

Optimierung der Anströmbedingungen eines Fischleitrechens beim KW Herrentöbeli mittels 3D-numerischer Simulation

Yannick Marschall, Claudia Leuch, Ismail Albayrak, Robert Boes und David Vetsch

Zusammenfassung

Das revidierte Schweizer Gewässerschutzgesetz von 2011 fordert die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit an Querbauwerken, wie z.B. Wasserkraftwerken. Während der Fischaufstieg bei vielen Anlagen bereits ermöglicht wurde, ist ein gefahrenfreier Fischabstieg häufig noch nicht zufriedenstellend gelöst. Am Laufwasserkraftwerk Herrentöbeli an der Thur im Kanton St. Gallen können Fische bisher nur durch die Rohrturbinen oder bei Hochwasser über das Wehr absteigen. Da für den Fischabstieg noch kein Patentrezept existiert, wurde das Kraftwerk Herrentöbeli als Pilotprojekt für ein Fischleitrechen-Bypass-System mit einem *Curved-Bar-Rack* (CBR-BS) ausgewählt. Der Curved-Bar Rack (CBR) zeichnet sich durch die spezielle, stromlinienförmige Krümmung der Rechenstäbe aus und führt durch die Veränderung des Strömungsfeldes entlang des Rechens zu einer Lenkung der Fische in den Bypass. So können die Stababstände vergleichsweise groß und die Rechenverluste klein gehalten werden. Entscheidend für die Fischleiteffizienz des CBR-BS ist jedoch eine homogene Anströmung mit nicht zu großen Geschwindigkeiten. Im Rahmen des Pilotprojekts wurde die Optimierung der Strömungsbedingungen im Zulaufkanal mittels 3D-numerischer Simulationen durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Varianten für die geometrische Ausbildung einer Geschiebespülrinne und des Einlaufbereichs des Bypasses untersucht und verglichen. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Vermeidung von Wirbelstrukturen gelegt, welche durch Ablösungsprozesse an prägnanten Kanten und in Nischen erzeugt werden. Die turbulente Struktur der Wirbel kann zur Desorientierung und Abschreckung der Fische führen und somit die Leitfähigkeit des CBR-BS vermindern. Die Varianten wurden ebenfalls auf Machbarkeit und Kosteneffizienz überprüft, bevor eine Bestvariante für den Umbau des Kraftwerks vorgeschlagen wurde. In der Wintersaison 2021/22 wurden die baulichen Maßnahmen entsprechend der vorgeschlagenen Variante umgesetzt.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Das revidierte Schweizer Gewässerschutzgesetz von 2011 hat unter anderem die Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit an Querbauwerken wie z.B. Wasserkraftanlagen zum Ziel. Insbesondere der Fischabstieg ist bisher an vielen Kraftwerken nicht zufriedenstellend gelöst. Eine Möglichkeit für einen fischschonenden Abstieg sind sogenannte Fischleitrechen-Bypass-Systeme. An der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) wurde ein Fischleitrechen mit gekrümmten Stäben und großem Stababstand (*Curved-Bar Rack*) entwickelt (Beck, 2020; Beck et al., 2020a; Beck et al., 2020b; Beck et al., 2020c), um die hydraulischen Verluste zu reduzieren und eine asymmetrische Turbinenanströmung zu vermeiden. Am Wasserkraftwerk Herrentöbeli an der Thur im Kanton St. Gallen, Schweiz, ist der Fischabstieg nur durch die Turbinen oder bei Hochwasser über das Stauwehr möglich. Aus diesem Grund sollte die Wirksamkeit des *Curved-Bar Racks* (CBR) im Rahmen eines Pilotprojekts untersucht werden.

Das KW Herrentöbeli wird von der St.Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke AG betrieben und befindet sich in einer Linkskurve des Flusses Thur in der Nähe der Ortschaft Nesslau im Kanton

St. Gallen, Schweiz. Oberhalb eines natürlichen Wasserfalls wird die Thur mit einer 3.6 m hohen Wehrmauer aufgestaut. Die Stauwurzel liegt je nach Abfluss und Staupegel zwischen 150 m und 200 m stromaufwärts des Kraftwerks. Der gesamte Stauraum liegt in einer Rechtskurve (Abb. 1). Dies führt zu einer asymmetrischen Anströmung des Zulaufkanals. Vom Zulaufkanal wird das Wasser zur Stromgewinnung in die Rohrturbinen geleitet. Das Kraftwerk liegt in einem alpinen Einzugsgebiet mit einem großen Dargebot an Geschiebe und Treibholz, welches insbesondere während Hochwasserereignissen angeschwemmt wird. Der Abfluss der Thur wird maßgebend von der Schneeschmelze in den Frühlingsmonaten beeinflusst. Der mittlere Abfluss liegt bei ca. $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Die Ausbauwassermenge des KW Herrentöbeli beträgt $Q_A = 11 \text{ m}^3/\text{s}$.

