

Ein Fisch ist kein Punkt: Analyse von Strömungssignaturen in Fischaufstiegsanlagen mit einem Seitenlinien Sensor

Die Motivation dieser Studie ist es, Strömungen in Fischaufstiegsanlagen (FAA) „wie ein Fisch“ zu erfassen und zu klassifizieren. Dies ist mit dem Seitenliniensensor, einer fischförmigen seitenlinienorganähnlichen Messsonde, möglich. Im Rahmen des Projektes RoboFish wurde diese Fischsonde erstmals im Feld in drei verschiedenen Vertical-Slot-Fischpässen eingesetzt, um die in der Praxis auftretenden Strömungssignaturen in den Schlitzen und Becken zu erfassen. Dabei wird für jede FAA (aufgrund der Charakteristika wie Beckengröße und Durchfluss) eine typische Signatur (Standard-signatur) ermittelt, anhand welcher die Becken charakterisiert werden können.

Jeffrey A. Tuhtan, Juan Fran Fuentes-Perez, Gert Toming, Matthias Schneider und Martin Schletterer

1 Hintergrund

Vertical-Slot-Fischpässe (VSF) stellen einen weitverbreiteten Typ von Fischaufstiegsanlagen (FAA) dar. Sie sind darauf ausgelegt, die Aufwärtswanderung von Fischen zu gewährleisten und stellen eine Abfolge von Becken dar, welche durch Trennwände unterteilt werden, die das Wasser durch einen vertikalen, seitlich angeordneten Schlitz führen [1], [2], [3]. Die gesamte Wasserspiegeldifferenz h_{ges} zwischen Ober- und Unterwasser wird also auf mehrere Wasserspiegeldifferenzen Δh zwischen den einzelnen Becken verteilt. Auf diese Weise werden hydraulische Bedingungen geschaffen, die dem Schwimmvermögen der Fische entsprechen und somit die Passage ermöglichen [3].

Fische besitzen ein Seitenlinienorgan, das aus zur Körperoberfläche hin orientierten Neuromasten besteht. Mit diesen können sie räumliche Gradienten der sie umgebenden Geschwindigkeitsfelder bzw. der damit verbundenen Druckfelder wahrnehmen. D. h. die Fische „spüren die Strömung“ durch ein komplexes Netzwerk räumlich angeordneter Sensoren. Aktuelle Studien zum Fischverhalten und zur Strömungsausprägung basieren meist auf Punktmessungen des Strömungsfeldes und entsprechen damit nicht der Empfindung des Fisches, welche auf Interaktionen der Strömung und des Fischkörpers beruhen. Um

dem Empfinden von Fischen über Messungen näherzukommen, wurde im Projekt FILOSE (7. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission) eine fischförmige seitenlinienorganähnliche Messsonde entwickelt, die unter Laborbedingungen kalibriert und getestet wurde [4], [5].

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die oben genannte Fischsonde zum ersten Mal im Feld einzusetzen, um die in der Praxis auftretenden Strömungssignaturen in den Schlitzen und Becken zu erfassen (**Bild 1**). Dabei wird für jede FAA (aufgrund der Charakteristika wie Beckengröße und Durchfluss) eine typische Signatur (Standardsignatur) ermittelt, anhand welcher die Becken charakterisiert werden können.

2 Standorte und Methoden

2.1 Standorte

Eine detaillierte Beschreibung der Standorte findet sich in Schletterer et al. [6], [7], im Folgenden werden die wesentlichen Charakteristika zusammengefasst.

VSF Wennis (KW Imst)

Der VSF Wennis (KW Imst) befindet sich an der Pitze (Gesamtlänge 40,5 km, 308,7 km²), das Gewässer ist in diesem Bereich als Metarithral eingestuft. Das rund 140 m lange Bauwerk besteht aus einem VSF (28 Becken mit Standardabmessungen von 2,6 x 1,7 m, wobei ein Becken doppelt so lang – als Ruhebecken (5,2 x 1,7 m) – ausgeführt ist; Schlitzweite 20 cm, $\Delta h = 18$ cm, $Q = 250$ -450 l/s) in Kombination mit einem naturnahen Umgehungsgerinne, so dass die Fische – in diesem Gewässerabschnitt hauptsächlich Bachforellen (*Salmo trutta*) – das Wehr umgehen können.

