


# 3D Simulationen zur Fischdurchgängigkeit am Flusskraftwerk Bannwil

**Conference Paper****Author(s):**

Kammerer, Stephan; [Vetsch, David F.](#) ; Kriewitz, Robert

**Publication date:**

2021

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000508176>

**Rights / license:**

[Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International](#)

**Originally published in:**

VAW-Mitteilungen 262



## 3D Simulationen zur Fischdurchgängigkeit am Flusskraftwerk Bannwil

*3D modelling of run-of-river power plant Bannwil for planning of fish migration measures*

Stephan Kammerer, David Vetsch, Robert Kriewitz

### Kurzfassung

Das revidierte Gewässerschutzgesetz aus dem Jahr 2011 hat unter anderem die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit an Wasserkraftanlagen zum Ziel. Zur Planung von Massnahmen sowohl zum Fischeauf- als auch zum Fischabstieg, können hydronumerische 3D Modelle verwendet werden. Diese erlauben es, die hydraulischen Bedingungen am Kraftwerk für beliebige Betriebszustände detailliert abzubilden. Am Kraftwerk Bannwil an der Aare, werden je nach Fragestellung unterschiedliche Modellierungsansätze verwendet. Zur Planung von Massnahmen zum Fischabstieg sind vor allem die Strömungsverhältnisse im Bereich der Turbineneinläufe von Interesse. Die Turbinen werden dabei vereinfacht als innere Randbedingung mit Druckverlust implementiert. Im Unterwasser kann die Rotation der Turbinenabströmung mit einer speziellen Randbedingung berücksichtigt werden. Die hochauflösenden Simulationen ermöglichen eine detaillierte Beurteilung der lokalen Strömungsverhältnisse und unterstützen somit die Anordnung von Fischabstiegshilfen sowie die Optimierung der bestehenden Fischeaufstiegsanlage.

### Abstract

The revised Swiss Federal Act on the Protection of Waters of 2011 targets to restore longitudinal connectivity for aquatic species at hydropower plants. Hydro-numeric 3D models can be used to plan measures for both, fish upstream and downstream migration as they can provide detailed knowledge about the hydraulic conditions at any operating condition. At the run-off-river power plant Bannwil, different modelling approaches are being used depending on the problem. The turbine approach flow conditions are of particular interest for the planning of measures for downstream migration. The turbines are simplified as an internal boundary condition with pressure drop. The swirl effect of the turbine outflow in the downstream reach can be modelled using a specific boundary condition. The high-resolution simulations enable a detailed assessment of the local flow field and thus support the positioning of fish guidance structures as well as the optimization of the existing fish pass.

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Das Wasserkraftwerk Bannwil an der Aare zwischen Solothurn und Olten gehört mit einer Ausbauwassermenge  $Q_d = 450 \text{ m}^3/\text{s}$  zu den grösseren Flusskraftwerken der Schweiz. Das Blockkraftwerk der BKW ist mit drei horizontalachsigen Kaplan-turbinen mit einem Laufraddurchmesser von je gut 4 m ausgestattet (Abb. 1). Das Wehr besteht aus 3 Wehrfeldern mit Drucksegmentschützen und aufgesetzten Klappen. Die Anlage verfügt über eine Fischaufstiegshilfe (FAH) in Form eines Beckenschlitzpasses. Aktuell ist die Abwärtswanderung von Fischen nur durch die Turbinen und an durchschnittlich 42 Tagen pro Jahr über das Wehr möglich.

