

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Tognacca, Christian; Rossi, Virginia

Nachweis der Wanderkorridore auf einer eigendynamischen Rampe

VAW Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108443>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Tognacca, Christian; Rossi, Virginia (2021): Nachweis der Wanderkorridore auf einer eigendynamischen Rampe. In: Boes, Robert (Hg.): Wasserbau-Symposium 2021.

Wasserbau in Zeiten von Energiewende, Gewässerschutz und Klimawandel. Band 2. VAW Mitteilungen 263. Zürich: ETH Zürich, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. S. 521-528.

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.

Verwertungsrechte: CC BY 4.0



Nachweis der Wanderkorridore auf einer eigendynamischen Rampe

Verification of fish migration corridors on a self-structured ramp

Christian Tognacca, Virginia Rossi

Kurzfassung

Im Rahmen von physikalischen Modellversuchen im Massstab 1:30 zur Beurteilung der Stabilität von eigendynamischen Rampen werden die entstehenden Sohlenmorphologien auch bezüglich der Wandermöglichkeiten ausgewählter Fischarten untersucht.

Die im physikalischen Modell bei progressiver Steigerung der hydraulischen Belastung entstehende Sohlenmorphologie wird fotogrammetrisch hochaufgelöst aufgenommen und das daraus gewonnene digitale Terrainmodell dient als Basis für den Aufbau des numerischen 3D-Modells im Prototypmassstab.

Die Untersuchung der Wanderkorridore erfolgt anhand von 3D numerischen Simulationen mit der Open-Source Software OpenFOAM. Die Beurteilung der Passierbarkeit der Rampe basiert auf vorgegebenen, fischartspezifischen Kriterien zu Fliessgeschwindigkeit und Abflusstiefe.

Die numerisch geprüfte, theoretische Wirksamkeit der Wanderkorridore wird nach der Realisierung der eigendynamischen Rampe anhand von in Situ Messungen getestet. Die Erfolgskontrolle der Fischdurchgängigkeit der Zielart wird nach einer anfänglichen minimalen Strukturierung der realisierten Rampe mittels Radiotelemetrie mit aktiven, in den Fischen implantierten Sendern durchgeführt.

Der Artikel präsentiert die durchgeführte Beurteilung der Wanderkorridore für die erste im Modell erzeugte Sohlenmorphologie der Rampe.

Abstract

In the context of physical model tests on a scale of 1:30 to assess the stability of self-structured ramps, the resulting bed morphologies are also examined with regard to the migration possibilities of selected fish species.

The bed morphology created in the physical model and recorded with high resolution photogrammetry is used to generate a digital terrain model necessary for the construction of the numerical 3D model in the scale of the prototype.

The migration corridors are examined using 3D numerical simulations with the open source software OpenFOAM. The assessment of the longitudinal connectivity of the self-structured ramp is based on predefined, fish-specific criteria for flow velocity and depth.

The numerically tested, theoretical effectiveness of the migration corridors will be tested after the realization of the self-structured ramp on the basis of in situ measurements. The test of the migration possibilities of the target species will be carried out after an initial minimal structuring of the realized ramp using radio telemetry with active transmitters implanted in fishes.

The article presents the assessment of the migration corridors for the bed morphology of the self-structured ramp which resulted from the first experiment.

1 Fragestellung und Zielsetzung

Die heutige steile Rampe am Fiume Ticino in Lodrino soll zur Verbesserung der Wandermöglichkeiten für die Äsche saniert werden. Die Rampe wurde als Sohlenfixpunkt am Mittellauf des Ticino in den 1970-er Jahren realisiert und sie bildet seitdem, mit einem Gefälle von rund 8%, ein unpassierbares Hindernis für die relativ schwimmschwache Fischart. Der heutige Höhenunterschied von rund 5 m soll neu mit einer eigendynamischen Rampe mit einem mittleren Gefälle von rund 2% überwunden werden.

Ziel der Untersuchung ist der Nachweis der Wanderkorridore für ausgewählte Fischarten (insbesondere die Äsche) auf der geplanten eigendynamischen Rampe, welche im physikalischen Modell im Massstab 1:30 auf ihr Stabilitäts- und Verformungsverhalten im Hochwasserfall getestet wird (siehe Tognacca *et al.*, 2021). Im physikalischen Modell werden die Verhältnisse am Fiume Ticino in Lodrino getestet. Die Bandbreite der für die Untersuchung der Stabilität und Verformung der Rampe getesteten Abflüsse liegt zwischen HQ_2 (491 m³/s) und EHQ (1'693 m³/s). Die Wanderkorridore sollen für Abflüsse zwischen Q_{347} (10 bis 13 m³/s) und Q_{36} (60 bis 80 m³/s) nachgewiesen werden. Für diese relativ kleinen Abflüsse, welche von mittleren Abflusstiefen im Modell im Bereich von rund 1 bis 4 cm charakterisiert sind, sind Massstabeffekte im Modell 1:30 relevant. Folglich wurde die Fragestellung der Wandermöglichkeiten anhand von numerischen 3D-Simulationen in Naturmassstab untersucht.