Ziel der Pilotstudie sind die Projektierung und die Untersuchung der Wirksamkeit des CBR-BS. Analog zum bestehenden Einlaufrechen vor den Turbinen wurde hier ein CBR-Stababstand von 25 mm gewählt. Im Rahmen dieses Beitrages wird hauptsächlich auf die Evaluation verschiedener Rechenpositionen und die geometrischen Anpassungen des Zulaufkanals während der Projektierung eingegangen.



Abb. 1 Situation KW Herrentöbeli mit Modellperimeter (gelb strichlierte Linie) (Bild: map.geo.admin.ch)

1.2 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt wurde der Projektperimeter während zweier Feldmesskampagnen vermessen, und Validierungsdaten wurden erhoben. Mit Hilfe eines ADCP-Bootes (*Acoustic Doppler Current Profiler*) wurden in verschiedenen Querschnitten im Stauraum die Fließgeschwindigkeit gemessen und die Bathymetrie vermessen (Maddahi et al., 2021). Anschließend wurden zur Evaluation möglicher Rechenstandorte 3D-numerische Simulationen im Projektperimeter durchgeführt. Dafür wurde ein digitales 3D-Modell des Stauraums und des Zulaufkanals erstellt. Die Resultate der numerischen Simulationen wurden mit den Messdaten aus den Feldmessungen validiert. Sämtliche Simulationen wurden mit der Software OpenFOAM als URANS (*Unsteady Reynolds-Averaged Navier-Stokes*) Simulationen durchgeführt. Für die Bewertung der potentiell-

len Rechenstandorte wurden vorgängig verschiedene Fischleitkriterien definiert. So soll im Bereich des Rechenquerschnitts die Geschwindigkeitskomponente tangential zum Rechen v_t grösser sein als die senkrecht auf den Rechen wirkende Normalgeschwindigkeit v_n (Larinier & Couret, 2008):

$$v_t/v_n > 1 \quad [1]$$

Weiter wurde eine maximale Normalgeschwindigkeit am Leitrechen nach den Empfehlungen von Ebel (2016) und O’Keeffe & Turnpenny (2005) bestimmt. Demnach soll sich die maximale Normalgeschwindigkeit nach der maximalen Dauerschwimmgeschwindigkeit v_{opt} der vorherrschenden Leitfischart richten. Aufgrund der natürlichen Gegebenheiten (hoher Wasserfall) ist ein Fischaufstieg im Bereich des KW Herrentöbels nicht möglich. Im betrachteten Flussabschnitt wurden daher auch vorwiegend juvenile Bachforellen beobachtet. Daraus wurde das folgende Kriterium bzgl. Normalgeschwindigkeit definiert:

$$v_n \leq v_{opt} = 0.5 \text{ m/s} \quad [2]$$

Als drittes Kriterium, insbesondere für die Akzeptanz des Bypasses, wurde das Verhältnis von Bypass-Einlaufgeschwindigkeit $U_{By,in}$ zur mittleren Anströmgeschwindigkeit U_0 (*Velocity Ratio, VR*) definiert:

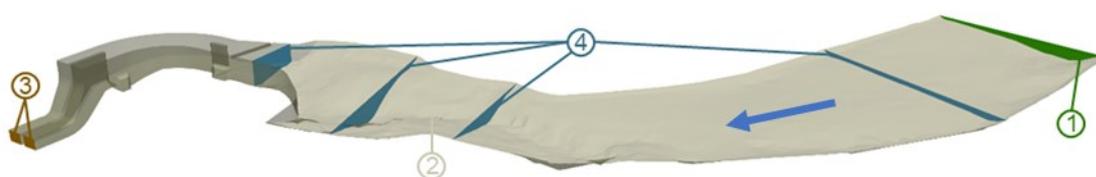
$$VR = U_{By,in} / U_0 \quad [3]$$

Für Fischleitrechen mit *Horizontal Bar Racks* werden Werte von $1.0 \leq VR \leq 2.0$ (Ebel, 2016) empfohlen. Beck et al. (2020a) zeigte für den CBR, dass die Bypass-Passagen bei $VR > 1.2$ abnehmen. Die Simulationen wurden daher mit $VR = 1.1$ und $VR = 1.2$ durchgeführt. Zum Erreichen der Fischleitkriterien und einer verbesserten Turbinenanströmung wurden neben der bisherigen Geometrie des Zulaufkanals auch diverse bauliche Anpassungen untersucht. Dafür wurde jeweils das 3D-Modell angepasst und neue Simulationen durchgeführt.