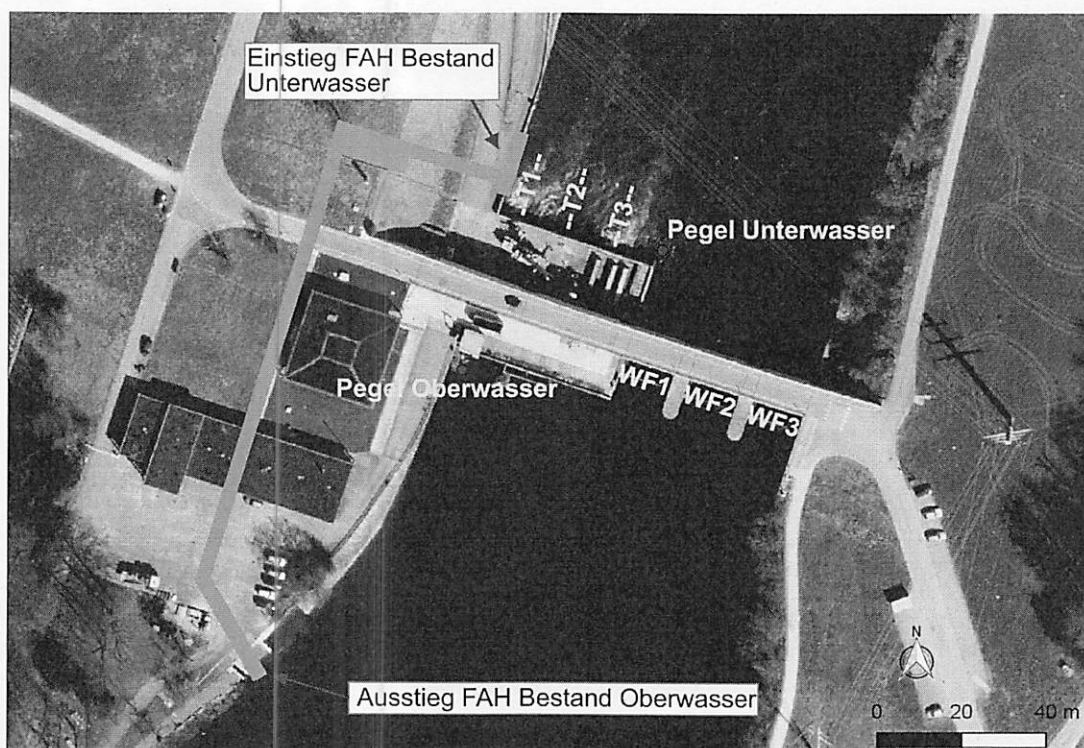


Abb. 1: Situation mit KW Bannwil, Zentrale orographisch links mit den Turbinen T1 – T3, Wehranlage mit den Wehrfeldern WF1 – WF 3 orographisch rechts. Fliessrichtung von unten links nach oben rechts. (Hintergrundbild: © 2019 swisstopo, JD 100041).

Bezüglich möglicher Lösungen zum Fischabstieg finden an der VAW numerische 3D Modellierungen im Rahmen einer Pilotstudie statt. Der Schwerpunkt dieser Untersuchungen liegt auf den hydraulischen Bedingungen an möglichen Standorten für Fischleitreehen im Oberwasser der Anlage vor den Turbineneinläufen. Im Rahmen des Bauprojekts zum Fischaufstieg soll ausserdem die bestehende FAH optimiert und erweitert werden, um den veränderten Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes gerecht zu werden. Geplant ist ein zusätzlicher Einstieg zur FAH stromabwärts der bestehenden Einstiegsöffnungen. Ausserdem soll die

Lockströmung beim bestehenden Einstieg durch die Installation einer Venturipumpe verstärkt werden.

## 1.2 Vorgehensweise

Für die numerischen 3D Simulationen zur Pilotstudie Fischabstieg wird die Software *FLOW-3D*<sup>1</sup> verwendet. Diese wurde von der VAW bereits erfolgreich u.a. im Rahmen von numerischen Untersuchungen am Kraftwerk Port/Brügg eingesetzt (VAW, 2017). Zur Planung von Massnahmen zum Fischabstieg sind vor allem die Strömungsverhältnisse im Bereich der Turbineneinläufe von Interesse. Die Turbinenlaufräder sowie die Leitapparatur und der Generator werden dabei vereinfacht als innere Randbedingung mit Druckverlust implementiert. Das Modell wird anhand von Messdaten zu Abfluss und Wasserspiegellagen validiert und die simulierten Fließgeschwindigkeiten mit ADCP Messungen verglichen.

Das Strömungsfeld unterhalb der Turbinenauslässe ist stark durch den Drall der Kaplan-Rohrturbinen beeinflusst. Aus diesem Grund wird für die Untersuchungen zum Fischaufstieg die Software OpenFOAM<sup>2</sup> verwendet, die es ermöglicht, den Drall der Turbinenabströmung durch eine spezifische Geschwindigkeitsrandbedingung abzubilden. Dieser Ansatz wurde bereits bei ähnlichen Untersuchungen u.a. von der deutschen Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) erfolgreich verwendet (Gisen *et al.*, 2016). Im Gegensatz zum *FLOW-3D* Modell wird beim OpenFOAM Modell nur der Unterwasser-Bereich der Anlage abgebildet.