2 Methode

2.1 Das numerische Modell

Die numerischen 3D-Simulationen werden mit der Open-Source Software OpenFOAM durchgeführt. Die Grundlage für das numerische Modell bilden die

im Millimeterbereich hochaufgelösten photogrammetrischen Aufnahmen der Rampentopografie des physikalischen Modells, welche auf den Naturmassstab geometrisch skaliert werden. Die numerischen Simulationen werden anhand der RANS-Gleichungen mit einem $k-\omega$ -SST Turbulenzmodell durchgeführt, welches gemäss beffa tognacca (2018) die Strömungsverhältnisse auf einer stark strukturierten Rampe gut nachbildet. Die geometrische Auflösung des numerischen Modells liegt im Mittel bei 25 cm und nimmt in Sohlennähe auf rund 12 cm ab.

2.2 Die Analyse der Wanderkorridore

Der Nachweis der Existenz der Wanderkorridore wird anhand der Kombination von zwei Faktoren erbracht: die maximale (tiefengemittelte) Fließgeschwindigkeit v_{\max} [m/s] und die minimale Fließtiefe h_{\min} [m]. Dabei wird zwischen optimalen, suboptimalen und grenzwertigen Wanderbedingungen unterschieden. Die Definition der optimalen Wanderbedingungen basiert auf die Schwimmfähigkeiten für lange Schwimmdauer; grenzwertig entspricht den noch tolerierbaren Bedingungen für kurze Strecken (5 m). Als Abstufung zwischen den genannten Werten werden suboptimale Bedingungen als mittlere Kategorie definiert. Für die Äsche am Fiume Ticino werden folglich folgende Beurteilungskriterien festgelegt (Werte in Anlehnung an DWA, 2014):

- Optimaler Wanderkorridor: $v_{\max, \text{opt}} = 1.0$ m/s und $h_{\min, \text{opt}} = 0.3$ m
- Suboptimaler Wanderkorridor: $v_{\max, \text{sub}} = 1.5$ m/s und $h_{\min, \text{sub}} = 0.2$ m
- Grenzwertiger Wanderkorridor: $v_{\max, \text{gr}} = 1.9$ m/s und $h_{\min, \text{gr}} = 0.2$ m

Der Nachweis eines Wanderkorridors zwischen dem Fuss und dem Kopf der Rampe gilt als erbracht, falls es eine Kontinuität von optimalen und suboptimalen Bereichen gibt, welche von grenzwertigen Abschnitten unterbrochen sein darf, wobei die Länge der einzelnen grenzwertigen Bereiche nicht grösser als 5 m ist (in Anlehnung an DWA, 2014) und die Bereiche mit optimalen Bedingungen genug lang sind, so dass die Fische sich nach der Überwindung eines Grenzwertbereiches erholen können.

2.3 Die Charakterisierung der Habitate

Zur Charakterisierung der Habitate auf der Rampe werden die Fließverhältnisse und ihre räumliche Variabilität quantifiziert und statistisch ausgewertet. Dabei werden die tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten und die Abflusstiefen verwendet, wobei für die zwei Parameter einzeln oder in Kombination (z.B. als kinetische Energie oder als spezifische Leistungsdichte) die räumlichen Dichtefunktionen berechnet werden. Weiter kann auch der Index der

morphologischen Diversität gemäss Gostner und Schleiss (2011) berechnet werden.

3 Erste Resultate

Im Rahmen der Modelluntersuchung der eigendynamischen Rampe wurden bis zur Abgabe des vorliegenden Beitrags drei Versuche durchgeführt und nur der erste Versuch konnte vollständig ausgewertet werden. Die numerische Untersuchung der Fließverhältnisse und der Wandermöglichkeiten konnte folglich nur für diesen ersten Versuch durchgeführt werden. In den folgenden Abschnitten werden die wesentlichen Resultate der Analyse präsentiert.

