellparametern sich als gering erwiesen hat, können auch mit Erfahrungswerten für diese Parameter bereits sehr wertvolle Hinweise in der Planung von FAA erzeugt werden. Die Strömungssimulationen bieten dann die Möglichkeit die Funktionsfähigkeit einer geplanten FAA zu prüfen und kritische Punkte schon in einem frühen Planungsstadium aufzuzeigen und zu beheben. Ist ein Modell aufgebaut, ist es leicht möglich, die Geometrie zu verändern oder Zusatzelemente einzubauen und die Auswirkungen auf die Strömung zu untersuchen.

6 Fazit und Ausblick

Die durchgeführten Strömungssimulationen haben neue Erkenntnisse hinsichtlich der Gestaltung von Sonderbecken von Schlitzpässen geliefert. Die Gestaltung eines 130°-Knicks stellt aus hydraulischer Sicht kein Problem dar. Die Außenwände des Knicks leiten die Strömung durchgängig und ohne Strahlauflauf durch das Becken. Der Einbau einer Leitwand ist nicht erforderlich. Die Hydraulik von ULB ist jedoch komplizierter, da bei rechteckförmigen Becken ein Strahlauflauf und ein Abreißen der Strömung festgestellt wurden. Der Einbau eines Leitelements nach DWA-Regelwerk [1] im Durchgang von ULB für innenliegende Schlitze ist nicht zu empfehlen, da diese eine Kurzschlussströmung erzeugen. Mit der Länge der Mittelwand können die Größe und die Position von horizontalen Rezirkulationen im ULB verändert werden. Die Außenwände eines ULB beeinflussen den Strömungsverlauf am meisten. Eine trapezförmige Anordnung der Außenwände leitet die Strömung ohne Strahlauflauf und durchgängig durch das ULB. Die Trapezform hat im Rahmen dieser Untersuchung den besten Strömungsverlauf ergeben, muss allerdings in der Natur noch verifiziert werden. Ethohydraulische Untersuchungen müssen zeigen, ob alle Fischarten das Trapezbecken problemlos überwinden können und nicht von vertikalen Wirbeln destabilisiert werden.

**CDM
Smith**

Gewässerentwicklung

- Fischaufstiegsanlagen
- Fischpassierbare Bauwerke
- Fischschutzeinrichtungen
- Fischabstiegsanlagen
- Rückbau von Hindernissen

listen. think. deliver.® cdsmith.com

Julia Gatzweiler, Boris Lehmann, Peter Mewis und Marq Redeker

Suitability of 3D Hydrodynamic Models for Hydraulic Optimization of Turning Pools in Pool-type Fishways

At many locations turning pools have to be integrated into fish passes, for example due to restricted space available. To date the knowledge of the hydraulics and ecological performance of these special basins is limited. The flow patterns and vortices in the pools of fish passes can be simulated with 3D hydrodynamic models already during the design phase. The advantages and limitations of 3D hydrodynamic models were demonstrated in the context of a study of three turning pools of a planned fishway. In addition, a new turning pool shape was developed that best met the established passage criteria.

Der Einsatz des 3-D-HN Modelles Flow3D für die Optimierung einer in Planung befindlichen FAA hat sich als sehr sinnvoll erwiesen. Allein die hier erzielten Ergebnisse zeigen, wie hoch der Nutzen des Einsatzes von HN-Modellen bei gleichzeitig überschaubarem Kostenaufwand ist. Es konnte nachgewiesen werden, dass die üblichen Quellen von Ungenauigkeiten, wie Wandreibung und Turbulenz, in der Anwendung auf Fischtreppe nur untergeordneten Einfluss auf die Ergebnisse haben. Dies zeigt, dass der Einsatz auch im Falle von noch nicht gebauten Anlagen mit den oben beschriebenen Werten durchaus möglich ist.

Nachteilig hat sich ausgewirkt, dass die Auflösung des Rechenmodells insbesondere in den Bereichen der Schlitze noch gering war. Auch die in Flow3D sehr starre Blockstruktur des Rechennetzes ist problematisch. Ob andere Simulationsmodelle ohne diese Nachteile ähnlich leistungsfähig sind, muss getestet werden.