## 2 Numerisches 3D Modell

### 2.1 Modellaufbau

Der modellierte Flussabschnitt umfasst eine Länge von ca. 500 m oberhalb bis etwa 250 m unterhalb der Anlage (Abb. 2). Neben den amtlichen Querprofilen werden zusätzliche ADCP Querprofilen verwendet, um ein Höhenmodell des Flussschlauchs mit Hilfe von GIS und AutoCAD Software zu triangulieren. Pläne der Bauausführung werden verwendet, um die Bauwerkskomponenten Maschinenhaus, Wehranlage (Pfeiler, Schwelle, Schützen und Tosbecken) und die Ufermauern zu konstruieren (Abb. 3).

---

<sup>1</sup> FLOW-3D: Kommerzielle CFD-Software entwickelt von Flow Science, Inc (Santa Fe, New Mexico, USA) <https://www.flow3d.com/>

<sup>2</sup> OpenFOAM: Open Source CFD-Software entwickelt von OpenCFD Ltd / OpenFOAM Foundation. <https://www.openfoam.com/>

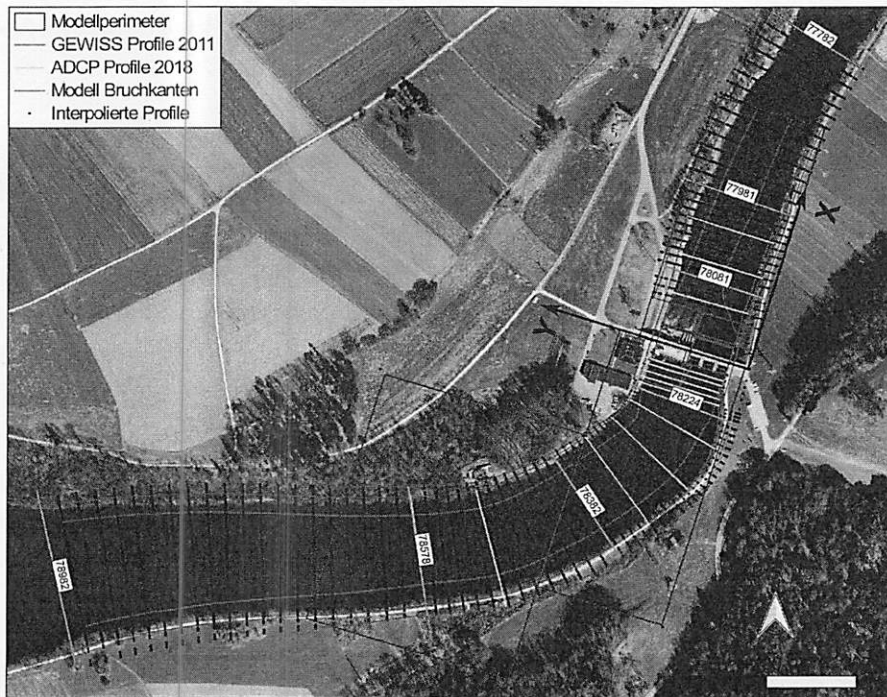


Abb. 2: Modellperimeter und topographische Daten zur Erstellung der 3D Bathymetrie der Aare oberhalb und unterhalb des KW Bannwil. Hintergrundbild: © 2019 swisstopo (JD 100041)

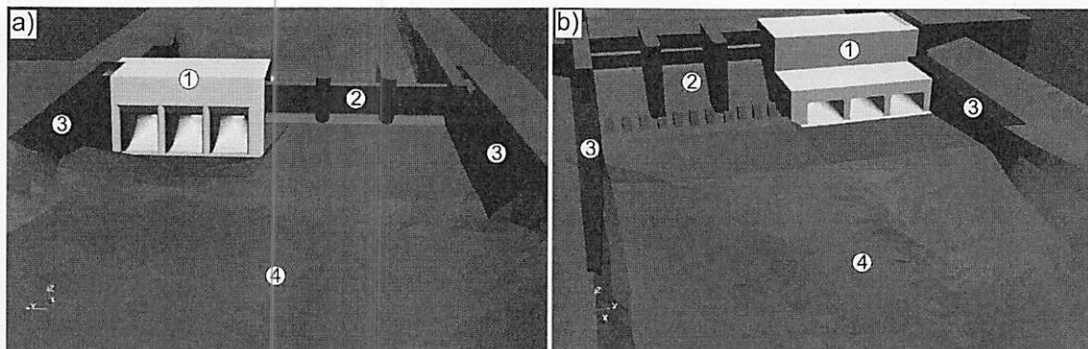


Abb. 3: Anlagen Komponenten im 3D Modell, Ansicht von a) Oberstrom und b) Unterstrom ① Maschinenhaus mit Turbinen T1-T3, ② Wehranlage mit Wehrfeldern WF1-WF3, ③ rechte und linke Ufermauer, ④ Bathymetrie der Aare.