Die numerisch untersuchte Rampe ist das Resultat einer sukzessiven Belastung bis zu $H_{Q_{20}}$ der anfangs mit einem Gefälle von 2.5% gebauten Struktur. Dabei wird die Rampe bei jedem Belastungsschritt progressiv flacher und struktureicher (vgl. Tognacca *et al.*, 2020). Die Morphologie der resultierenden, stark strukturierten Rampe, mit einem mittleren Gefälle von rund 2.0%, ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Zur Illustration der vielseitigen hydraulischen Verhältnisse sind beispielhaft für Q_{347} die Strömungsfäden, die lokalen Fließgeschwindigkeiten sowie zwei typische Querschnitte dargestellt.

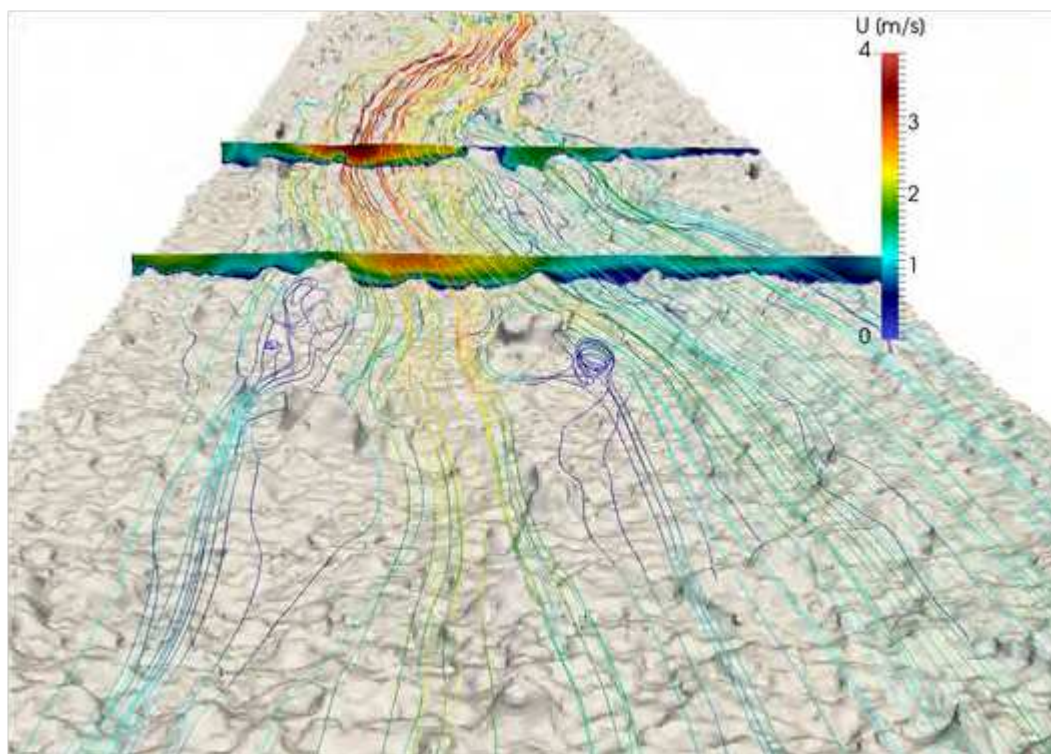


Abb. 1: Visualisierung der Sohlentopografie und der lokalen Fließgeschwindigkeiten im numerischen Modell einer 2.0% steilen, eigendynamischen Rampe anhand der Strömungsfäden und zwei ausgewählten Querschnitten für Q_{347} .

Der Nachweis der Wanderkorridore für die 2.0% steile eigendynamische Rampe ist in Abbildung 2 sowohl für Q_{36} als auch für Q_{347} erbracht. Für beide Abflüsse kann die Existenz einer Kontinuität der Zonen mit optimalen und suboptimalen Wanderbedingungen für die Äsche nachgewiesen werden, welche sich bei Q_{347} praktisch nahtlos vom Fuss bis zum Kopf der Rampe erstreckt und bei Q_{36} nur von schmalen Zonen unterbrochen wird, wo die Grenzkriterien nicht erfüllt sind.