2 Numerisches Modell

2.1 Erstellung 3D-Modell

Für die Durchführung der numerischen Simulationen wurde ein 3D-Modell mit allen relevanten geometrischen Details erstellt. Um den Einfluss der Rechtskurve im Stauraum auf die Anströmbedingungen zu berücksichtigen, erstreckt sich das 3D-Modell vom Beginn der Kurve bis zu den Turbinen (Abb. 2). Die Geometrie im Stauraum wurde aus den Daten der Feldmessungen mit dem ADCP-Boot erstellt. Die Geometrie des Zulaufkanals konnte mittels Baupläne des Kraftwerks rekonstruiert werden. Im Verlauf des Projektes wurden die baulichen Anpassungen ebenso in das 3D-Modell eingearbeitet.



① Einlass ② Sohle & Seitenwände ③ Auslass ④ Querprofile CS 01_01 bis CS 01_04

Abb. 2 Umrandung des Rechengitters (ohne Deckel) mit Querprofilen zur Validierung im Istzustand

2.2 Rechengitter und Randbedingungen

Die Modellbegrenzung wird hauptsächlich durch die Bathymetrie und die Geometrie des Zulaufkanals definiert. Um die Rechenzeit der Simulation zu reduzieren, wurde die sogenannte *Rigid Lid* Methode verwendet: Da Wasserspiegeländerungen während einer Simulation vernachlässigbar sind, wird das Modell nach oben durch einen starren Deckel begrenzt. Für die maßgebenden Lastfälle $Q_{330} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$ und $Q_{30} = 22.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (Istzustand) bzw. Q_A (Neuzustand) wurde ein konstanter Zufluss gewählt. Im Bereich der Turbinen (Ausströmrand) wurde die Geometrie des Kanals vereinfacht. An der Stelle der beiden Turbinen wurde eine Druckrandbedingung angesetzt. Da im Lastfall Q_{330} jeweils nur eine Turbine in Betrieb ist, wurden die Strömungsverhältnisse für beide Turbinen (links, rechts) separat untersucht. Für den Lastfall Q_{30} besteht ein höherer Staupegel und Wehrüberfall. Dies wurde durch einen weiteren Ausströmrand entlang der Wehrkrone abgebildet. Die Fließgeschwindigkeit im Bypass wurde entsprechend des VR-Kriteriums (Gl. [3]) festgelegt.

Unter Einbezug der Randbedingungen wurde ein Rechengitter für jede geometrische Konfiguration (z.B. Wasserspiegellage, bauliche Anpassungen) erstellt. Dabei wurde das Gitter in Bereichen von besonderem Interesse, wie z.B. Zulaufkanal oder Eingang des Bypasses, verfeinert. Die verwendeten Rechengitter wiesen eine Größe von bis zu 2 Mio. Zellen auf. Für die Simulationen im Istzustand wurden zwei Rechengitter erstellt, für die Simulationen des Neuzustandes wurden insgesamt 14 Konfigurationen überprüft.

2.3 Detailmodell

Eine detaillierte Abbildung der Stäbe des Fischleitrechens im 3D-numerischen Modell würde zu einem unpraktikabel großen Berechnungsaufwand führen. Alternativ wurde eine innere Randbedingung implementiert, welche die von den Rechenstäben verursachte Beeinflussung des Strömungsfelds (Strömungsumlenkung und lokale Verluste) abbildet. Um die entsprechende Strömungsumlenkung zu ermitteln, wurde für die untersuchte Stabform ein separates Detailmodell erstellt, in welchem die Rechenstäbe abgebildet werden konnten (Leuch et al., 2022). Aus den Resultaten dieser Simulationen konnte die Strömungsumlenkung abgeleitet werden.

3 Simulation Istzustand

3.1 Validierung

Zur Validierung des 3D-numerischen Modells wurden die zeitlich gemittelten Fließgeschwindigkeiten in vier Querschnitten im Stauraum (Abb. 2, CS01_01 bis CS01_04) aus den Feldmessungen mit den Simulationsergebnissen verglichen. In Abb. 3 (oben) sind die Resultate für den Querschnitt CS01_03 während der ersten Messkampagne visualisiert. Messungen nahe der Wasseroberfläche und der Sohle sind mit der verwendeten Messtechnik nicht möglich. In den weiteren Bereichen kann jedoch eine sehr gute Übereinstimmung der Fließgeschwindigkeiten aus den Simulationen (Abb. 3, unten) beobachtet werden. Die Region mit erhöhter Fließgeschwindigkeit im Zentrum des Querschnittes wird durch das numerische Modell ebenso gut abgebildet wie die strömungsberuhigte Zone in der linken Querschnittshälfte. Die weiteren Querschnitte zeigen ebenfalls eine gute Übereinstimmung der Messdaten und der Simulationsergebnisse.