VSF Runserau (KW Imst)

Der VSF Runserau (KW Imst) befindet sich stromabwärts der Wehranlage Runserau am Inn (Gesamtlänge 517 km, 26 130 km²). Um die Ziele der WRRL zu erreichen, wurde an der

Kompakt

- Strömungssignaturen liefern eine objektive, physikalisch-basierte Messmethode für die autonome Klassifizierung von Strömungsmustern.
- Die Seitenlinien-Sonde ist ein bioinspirierte labor- und feldtaugliches Messgerät für Strömungsuntersuchungen.
- Die Pilotstudie Robofish hat gezeigt, dass die Messmethode zum Monitoring von Fischaufstiegsanlagen Vorteile bringt und eine abiotische Charakterisierung „aus der Sicht des Fisches“ ermöglicht.

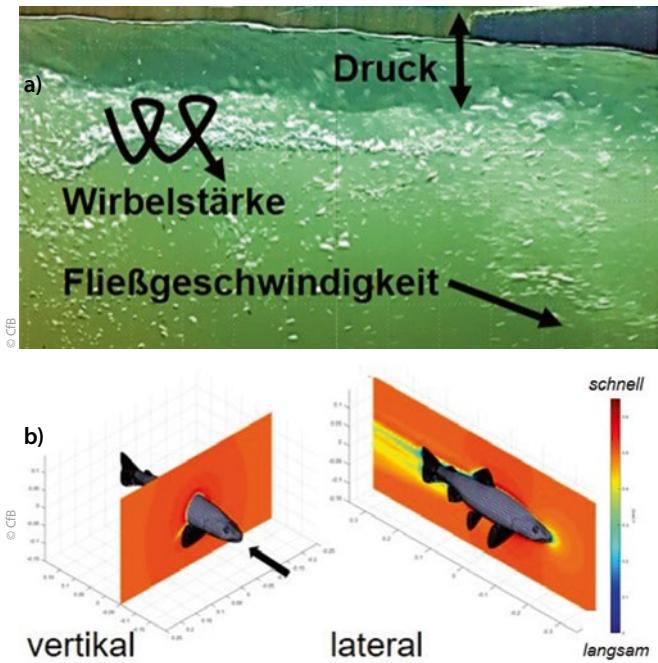


Bild 1: a) Strömungen haben 3 Komponenten und Strömungsfelder ändern sich mit der Zeit; b) Strömungsfelder um einen Fischkörper sind räumlich anders als eine reine Strömung

Wehranlage Runserau aufgrund beengter Platzverhältnisse und einem schwankenden Oberwasserspiegel der erste Fischlift in Österreich errichtet, um die aufwärtsgerichtete Fischwanderung wiederherzustellen: dies wird durch drei verschiedene Elemente erreicht: (1) dem VSF als Einstiegsbauwerk (Auffindbarkeit), (2) dem Lift (Höhendifferenz) und (3) einer Abschwemmleitung (Lagedifferenz), welche die Fische zum Rückgabeort ca. 600 m oberhalb der Wehranlage führt [8]. Das Gewässer ist in diesem Abschnitt als Metarhithral ausgewiesen, wobei ober- und unterhalb Hyporhithral-Abschnitte liegen; somit sind aus fischökologischer Sicht Bachforelle (*Salmo trutta*) und Koppe (*Cottus gobio*) die Leitarten für den betrachteten Inn-Abschnitt und die Äsche (*Thymallus thymallus*) die typische Begleitart. Der VSF verfügt über ein innovatives Design, welches unterschiedliche Strömungsverhältnisse berücksichtigt (bei Mindestabfluss bzw. Wehrüberfall): daher wurde ein wehrnaher Einstieg (9 Becken mit Standardabmessungen von 2,7 x 1,7 m, Schlitzweite 20 cm, $\Delta h = 18$ cm, $Q = 400$ l/s) und ein wehrferner Einstieg (14 Becken mit Standardabmessungen von 2,7 x 1,7 m, Schlitzweite 37 cm, $\Delta h = 12$ cm, aufgrund dieser Dimensionierungen kann dieser VSF mit 600 l/s beaufschlagt werden) geschaffen, die in einem Verteilbecken münden und die Fische von dort in die Reuse des Fischliftes gelangen [8].