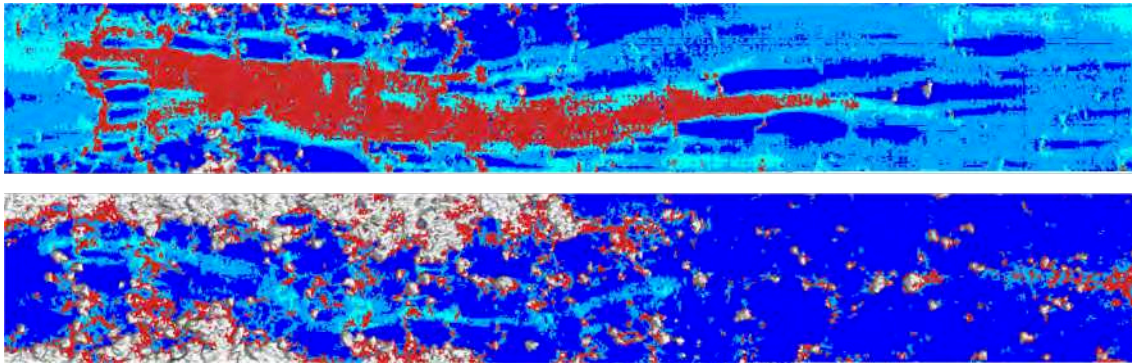


Abb. 2: Visualisierung der Wanderkorridore für die Äsche entlang der eigendynamischen Rampe für Q_{36} (oben) und für Q_{347} (unten). Die Fliessrichtung ist von links nach rechts, der dargestellte Abschnitt ist 30 m breit und rund 230 m lang. Die grauen Flächen sind die trockenen Sohlenbereiche. In den roten Bereichen sind Grenzbedingungen für die Wanderung nicht erfüllt (zu hohe Fliessgeschwindigkeit oder zu kleine Fliesstiefe). Die drei Blaustufen stellen die Wanderkorridore dar: dunkelblau: optimale Bedingungen; mittelblau: suboptimale Bedingungen; hellblau: grenzwertige Bedingungen).

Die quantitative Charakterisierung der aquatischen Habitate auf der 2.0% steilen Rampe ist in den folgenden Abbildungen für Q_{36} und für Q_{347} anhand der Dichtefunktionen verschiedener Parameter dargestellt. Vergleicht man die dargestellten Dichtefunktionen (Abb. 3 und 4) mit den oben präsentierten Kriterien für die Wanderung der Äsche, so kann man folgende Beobachtungen machen:

- Bei Q_{347} und Q_{36} hat die grosse Mehrheit der benetzten Flächen Fliesstiefen grösser als die optimale minimale Fliesstiefe (0.3 m).
- Bei Q_{347} weist auch die grosse Mehrheit der Bereiche Fliesgeschwindigkeiten tiefer als die optimale maximale Fliesgeschwindigkeit (1.0 m/s).
- Bei Q_{36} ist dagegen nur rund 20% aller Fliesgeschwindigkeitsklassen im Bereich der optimalen Fliesgeschwindigkeit (1.0 m/s). Die übrigen Fliesgeschwindigkeiten sind dagegen höher und rund 25% der benetzten Flächen weisen Geschwindigkeiten höher als die Grenzgeschwindigkeit (1.9 m/s).

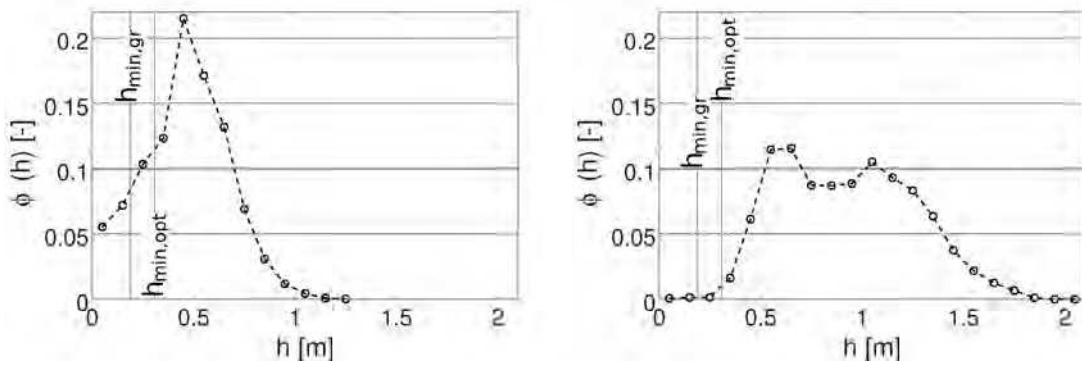


Abb. 3: Dichtefunktion der Fliesstiefen für Q₃₄₇ (links) und Q₃₆ (rechts).