## 2.2 Modellvalidierung

Die simulierten Fliessgeschwindigkeiten werden in verschiedenen Querprofilen im Ober- und Unterwasser mit den Resultaten von ADCP Messungen verglichen. Die Geschwindigkeitsprofile wurden mit einem ferngesteuerten Messboot (ADCP Sonde Teledyne marine RiverPro) erhoben. Pro Querprofil wurden bis zu 8 einzelne Transekte aufgenommen und gemittelt, woraus sich ein sehr stationäres Geschwindigkeitsprofil ergibt. In Abb. 4 ist beispielhaft ein Vergleich zwischen

dem 3D Modell und den Messungen dargestellt. Generell können gute Übereinstimmungen mit den ADCP Messungen erreicht werden. Die wesentlichen Strömungsmuster, die auch vor Ort zu beobachten sind, werden im Modell plausibel wiedergegeben

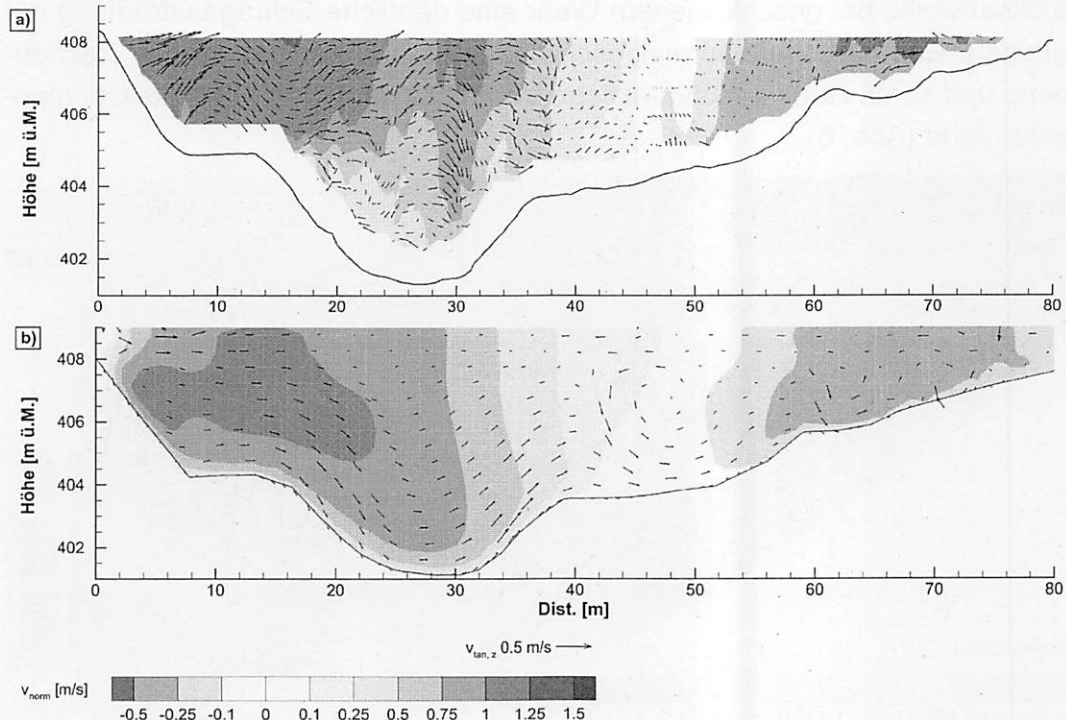


Abb. 4: Geschwindigkeitsfeld im Querprofil CS 6, 70 m unterstrom der Turbinenauslässe (Normalgeschwindigkeit als Kontur). a) ADCP Messungen (8 Transekte gemittelt), b) Resultat des numerischen 3D Modells, Blick in Fließrichtung