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurde der aktuelle Forschungsstand zu Fischverhalten in Turbulenzen zusammengetragen. Die einzelnen Turbulenzparameter konnten modelliert werden, aber es ist noch nicht möglich daraus konkrete Bemessungskriterien für FAA, abzuleiten. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, welche Turbulenzmaße von der heimischen Fischfauna bevorzugt werden. Sobald konkrete Turbulenzkriterien feststehen, kann in weiterführenden numerischen Simulationen überprüft werden, welche Gestaltung von ULB die Anforderungen der Fische bestmöglich erfüllt. Derweil können Außenwände von ULB als variable oder mobile Zusatzelemente gestaltet werden.



Weitere Empfehlungen aus www.springerprofessional.de:

Beckenpass

Meyer, M. et al.: Der Fischlift am Gadmerwasser im Berner Oberland, Schweiz. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 02-03/2016. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016. www.springerprofessional.de/link/7501898

Giesecke, J.; Heimerl, S.: Durchgängigkeit für die Aquafauna an Wasserkraftstandorten. In: Wasserkraftanlagen. 6. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer, 2014. www.springerprofessional.de/link/4214982

Autoren

Julia Gatzweiler, M. Sc.
Björnsen Beratende Ingenieure GmbH
Maria Trost 3
56070 Koblenz
j.gatzweiler@bjoernsen.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann
PD Dr.-Ing. habil. Peter Mewis
Technische Universität Darmstadt
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
lehmann@wb.tu-darmstadt.de
mewis@wb.tu-darmstadt.de

Dipl.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Marq Redeker
CDM Smith Consult GmbH
Münsterstraße 304
40470 Düsseldorf
marq.redeker@cdmsmith.com

Literatur

- [1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. In: DWA-Merkblätter (2014), M 509.
- [2] Thiem, J.; Binder, T.; Dawson, J.; Dumont, P.; Hatin, D.; Katopodis, C.; Zhu, D.; Cooke, S.: Behaviour and passage success of upriver-migrating lake sturgeon *Acipenser fulvescens* in a vertical slot fishway on the Richelieu River, Quebec, Canada. In: Endang. Species Res. (2011), Nr. 15, S. 1-11.
- [3] White, I.; Harris, J.; Keller, R.: Movement of three non-salmonid fish species through a low-gradient vertical slot-fishway. In: River Res. Appl. (2011), Nr. 27, S. 499-510.
- [4] Marriner, B.; Baki, A.; Zhu, D.; Thiem, J.; Cooke, S.; Katopodis, C.: Field and numerical assessment of turning pool hydraulics in a vertical slot fishway. In: Ecological Engineering 63 (2014), S. 88-101.
- [5] Gatzweiler, J.: Hydraulische Optimierung einer Fischaufstiegsanlage durch Strömungssimulation. Masterarbeit am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft an der TU Darmstadt (2015).
- [6] Wang, R.-W.: Aspects of design and monitoring of nature-like fish passes and bottom ramps. In: Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München (2008), Nr. 118.
- [7] Silva et al.: Effects of water velocity and turbulence on the behaviour of Iberian Barbel (*Luciobarbus bocagei*, Steindachner 1864) in an experimental pool-type fishway. In: River Research and Applications (2011), Heft 27, S. 360-373.
- [8] Odeh et al.: Evaluation of the effects of turbulence on the behaviour of migratory fish, Final Report. U. S. Geological Survey, Glenn F. Cada – Oak Ridge National Laboratory, 2002.
- [9] Pavlov, D. S.; Lupandin, A. I.; Skorobogatov, M. A.: The effects of flow turbulence on the behaviour and distribution of fish. In: Journal of Ichthyology 40 (2000), Heft 2, S. 232-261.
- [10] Tritico, H. M.; Cotel, A. J.: The effects of turbulent eddies on the stability and critical swimming speed of creek chub (*Semotilus atromaculatus*), in: The Journal of Experimental Biology (2010), Heft 213, S. 2 284-2 293.
- [11] Barton, A. F.; Keller, R. J.; Katopodis, C.: A free surface model of a Vertical Slot Fishway to numerically predict velocity and turbulence distributions. In: American Fisheries Society Symposium 61 (2008), S. 1-15.
- [12] Läkemäker et al.: Neue Fischaufstiegsanlage am Nordufer beim Elbewehr Geesthacht – Wasserbauliche Modelluntersuchungen. Karlsruhe: Projektabschlussbericht des Instituts für Wasser und Gewässerentwicklung des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) im Auftrag der Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG, 2011 (unveröffentlicht).
- [13] Schwarze, R.: CFD-Modellierung. Grundlagen und Anwendungen bei Strömungsprozessen. Springer in Berlin, Heidelberg (2013).