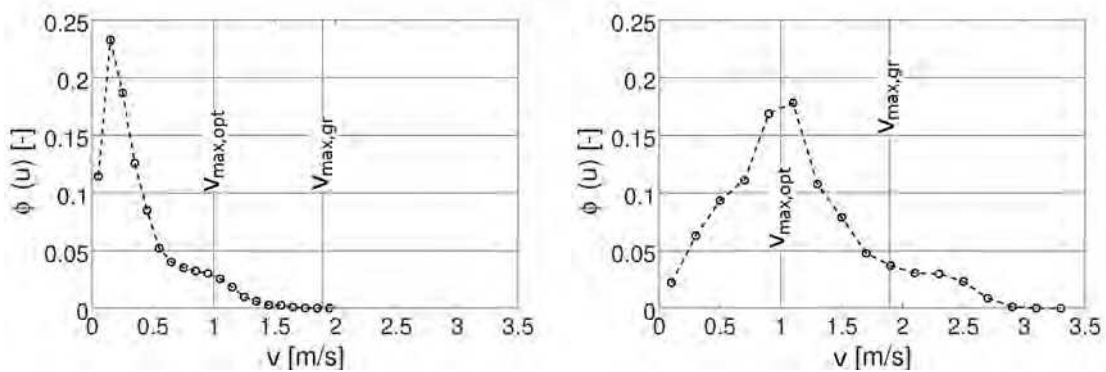


Abb. 4: Dichtefunktion der Fließgeschwindigkeiten für Q₃₄₇ (links) und Q₃₆ (rechts).

Eine Betrachtung der spezifischen Leistungsdichte (s. Abb. 5) erlaubt zu erkennen, dass die von DWA (2014) angegebenen Grenzwerte der Leistungsdichte bei der Energiedissipation p_D von 200 W/m³ für flächige Raugerinne bei Q₃₄₇ praktisch flächendeckend und bei Q₃₆ auf rund 50% der Fläche unterschritten werden.

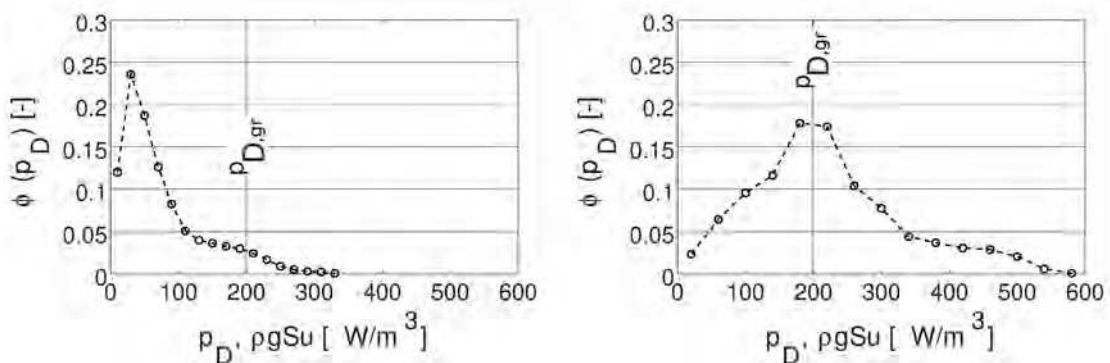


Abb. 5: Dichtefunktion der spezifischen Leistungsdichte für Q₃₄₇ (links) und Q₃₆ (rechts).

Für die Beurteilung der Passierbarkeit der Rampe kann auch die kinetische Energie der Strömung verwendet werden. Bei der Anwendung der Formel

$E = r \cdot v^2 \cdot h/2$ mit $v_{max,gr} = 1.9$ m/s und $h_{min,gr} = 0.2$ m ergibt sich ein Grenzwert der kinetischen Energie von ca. 0.36 kJ. Optimale Werte der kinetischen Energie für die Passierbarkeit der Struktur erhält man für $v_{max,opt} = 1.0$ m/s und $h_{min,opt} = 0.3$ m und sie liegen bei ca. 0.15 kJ. Aus den Dichtefunktionen der Abb. 6 ergibt sich, dass die Grenzbedingungen bezüglich kinetischer Energie bei Q₃₄₇ praktisch flächendeckend erfüllt sind, während sie bei Q₃₆ auf rund 45% der Fläche gegeben sind.