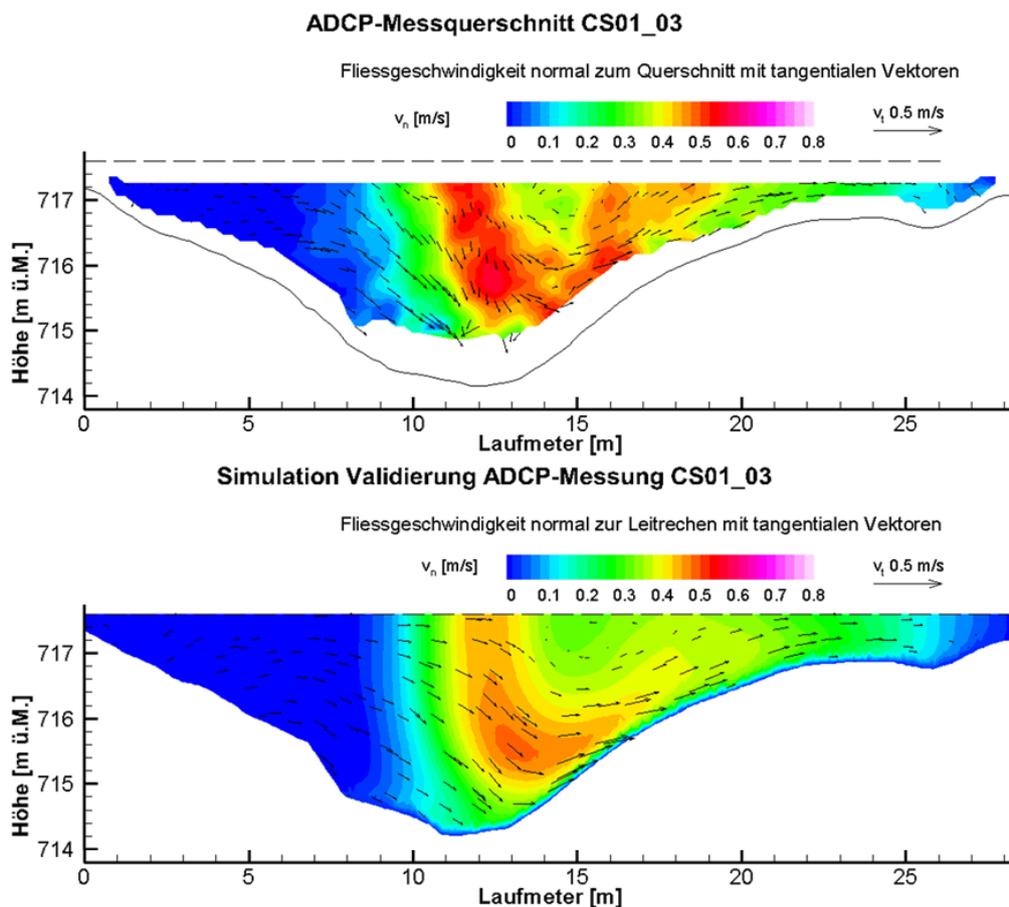


Abb. 3 Vergleich der Geschwindigkeitsprofile im Schnitt CS 01_03 zwischen der ADCP-Messung (oben) und der numerischen Simulation (unten)

3.2 Rechenpositionen im Istzustand

In einem ersten Schritt wurden je zwei Rechenpositionen im Zulaufkanal (Anströmwinkel $30^\circ/50^\circ$) und im Stauraum (Anströmwinkel $30^\circ/45^\circ$) definiert und auf die Fischleitfähigkeit mit Hilfe der obengenannten Kriterien überprüft. Dafür wurden die Fließgeschwindigkeiten orthogonal und parallel zu den entsprechenden Rechenquerschnitten bestimmt. Eine untersuchte Rechenposition im Zulaufkanal (Anströmwinkel 50°) ist in Abb. 4 durch die blau eingezeichnete Fläche angedeutet. In den Simulationen des Istzustands sind für den Fischleitrechen notwendige bauliche Anpassungen nicht eingeschlossen. Trotzdem geben die Resultate bereits eine gute Übersicht, welche Positionen im Projekt weiterverfolgt werden sollten und welche verworfen werden können.