VSF Hirnbach (KW Langkampfen)

Der VSF Hirnbach (KW Langkampfen) befindet sich auch am Inn, welcher in diesem Bereich als Epipotamal eingestuft ist, somit ist die Bemessungsfischart der 100-cm-Huchen (*Hucho hucho*). Das Kraftwerk Langkampfen liegt südwestlich der Stadt Kufstein, zwischen dem Kraftwerk Ebbs-Oberaudorf und dem Kraftwerk Kirchbichl. An der Wehranlage gilt es – abhängig vom Abfluss des Inn – eine Höhe von 7,5 bis 9,75 m zu überwin-

den. Im Zuge der WRRL-Umsetzung wurde das bestehende Gerinne des Hirnbaches (ehem. Umgehungsgerinne Süd) teilweise als Naturgerinne-Abschnitt genutzt und im Ein- bzw. Ausstiegsbereich wurden zwei Schlitzpässe hergestellt. Im Rahmen der gegenständlichen Studie wurde der obere VSF (39 Becken mit Standardabmessungen von 3,1 x 2,1 m, wobei zwei Becken doppelt so lang – als Ruhebecken (6,2 x 2,1 m) – ausgeführt sind, Schlitzweite 35 cm, $\Delta h = 10$ cm, $Q = 550$ l/s) im Ausstiegsbereich die FAA untersucht, welche baugleich wie der VSF im Einstiegsbereich ausgeführt ist.

2.2 Seitenliniensensor

Die in dieser Arbeit verwendete Seitenliniensonde (lateral line probe, LLP) besteht aus 11 piezoresistiven Drucksensoren (SM5420C-030-A-P-S, Silicon Microstructures) und zwei triaxialen Beschleunigungssensoren, die in einem ABS-Kunststoff-Fischkörper montiert sind (**Bild 2**). Im Gegensatz zum Kunststoffkörper umfasst die biologische Seitenlinie auch eine mechanische Filterung durch viskose Dämpfung der Neuromasten in der Grenzschicht (insbesondere der oberflächlichen) und innerhalb der Kanäle. Allerdings ist das Ausmaß der Wirkung der Unterschiede in der Oberflächenrauheit und ihre Auswirkungen auf die LLP noch nicht untersucht worden. Die LLP-Geometrie basiert auf einem 3-D-Scan einer erwachsenen Regenbogenforelle (*Oncorhynchus mykiss*) mit einer Körperlänge von 45 cm. Die Druckwandler haben eine Empfindlichkeit von 8 Pa/LSB über eine 0-bis-207-kPa-Spanne, von denen der Widerstand für Strommessungen 470 Ohm mit 0,1 % Toleranz in einem 0402-SMD-Paket. Nach der Verstärkung der Signale (AD8656ARMZ, Analog Devices) werden die Signale werden mit einem 16-Bit-Analog-Digital-Wandler (AD768BSPZ, Analog

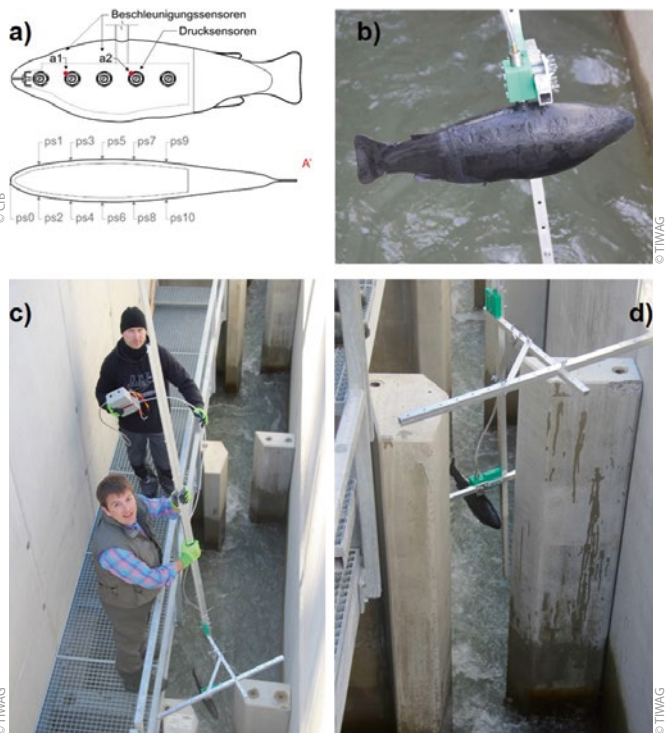


Bild 2: a) Schema, b) Detailaufnahme der Sonde, c)/d) Messungen im VSF Runserau

Devices) digitalisiert. Die verwendeten Beschleunigungsmesser (ADXL325BCPZ, Analog Devices) waren mit einer Empfindlichkeit von 191,4 mV pro g entlang jeder der drei Achsen eingestellt. Die Signale wurden unter Verwendung der gleichen 16-Bit-Umwandlung digitalisiert, wobei $2,63 \cdot 10^{-4}$ g pro niedrigstwertige Bitauflösung bereitgestellt wurden. Die Temperatur wird über den Stromverbrauch mit einem Shunt-Widerstand geschätzt. Die Ausgangssignale werden zunächst bei 2,5 kHz und dann 10-fach überabgetastet sowie mit einer seriellen Verbindung bei 200 Hz übertragen. Eine detaillierte Beschreibung der Vorrichtung mit Signalverarbeitungs-Workflows für die konventionelle zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsschätzung finden sich in Strokina et al. [9].