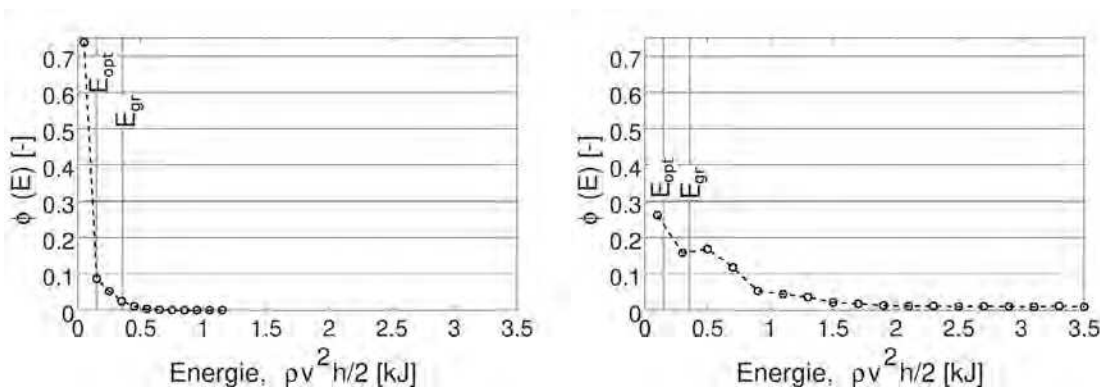


Abb. 6: Dichtefunktion der kinetischen Energie für Q₃₄₇ (links) und Q₃₆ (rechts).

In den nächsten Phasen der Arbeit werden die einzelnen Strukturen, welche bei der progressiven Steigerung der hydraulischen Belastung entstehen und sukzessive struktureicher werden, anhand der präsentierten Dichtefunktionen für die zwei repräsentativen Abflüsse Q₃₆ und Q₃₄₇ analysiert. Neben den dargestellten Größen werden auch rein geometrische Indikatoren der Struktur der Sohle und der Makrorauheiten definiert.

Der Quervergleich der präsentierten Dichtefunktionen und der theoretischen Wirksamkeit der Wanderkorridore unterschiedlicher Strukturen bei steigender Belastung bzw. steigender Differenzierung der Rampenstruktur wird wesentliche Informationen für die fischökologische Optimierung der Bauwerke geben.

4 Ausblick

Die präsentierten Analysen und Resultate geben einen ersten Einblick in die gewählte Arbeitsmethode und in die vorgesehenen Analyseverfahren der Wandermöglichkeiten für ausgewählte Fischarten entlang eigendynamischer Rampen.

In den folgenden Monaten werden weitere Versuche im physikalischen Modell durchgeführt. Dabei wird eine systematische und quantitative Analyse der eigendynamischen Strukturierungsprozesse ausgehend aus einer vordefinierten Einbaugeometrie gemacht.

Im Hinblick auf die Habitatanalyse wird die Entwicklung der Strömungsstrukturen bei einer sukzessiven stufenweisen Steigerung der hydraulischen Belastung anhand der oben definierten Kriterien analysiert. Die Anwendung der präsentierten Kriterien wird den quantitativen Vergleich unterschiedlicher Einbauanordnungen und folglich die Wahl der besten Einbauvariante für die optimale Erreichung der ökologischen Ziele ermöglichen.

Danksagung

Wir danken den Auftraggebern (Conorzio Manutenzione Arginature Riviera und Ufficio dei corsi d'acqua) für das entgegengebrachte Vertrauen und für die spannende und sehr gute Zusammenarbeit.

Referenzen

beffa tognacca gmbh (2018), Modellizzazione 3D di alvei strutturati – Dalla validazione di OpenFOAM alla sua applicazione a progetti concreti di ingegneria fluviale, 111 pp., su mandato dell'UFAM.

DWA (2014), Merkblatt DWA-M 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung.

Gostner, W., Schleiss, A. (2011) Der hydromorphologische Index der Diversität – «eine Messlatte für das ökologische Potenzial von Hochwasserschutzprojekten». Wasser Energie Luft: 4/2011, 327 – 336.

Tognacca, S., Tognacca, Ch., Toschini, E., Tamagni, S. (2021). Laboruntersuchung zum Stabilitätsverhalten eigendynamischer Rampen. Wasserbausymposium 2021 in Zürich.

Adressen der AutorInnen

Dr., dipl. Ing. ETH Christian Tognacca (korrespondierender Autor)
MSc UNIL Virginia Rossi

beffa tognacca gmbh, Ingenieurbüro für Wasserwirtschaft und Flussbau

In Carè Ventivi 27, CH-6702 Claro

ctognacca@fluvial.ch

vrossi@fluvial.ch