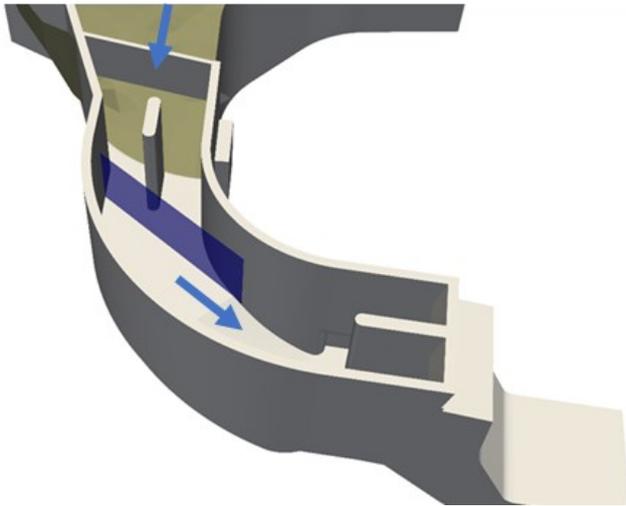


Abb. 4 3D-Modell des Zulaufkanals im Istzustand. Die blaue Fläche zeigt exemplarisch eine untersuchte Rechenposition mit Anströmwinkel 50° im Zulaufkanal

Aus der Auswertung der vier untersuchten Positionen konnten folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Aus baulichen Gründen muss das CBR-BS im Bereich vor der Kurve des Zulaufkanals und vor dem Pfeiler zu liegen kommen.
- Die Simulationen haben im Bereich des Stauraums hohe Fließgeschwindigkeiten entlang der Sohle aufgezeigt, weshalb ein Fischleitrechen im Stauraum vermieden werden sollte.
- Ein Anströmwinkel von 45° oder größer führt zur Nichterfüllung der Anströmkriterien, ein Anströmwinkel von 30° und geringer führt zu unverhältnismäßig großen Baukosten.
- Bauliche Anpassungen des Zulaufkanals und ein Anströmwinkel zwischen 30° und 45° werden empfohlen, um alle o.g. Kriterien zu erfüllen.

4 Simulationen mit angepasster Geometrie

Bedingt durch die beschränkten Platzverhältnisse im Bereich des Zulaufkanals wurde beschlossen, dass eine bauliche Anpassung der Geometrie des Zulaufkanals erforderlich ist. In der Folge wurde insbesondere der Einlaufbereich des Zulaufkanals verändert, sodass ein Fischleitrechen mit einem Anströmwinkel von 37° realisierbar ist. Die wichtigsten Elemente der Anpassungen umfassen die Verlängerung der orographisch rechten Mauer des Zulaufkanals in den Stauraum, sodass eine gleichförmigere Anströmung erreicht wird. Weiter wurde die Spülrinne zur Geschiebeabfuhr durch den Grundablass ebenfalls im Winkel von 37° leicht oberstrom des Fischleitrechens angeordnet (siehe Abb. 5). Für den Betrieb der Rechenreinigungsmaschine wurden im Bereich des Eingangs zum Bypass Nischen angeordnet (Abb. 6). Der Bypass führt die Fische vom linken Ende des Fischleitrechens aus dem Zulaufkanal in das Unterwasser.

Die geplanten baulichen Anpassungen am Zulaufkanal wurden entsprechend der Baupläne in das 3D-Modell übertragen. Die numerischen Simulationen ermöglichen, den Effekt einzelner Maßnahmen auf das Strömungsfeld zu untersuchen und gegebenenfalls Optimierungen vorzunehmen. Aus diesem Grund wurden die verschiedenen geometrischen Anpassungen schrittweise in das 3D-numerische Modell eingeführt und überprüft. In einem ersten Schritt wurden verschiedene Ausführungen der Geschiebespülrinne untersucht. Für mehrere Varianten konnte gezeigt werden, dass durch die Geschiebespülrinne Wirbelstrukturen entstehen, welche bis in

den Rechenquerschnitt reichen und somit die Fischleitfähigkeit negativ beeinträchtigen können (Abb. 5). Als Bestvariante stellte sich eine schlanke Ausbildung der Spülrinne heraus, d.h. eine geringe Tiefe der Rinne mit abgerundeter Stufe, sodass die Wirbelbildung verringert und Strömungsablösungen vermieden werden (vgl. Abb. 7).