2.3 Feldarbeiten

Alle Messungen wurden mit identischen Sondeneinstellungen an jedem Probenort durchgeführt. Messpunkte wurden auf der Basis von Schlitz oder in jedem Becken ausgewählt. Der Seitenliniensensor wurde auf einem Metallgestänge montiert (Bild 2), so dass er eine einheitliche untergetauchte Höhe von 40 % der durchschnittlichen Beckenwassertiefe über dem Grund für alle Messungen hatte. Die Tiefen der Messung betragen am VSF Wennis 36 cm (248 l/s) und 44 cm (325 l/s) und am VSF Runserau 50 cm (385 l/s) für den oberen Teil und 44 cm (570 l/s) für den unteren Teil und am VSF Hirnbach 50 cm (539 l/s). Die Anzahl der Messungen wurde so gewählt, um die Praktikabilität und Robustheit der Signalerfassung und -klassifizierung für weitere Feldstudien statistisch zu testen. Während der Erhebungen wurde die LLS-Einheit mit einem Feld-Laptop und einer externen Stromversorgung verbunden. Die Daten wurden bei 200 Hz für zwei triaxiale Beschleunigungsmesser und die 11 kollozierten Drucksensoren, eine an der Nase und fünf auf jeder Seite, bilateral über dem Sensorkörper aufgezeichnet. Präzise geographische Messpositionen wurden nicht genommen, da das Ziel der LLP ist, eine Technologie für die robuste Feldklassifizierung komplexer Strömungen bereitzustellen, die mit einfachen

Karten erreicht werden kann, um die Klassifizierungsstellen zu lokalisieren. Alle Messungen hatten ein Aufzeichnungsintervall von 60 Sekunden Dauer innerhalb des Schlitzes und der Becken, wobei die ersten 10 Sekunden aufgrund der Signalantwort des LLP, das untergetaucht wurde, entfernt wurden.

Änderungen bezüglich der Anzahl der Messungen zwischen den verschiedenen Standorten waren in erster Linie auf die Unterschiede in der Geometrie und Entladung zurückzuführen. An einigen Stellen wurden zusätzliche (ergänzende) Messungen zur Datenqualitätskontrolle und für weitere Tests durchgeführt.

2.4 Datenverarbeitung

Alle Daten einer Messung werden als ASCII-Textdatei exportiert und am Computer weiterbearbeitet. Um hydrodynamische Signaturen zu definieren, die reproduzierbar sind und sowohl räumliche als auch zeitliche Informationen über die komplexen Strömungsmuster um den LLP-Sensorkörper in turbulenten Bedingungen enthalten, wurde ein einfacher und robuster Signalverarbeitungs-Arbeitsablauf entwickelt. Zuerst werden die Rohsensordaten linear abgesenkt, um an jeder Sensorposition Signale zu erzeugen, die die Reynolds-gemittelten Druckschwankungen, p_n' liefern:

$$p_n' = p_n(t) - \bar{p}_n \tag{1}$$

wobei $p_n(t)$ das Zeitreihensignal des Drucksensors $n = 0, 1, \dots, 10$ und der \bar{p}_n zeitlich gemittelte Druck ist.

An jedem Messort werden die Druckschwankungen an jedem Sensor n in eine eindeutige Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (PDF_n) umgewandelt. Die daraus resultierende PDF_n bietet das grundlegende Merkmal der hydrodynamischen Signatur. Für jedes Zeitintervall der Beobachtung (z. B. 10 sec) kann die Variation zwischen PDF_n betrachtet werden, um eine etwaige Nicht-Stationarität in den Strömungen zu detektieren (z. B. auf der Suche nach oszillatorischen oder pulsierenden Strömungen). Je länger die Beobachtungszeit ist, desto wahrscheinlicher ist es,