### 3 Exemplarische Simulationsresultate

#### 3.1 Fischabstieg Oberwasser

Ein Fischleitrechen (FLR) mit vertikal ausgerichteten Stäben soll bei KW Bannwil verhindern, dass flussabwärts wandernde Fische in die Turbinen geraten, indem sie entlang der Rechenebene zu einem Bypass und anschliessend ins Unterwasser geleitet werden. Der FLR wird dazu in einem bestimmten horizontalen Winkel  $\alpha \leq 45^\circ$  zur Hauptfließrichtung positioniert, um ein vorteilhaftes Verhältnis zwischen den tangentialen  $v_t$  und normalen  $v_n$  Geschwindigkeitskomponenten zu erreichen. Ist der Quotient  $v_t / v_n > 1$ , ist von einer guten Leitwirkung des Rechens auszugehen. Ausserdem sollten die Normalgeschwindigkeiten in der Rechenebene die Dauerschwimmgeschwindigkeit der Leitfischart nicht überschreiten, sodass Fische nicht gegen den Rechen gedrückt werden. Zur Planung des FLR bei KW Bannwil werden im Oberwasser verschieden Schnitte an möglichen Leit-

rechenpositionen extrahiert und dort die hydraulischen Bedingungen ausgewertet, ohne die tatsächliche geometrische Struktur der Rechen im Detail aufzulösen (Feigenwinter *et al.*, 2019). Als Nullvariante wird ein Schnitt mit einem Winkel  $\alpha \approx 45^\circ$  betrachtet. Wie in Abb. 5 ersichtlich, ergibt sich bei einem Kraftwerk in Blockbauweise bei geschlossenem Wehr eine deutliche Schräganströmung der Turbinen, was zu hohen Normalgeschwindigkeiten in der potentiellen Rechenebene und somit zu einem ungünstigen Verhältnis der Geschwindigkeitskomponenten führt (Abb. 6).

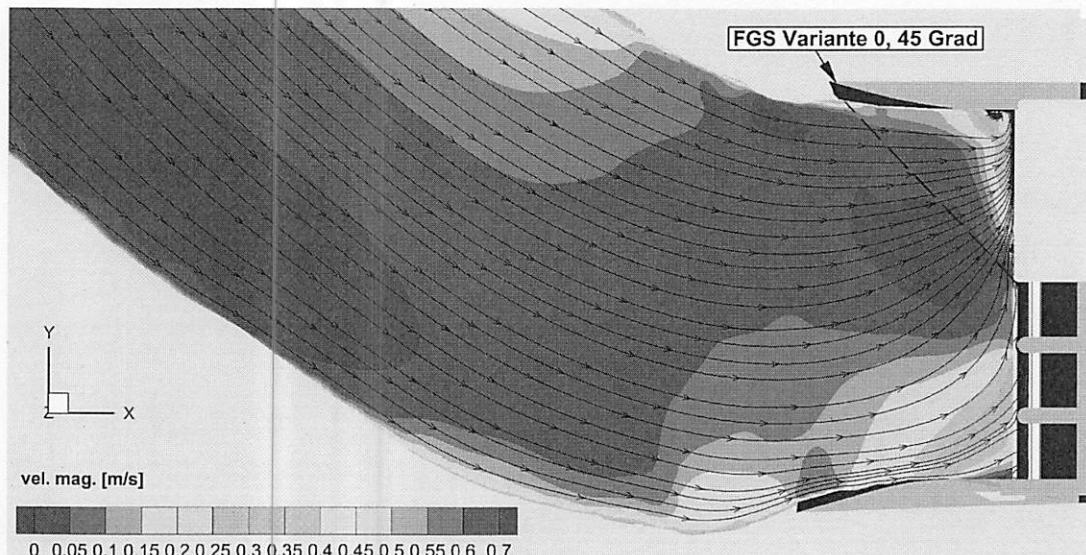


Abb. 5: Fließgeschwindigkeiten (Betrag als Kontur) und Stromlinien im Oberwasser des Kraftwerks Bannwil etwa 1 m unterhalb der Wasseroberfläche bei einem Turbinenabfluss von  $402 \text{ m}^3/\text{s}$  (Wehrfelder geschlossen).