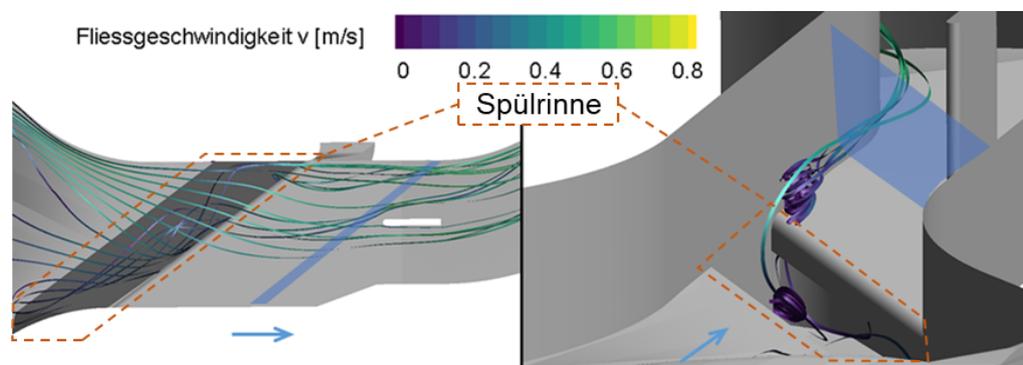


Abb. 5 Wirbelbildung in der Spülrinne mit Auskrägung, visualisiert durch die Stromlinien in der Draufsicht (links) und in der räumlichen Ansicht (rechts). Die blaue Fläche repräsentiert die Position des Fischleitrechens

Im nächsten Schritt wurden weitere Elemente des CBR-BS implementiert, so z.B. die für die Rechenreinigung nötigen Nischen sowie der Rechen selber. Mit Hilfe der numerischen Simulationen konnte die Entstehung von starken Ablösungen im Bereich der Nischen beobachtet werden (Abb. 6). Die Wirbel können einerseits zur Desorientierung und Abschreckung der Fische führen, andererseits werden durch die Strömungsablenkung auch die Kriterien der Fischleitfähigkeit im Bereich des Eingangs zum Bypass nicht mehr erfüllt. Aus diesem Grund wurden weitere Verbesserungen der Strömungsgegebenheiten im Zulaufkanal und rund um den Eingang des Bypasses angestrebt.

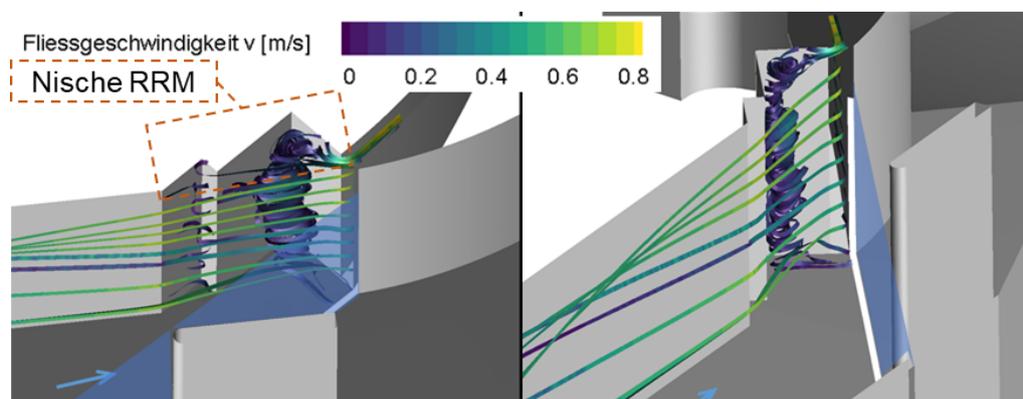


Abb. 6 Wirbelbildung in den Nischen für die Rechenreinigungsmaschine (RRM), visualisiert durch die Stromlinien. Die blaue Fläche repräsentiert die Position des Fischleitrechens

Zur Reduktion der Wirbelbildung im Eingangsbereich des Bypasses wurde eine Schutzklappe entwickelt, welche die Nischen überdeckt, solange die Rechenreinigungsmaschine nicht verwendet wird. Dadurch wird die Strömungsablenkung an Kanten vermieden und die Strömung folgt der Wand entlang. Wie in Abb. 7 ersichtlich, entsteht lediglich ein schwacher Wirbel im Bereich der Spülrinne, während im Eingangsbereich des Bypasses keine Wirbel mehr zu beobachten sind. Weiter wurde der *Curved-Bar Rack* mit Sohleitwand (*Bottom Overlay*) ausgeführt, da dies gemäß Laborversuchen zu einer deutlichen Erhöhung der Fischleitfähigkeit führt (Albayrak et al., 2020). Die leichte Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten oberhalb der Sohleitwand wird dafür in

Kauf genommen. Das Kriterium der maximalen Fließgeschwindigkeit in der Rechenebene kann dennoch eingehalten werden (Abb. 8, oben). Ebenso wird das Kriterium des Verhältnisses der Tangential- zu Normalgeschwindigkeiten fast über die komplette Rechenebene erfüllt (Abb. 8, unten). Der Bypass wurde so entworfen, dass der Bypassabfluss und somit die Fließgeschwindigkeit mittels Klappe gesteuert werden kann. Das angestrebte Verhältnis von Bypass-Einlaufgeschwindigkeit $U_{By,in}$ zur mittleren Anströmgeschwindigkeit U_0 kann somit je nach Bedarf angepasst werden. In den Simulationen wurde ein Wert $VR = 1.1$ verwendet.