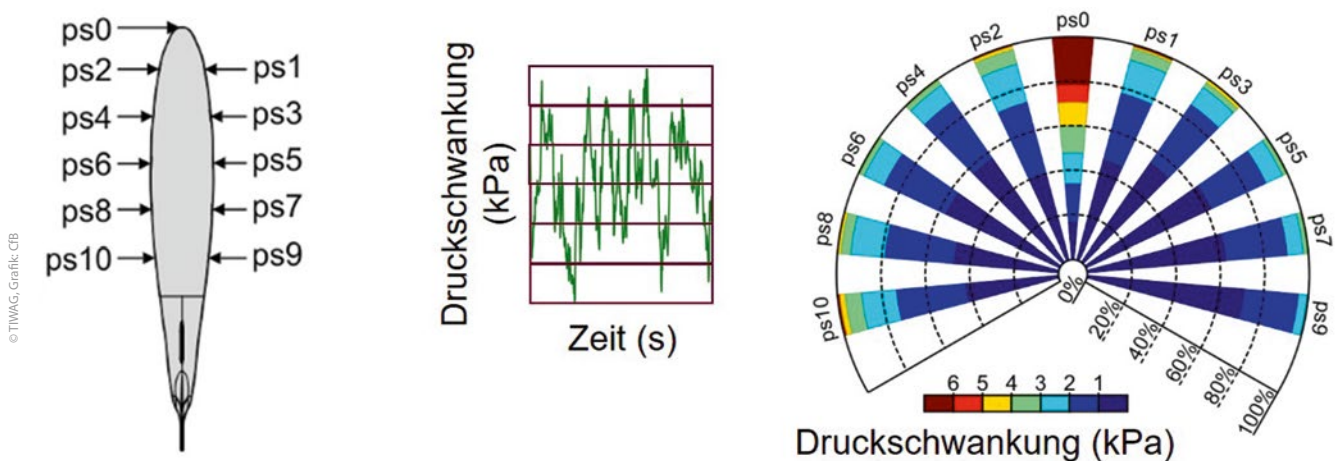


Bild 3: Beispiel für ein Rosendiagramm der zeitlich gemittelten Druckintensitäten von allen 11 Sensoren entlang des fischförmigen Körpers in kPa, die über 60 s in einer Messposition aufgezeichnet wurde: die Fächerung der Druckintensitäten zeigt die höchsten Werte an der Nase (anterior) und ein abnehmendes Spektrum von Werten entlang des Körpers (anteroposterior) sowie die bilaterale Symmetrie von links nach rechts (Die Winkel werden in 20°-Grad-Inkrementen für Visualisierungszwecke gewählt und spiegeln nicht die wahren Winkel einer konformen Abbildung zwischen dem Sensorkörper und einem Einheitskreis wider)

dass das resultierende Merkmal eine stationäre Darstellung der Druckschwankungen am Messort wird.

Eine hydrodynamische Signatur ist definiert als die zeitlich gemittelte räumliche Verteilung der Druckschwankungen, die durch die 11 Sensorwahrscheinlichkeitsdichtefunktionen repräsentiert werden.

Die räumliche Verteilung des Ensembles von (PDF_n) wird in einem Rosendiagramm visualisiert (**Bild 3**). Diese Darstellung zeigt die relative Häufigkeit der Druckintensität (Fluktuationen vom Mittelwert) über das Messintervall als radiale Näherung der Position jedes Sensors entlang des Körpers mit Bezug auf den LLP-Massenpunkt. Auf diese Weise können die hydrodynamischen Signaturen jeder Messstelle leicht visualisiert und Vergleiche des vom LLP erfassten Strömungsfeldes durchgeführt werden.

Für jeden Standort wurde der Mittelwert aller VSF-Schlitzmessungen durch Verknüpfung und Mittelung der Signatursammlung ermittelt. Die mittlere Strömungssignatur umfasst insgesamt 11 Signaturen, die jeweils einer anderen Stelle entlang des LLP-Körpers entsprechen (Bild 3). Nachdem die mittlere Signatur bestimmt wurde, wird die Kullback-Liebler-Divergenz D_{KL}, einer standardmäßigen statistischen Methode zum Vergleich von PDF, zwischen Merkmalsvektoren, die die hydrodynamische Signatur umfassen, durchgeführt:

$$D_{KL}(P || Q) = \sum_i P(i) \log \frac{P(i)}{Q(i)} \quad (2)$$

wobei P und Q die beiden Eingabe-PDF sind und i der Bin-Wert des entsprechenden PDF ist.

Es ist erwähnenswert, dass jede hydrodynamische Signatur aus insgesamt 132 000 diskreten Messungen von insgesamt 11 verschiedenen Sensor-Messpositionen besteht. Somit liefern die erhaltenen Daten eine sehr stabile und robuste hydrodynamische Signaturerfassungsmethodologie, die für die Bereitstellung von reproduzierbaren Daten für die Vergleichsstellen von stark turbulenten Strömungsbedingungen, die in VSF auftreten, entscheidend ist.