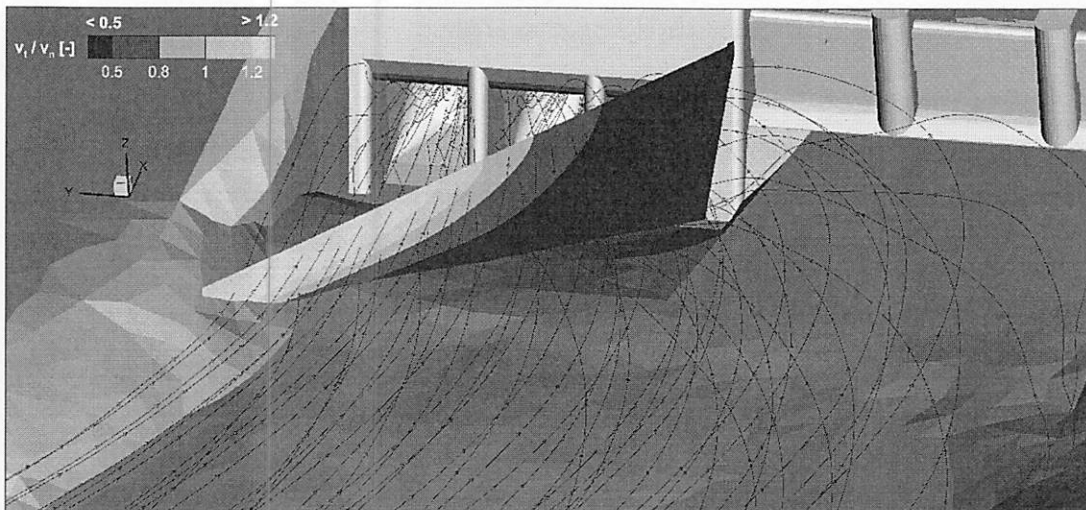


Abb. 6: Verhältnis der tangentialen ( $v_t$ ) zur normalen ( $v_n$ ) Geschwindigkeitskomponente im Schnitt einer Fischleitrechenposition mit  $45^\circ$  zur Strömung bei einem Turbinenabfluss von  $402 \text{ m}^3/\text{s}$  (Wehrfelder geschlossen)

### 3.2 Fischeufstieg Unterwasser

Im Unterwasser der Anlage werden zur Beurteilung der Fließgeschwindigkeiten beim bestehenden und beim neu geplanten Einstieg ebenfalls verschiedene Schnitte extrahiert (Abb. 7). Flussaufwärts wandernde Fische sind auf dem Weg zum bestehenden Einstieg der FAH entlang der Ufermauer mit Fließgeschwindigkeiten von 1.75 – 2.5 m/s konfrontiert. Ab etwa  $x = 60$  m sind entlang des linken Ufers Zonen mit geringeren Geschwindigkeiten von 0.25 bis etwa 1 m/s zu erkennen. Die Geschwindigkeiten verringern sich infolge des Übergangs von der senkrechten Ufermauer auf eine geneigte Uferböschung. Der geplante neue Einstieg zur FAH liegt innerhalb dieser Zone, wodurch sich dieser für schwächere Arten eignet.