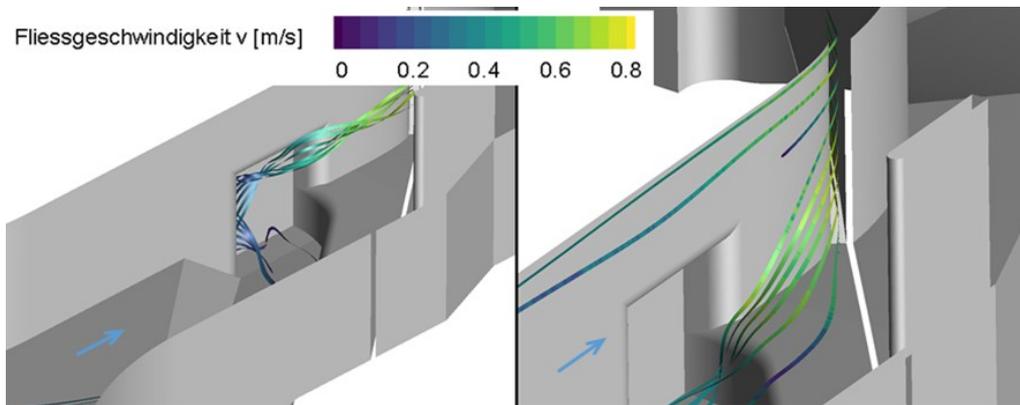


Abb. 7 Reduzierte Wirbelbildung in der Spülrinne und Vermeidung von Wirbelstrukturen im Bereich des Eingangs zum Bypass, visualisiert mit Stromlinien. Die blaue Fläche repräsentiert die Position des Fischleitrechens

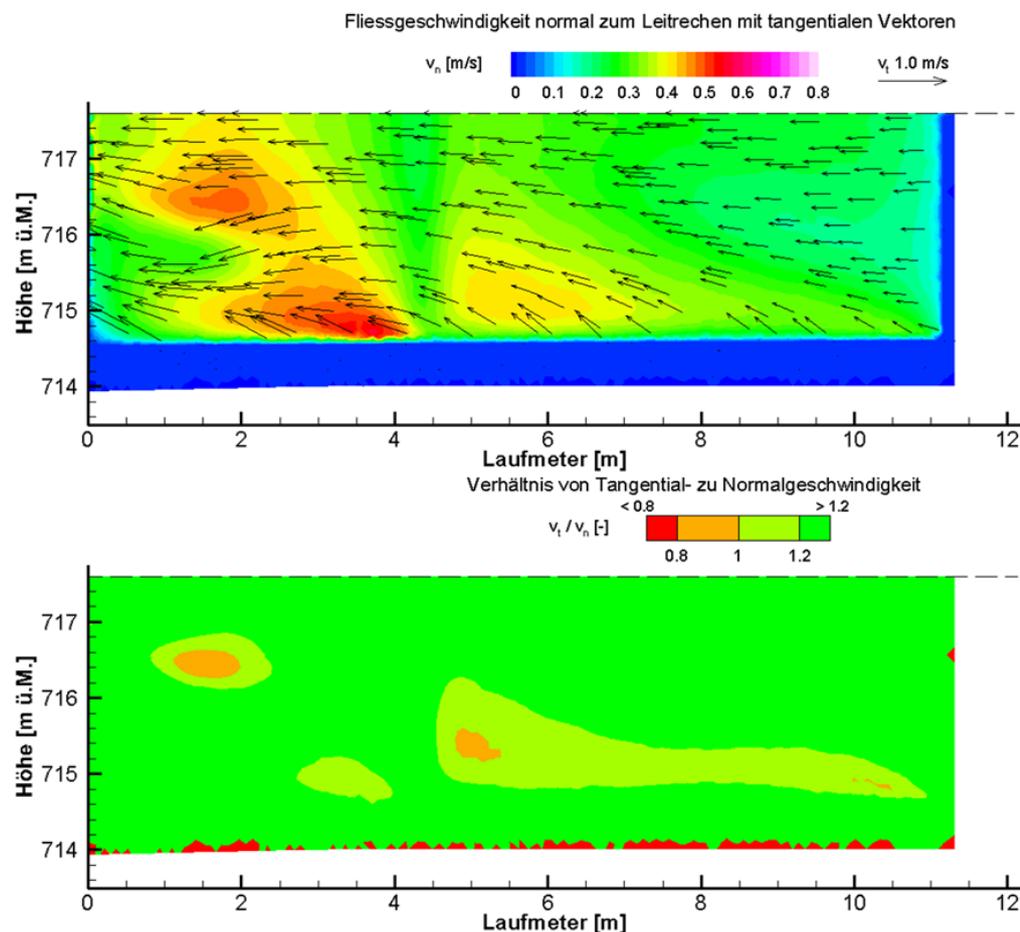


Abb. 8 Normal- und Tangentialgeschwindigkeiten in der Rechenebene (oben) und Verhältnis von Tangential- zu Normalgeschwindigkeit (unten) für Lastfall Q_A