Wenn zwei Wahrscheinlichkeitsverteilungen identisch sind, z. B. wenn P = Q, dann entspricht D_{KL} = 0. Im Allgemeinen bedeutet D_{KL} > 0 und D_{KL} ≤ 0,1 dass die beiden PDF sehr ähnlich sind, und D_{KL} ~ 1 bedeutet, dass sie extrem unterschiedlich sind. Eine mittlere Signatur wurde durch die Verkettung aller Slot-Messungen innerhalb des 95-%-Perzentils berechnet. Der Bereich von 0-0,5 wird in dieser Analyse verwendet, da die Werte >0,5 für LLP-Signaturen sehr unterschiedlich waren. Ein einziger D_{KL}-Wert wurde mit den größten drei D_{KL}-Werten über alle 11 LLP-Sensoren berechnet, um einzelne Sensorausreißer zu berücksichtigen und die Empfindlichkeit in asymmetrischen Strömungen zu bewahren, wo eine Seite des Körpers eine ähnliche Signatur zum Mittel hat und die andere Seite eine Variation aufweist. Bei der Betrachtung des endgültigen Grades der hydrodynamischen Signaturähnlichkeit war der Wert nicht der Mittelwert der 11 D_{KL}-Werte, sondern der Mittelwert der höchsten drei D_{KL}-Werte. Damit wird sichergestellt, dass einzelne Ausreißer durch die Methode erkannt werden. Dies ist wichtig, da festgestellt wurde, dass viele der Signaturen bilateral symmetrisch waren, aber Ausreißer an den Nasen- und Schwanzberei-

chen aufgrund lokaler Flussinstabilitäten enthalten konnten. Schließlich wurde, sobald die D_{KL} für jeden Schlitz mit Bezug auf die mittlere Signatur berechnet wurden, eine Ähnlichkeitsmatrix erstellt, um einen globalen Überblick über jeden VSF-Standort zu erhalten. Der Bereich von 0-0,5 wurde im Rahmen einer Experteneinschätzung klassifiziert und farblich kodiert, mit Werten von D_{KL} < 0,1 „entspricht der Standardsignatur“, 0,1 < D_{KL} < 0,2 „ähnlich“ und Bereiche mit D_{KL} > 0,2 „unterschiedlich“. Basierend auf diesem einfachen Schema wird klar, welche Positionen Abweichungen zur Standardsignatur aufweisen und daher im Feld näher analysiert werden sollen.

3 Ergebnisse und Diskussion

In allen drei untersuchten FAA wurden Standardsignaturen ermittelt. Diese konnten mit den Messungen in den einzelnen Schlitzen verglichen werden und so die Uniformität und etwaige Abweichungen bezogen auf die Vorgaben in [3] und [10] ermittelt werden. So wurde im VSF Wenns an der Pitze festgestellt (**Bild 4**), dass der Einbau von Holzprofilen an den Schlitzen [6] zur Erreichung der Mindestwassertiefen lt. [3] und einheitlicheren Strömungssignaturen führte und die Anzahl von „Ausreißern“ mit größeren Abweichungen von der typischen Signatur deutlich verringerte. Am VSF Runserau und am VSF Hirnbach waren die Strömungssignaturen weitgehend einheitlich. Am VSF Hirnbach wurden leichte Abweichungen im Bereich der Krümmung des VSF dokumentiert.

Zudem wurden die Strömungssignaturen in Querprofilen im mittleren Bereich der Becken gemessen. Auf Basis dieser Messungen konnten bekannte Strömungsmuster (A – leichte Rezirkulation, B – Strahl und C – große Rezirkulation) detektiert und in Karten dargestellt werden. Diese drei Strömungszonen sind vom Grundmuster her in allen drei untersuchten Schlitzpässen vorzufinden, wobei unterschiedliche laterale Ausdehnungen der drei Strömungszonen festgestellt wurden (**Bild 5**). Zwei Zonen dominieren in der Mitte der Ruhebecken (Becken, welche doppelt so lang sind wie ein Standardbecken

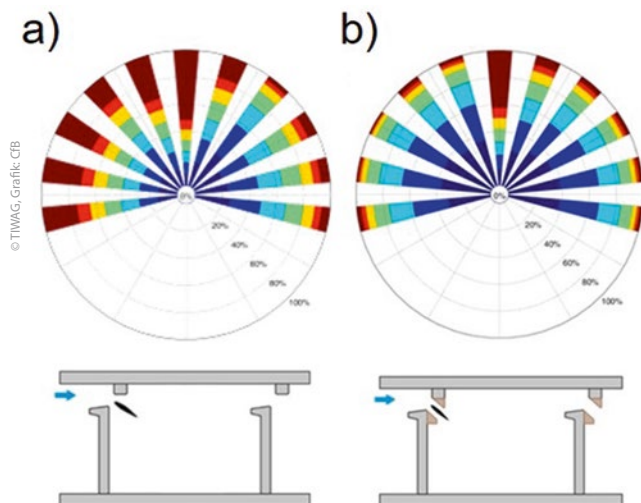


Bild 4: Vergleich zwischen a) Slot 21 vor der Modifikation (Q = 325 l/s) und b) nach der Modifikation (Q = 344 l/s)