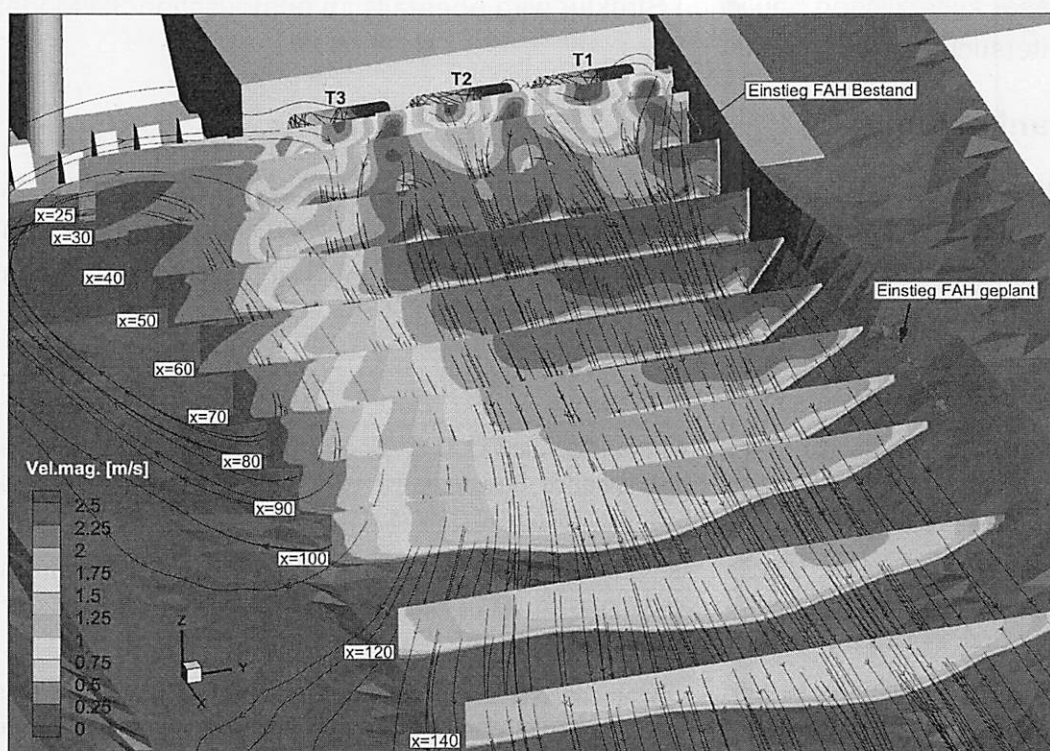


Abb. 7: Vertikalschnitte der Fließgeschwindigkeiten (Betrag als Kontur) im Unterwasser des KW Bannwil bei einem Turbinenabfluss von  $402 \text{ m}^3/\text{s}$  (Wehrfelder geschlossen)

## 4 Zusammenfassung

Im Rahmen der laufenden Pilotstudie zum Fischabstieg werden die hydraulischen Bedingungen im Oberwasser des KW Bannwil im Schnitten potentieller Leitreechenstandorte über ein weites Abflussspektrum von  $Q_{30}$  bis  $Q_{330}$  untersucht, für das die Funktionsfähigkeit der Massnahmen gewährleistet werden muss. Es zeigt sich, dass die blockweise Kraftwerksanordnung zu einer ungünstigen Anströmung eines Leitreechens in der Nullvariante führt. Das numerische Modell wird



weiterverwendet, um alternative Rechenpositionen mit günstigeren hydraulischen Bedingungen zu finden. Ein Vorteil der numerischen Modellierung ist dabei, dass relativ einfach neue Varianten und/oder zusätzliche bauliche Komponenten implementiert werden können und das Modell somit auch für die Optimierung verwendet werden kann. Im Unterwasser der Anlage konnte die Turbinenabströmung mit einem vereinfachten Ansatz erfolgreich abgebildet werden. Das Modell konnte dadurch zur Optimierung des bestehenden Einstiegs zur FAH und zur Positionierung des neu geplanten Einstiegs verwendet werden. In einer weiterführenden Untersuchung wird das Modell um zusätzliche Komponenten erweitert. So plant der Betreiber beispielsweise die Auffindbarkeit des bestehenden Einstiegs durch einen Sohlanschluss mittels Rampe zu verbessern. Der Einfluss dieser zusätzlichen baulichen Struktur wird ebenfalls im numerischen 3D Modell untersucht.

### **Danksagung**

Die VAW bedankt sich bei der BKW Energie AG für den Auftrag zur 3D Simulationen zur Fischdurchgängigkeit am Flusskraftwerk Bannwil. Die Aufträge im Rahmen des Pilotprojekts zum Fischabstieg sowie des Ausbauprojekts zum Fischaufstieg bilden die Grundlage für diesen Beitrag.

### **Referenzen**

- Feigenwinter, L., Vetsch, D.F., Kammerer, S., Kriewitz, C.R., Boes, R.M. (2019). Conceptual Approach for Positioning of Fish Guidance Structures Using CFD and Expert Knowledge. *Sustainability* 2019, 11, 1646. <https://doi.org/10.3390/su11061646>
- Gisen, D.C., Weichert, R.B., Nestler, J.M. (2016). Optimizing attraction flow for upstream fish passage at a hydropower dam employing 3D Detached-Eddy Simulation. *Ecol Eng* 2017, 100, 344-353, doi:10.1016/j.ecoleng.2016.10.065
- VAW (2017), Numerische Modelluntersuchungen des Regulierwehrs Port und des Kraftwerks Brügg, VAW-Bericht Nr. 4360, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich. (nicht publiziert)

## **Adressen der Autoren**

Stephan Kammerer (korrespondierender Autor)

Dr. David Florian Vetsch

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich

CH-8093 Zürich, Höggerbergring 26

[kammerer@vaw.baug.ethz.ch](mailto:kammerer@vaw.baug.ethz.ch)

Dr. Carl Robert Kriewitz

Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich (ehemals BKW Energie AG, Bern)