5 Ausblick

Die oben beschriebene Variante mit strömungsoptimierter Geschiebespülrinne und optimierten Einlaufbereich des Bypasses wurde im Anschluss an die Planungsarbeiten als Bauprojekt ausgeführt. Seit Frühling 2022 ist die Pilotanlage KW Herrentöbeli mit CBR-BS im Einsatz. Als Teil des Pilotprojekts wird die Fischwanderung auch in den Folgejahren beobachtet und die effektive Wirksamkeit des CBR-BS überprüft. Erste Resultate zeigen ein positives Bild und bestätigen den Aufwand in der Planungsphase. Wir sind zuversichtlich, dass die weiteren Untersuchungen die Wirksamkeit des beschriebenen Fischleitreehen-Bypass-Systems mit *Curved-Bar Rack* im praktischen Einsatz bestätigen und das System auch an anderen Kraftwerksanlagen bei sorgfältiger Planung zur Verbesserung des Fischschutzes und -abstiegs beitragen kann.

Literatur

- Albayrak, I., Boes, R.M., Kriewitz-Byun, C.R., Peter, A., Tullis, B.P. (2020). Fish guidance structures: hydraulic performance and fish guidance efficiencies. *Journal of Ecohydraulics*, 5(2): 113-131, <https://doi.org/10.1080/24705357.2019.1677181>.
- Beck, C. (2020). Fish protection and fish guidance at water intakes using innovative curved-bar rack bypass systems. *VAW-Mitteilung 257*, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). (R. M. Boes, Hrsg.), ETH Zürich, Schweiz.
- Beck, C., Albayrak, I., Meister, J., Peter, A., Selz, O.M., Leuch, C.; Vetsch, D.F., Boes, R.M. (2020a). Swimming Behavior of Downstream Moving Fish at Innovative Curved-Bar Rack Bypass Systems for Fish Protection at Water Intakes. *Water*, 12 (11), 3244, <https://doi.org/10.3390/w12113244>.
- Beck, C., Albayrak, I., Meister, J., Boes R.M. (2020b). Hydraulic performance of fish guidance structures with curved bars: Part 1: Head loss assessment. *Journal of Hydraulic Research*, 58(5), 807-818, <https://doi.org/10.1080/00221686.2019.1671515>.
- Beck, C., Albayrak, I., Meister, J., Boes R.M. (2020c). Hydraulic performance of fish guidance structures with curved bars: Part 2: Flow fields. *Journal of Hydraulic Research*, 58(5): 819-830, <https://doi.org/10.1080/00221686.2019.1671516>.
- Ebel, G. (2016). Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Handbuch Rechen- und Bypasssysteme. *Ingenieurbioologische Grundlagen, Modellierung und Prognose, Bemessung und Gestaltung*. Mitteilung aus dem Büro für Gewässerökologie und Fischereibiologie Dr. Ebel.
- Larinier, M. ; Couret, D. (2008). Guide pour la conception de prises d'eau «ichtyocompatibles» pour les petites centrales hydroélectriques. *RAPPORT GHAAPPE RA.08.04*.
- Leuch, C., Beck, C., Albayrak, I., Vetsch, D.F., Boes, R.M. (2022). Analysis and Optimization of Hydraulic Characteristics at Fish Guidance Structures Using CFD. *Proc. of the 39th IAHR World Congress, Granada, Spain, 3721-3728*.
- Maddahi, M.R., Rahimpour, M., Boes, R.M., Albayrak, I. (2021). Determining minimum number of transects for accurate flow measurements using moving vessel ADCPs. In *Proc. of 13th Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering, Zurich, Switzerland, 48-51*.
- O’Keeffe, N.; Turnpenny, W. H. (2005). *Screening for intake and outfalls: a best practice guide*. Science Report SC030231, Bristol (Environment Agency)

Anschrift der Verfasser

Yannick Marschall, Dr. Ismail Albayrak, Prof. Dr. Robert M. Boes, Dr. David F. Vetsch
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich
Hönggerberggring 26, CH-8093 Zürich
marschall@vaw.baug.ethz.ch

Claudia Leuch
Hunziker, Zarn & Partner (ehemals VAW)
Schachenallee 29, CH-5000 Aarau