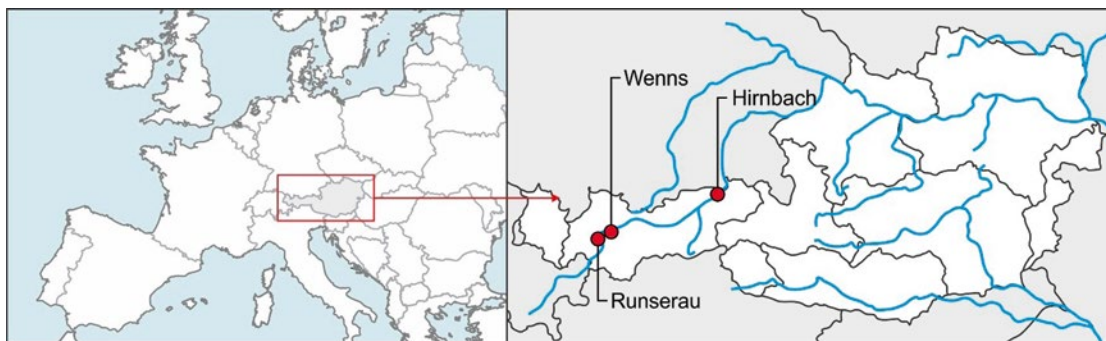
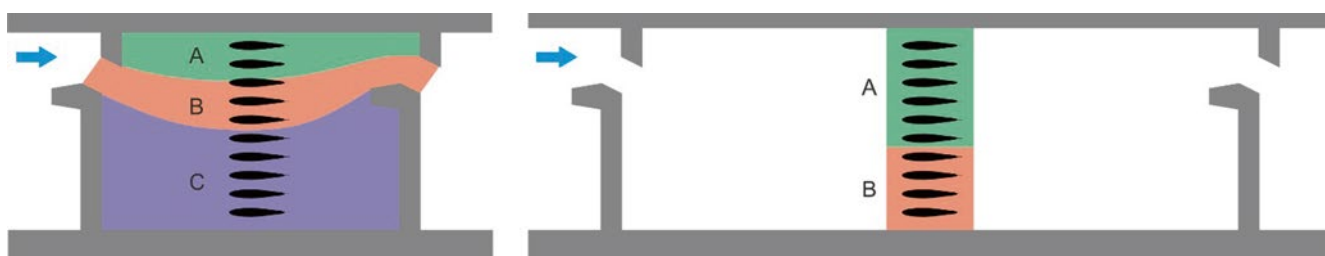
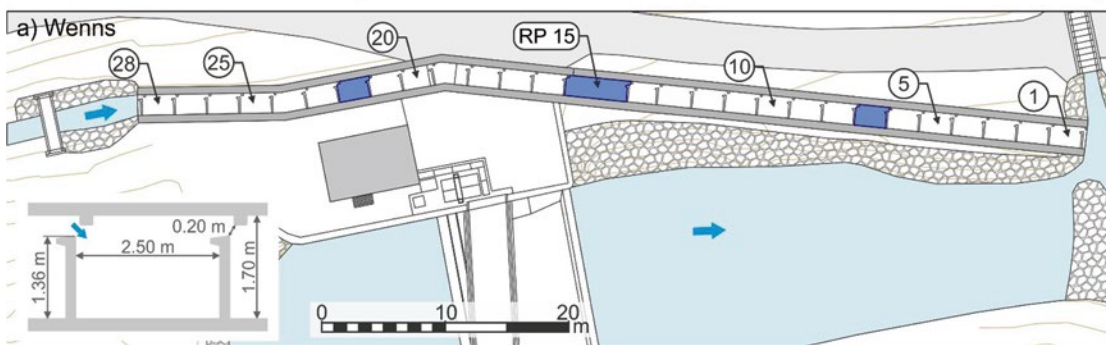


Bild 5: VSF Wennis: Oben: Lage, Geometrie und Dimensionen; unten: Aufteilung der Strömungsregionen A, B, C, links: Standardbecken, rechts: Ruhebecken



und daher reduzierte Fließgeschwindigkeiten aufweisen). Gemäß der Beobachtungen im Labor werden von aufwärtswandernden Fischen asymmetrische Strömungsregionen vermieden, da sie zu instabiler Schwimmdynamik führen [11], daher wird Zone A bevorzugt genutzt. Die Messungen mit dem LLP zeigten beispielsweise, dass dieser Bereich war beim VSF Wennis (nach der Modifikation) am breitesten und beim VSF Runserau und VSF Hirnbach etwas enger.

Weiters wurde die Leitströmung in jeweils zwei Flussquerprofilen direkt unterhalb der Einstiege zum VSF Runserau (wehrferner Einstieg) und zum VSF Hirnbach gemessen. Am VSF Runserau wurden zwei ausgeprägte Signaturtypen festgestellt, von denen eine mit der Leitströmung in Zusammenhang gebracht werden konnte, um deren Ausdehnung bei wachsender Distanz zum Einstieg sich vergrößerte. Unterhalb des VSF Hirnbach konnte aufgrund der Schwierigkeiten mit Messungen in großen Tiefen (>1,5 m) keine eindeutige Klassifizierung durchgeführt werden.

Die in der Studie gemachten Erfahrungen zeigen, dass Messungen mit dem LLP in den VSF mit angemessenen Anstrengungen durchgeführt werden können und höchst interessante sowie schlüssige Ergebnisse liefern, die viel detaillierter sind als z. B. Überlegungen zur Energiedissipation. Es kann davon ausgegangen werden, dass die LLP-Messungen als Einzelpunkt-Geschwindigkeitsmessungen aussagekräftiger sind, da sie dem „Fisch-

Erlebnis“ des Flusses nahe sind. Diese Studie hat einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung des bioinspirierten Flow-Sensing geleistet: Erstens war es das erste internationale Projekt, bei dem eine Sonde mit künstlicher Seitenlinie (LLP) im Feld eingesetzt wurde. Zweitens wurde gezeigt, dass das Gerät in der Lage war, die Standardgeschwindigkeitsmetrik zu liefern. Drittens wurde basierend auf der synchronen Anordnung von Drucksensoren, einer neuen Art von Messmethodik, die hydrodynamische Signatur in drei VSF erstellt und getestet. Es wurde herausgefunden, dass die komplexe Fluid-Körper-Wechselwirkung unter turbulenten Feldbedingungen objektiv reproduziert und zur Detektion von Strömungsmustern verwendet werden konnte.

Diese Studie hat auch gezeigt, dass VSF trotz identischer Abmessungen der Becken keine absolut identischen hydraulischen Bedingungen in den verschiedenen Becken bieten und ein Spektrum von Strömungssignaturen aufweisen. Dies ist einerseits positiv, da heterogene Fließbedingungen näher an den Bedingungen in natürlichen Flüssen liegen. Andererseits können große Unterschiede auf mögliche Probleme hindeuten, was eventuell Verbesserungen an der Geometrie des VSF erfordert. Beispielsweise konnten Defizite hinsichtlich der Mindestwassertiefe am VSF Wennis mit Hilfe der LLP erfasst und die Verbesserung durch das Anbringen von Holzprofilen dokumentiert werden. Ebenso konnten etwaige Verklausungen und einhergehende Änderungen der hydraulischen Situation in den Schlitzen erkannt werden.

Zukünftige Studien sollten diese Aspekte berücksichtigen und die Datenerhebung in Flüssen unter typischen Strömungsverhältnissen einschließen, um sie mit den Bedingungen in VSF und der Leitströmung am FAA-Einstieg zu vergleichen. Wenn die LLP in der Lage ist, diese Strömungsmuster zu unterscheiden, stellt es ein sehr gut geeignetes Werkzeug für das Monitoring dar.

Dank

Diese Studie wurde durch das F&E-Projekt RoboFish der TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG finanziert. Die eingesetzte Sonde wurde im Rahmen von BONUS (Joint Baltic research and development programme) über des 7. Rahmenprogrammes (2007-2013) und zudem national von Deutschland (BMBF FKZ:03F0687A), Estland (Estonian Environmental Investment Centre KIK P.7254 C.3255) und Finnland (Academy of Finland 280715) kofinanziert. Künftige Entwicklungen und Anwendungen sind im Rahmen des Horizon-2020-Projekt FITHydro (Nr. 727830) geplant.

Autoren

Dr.-Ing. Jeffrey A. Tuhtan

Ing. Juan Fran Fuentes-Perez, M. Sc.

Dr. Gert Toming

Tallinn University of Technology, Dept. of Computer Systems
Centre for Biorobotics,
Environmental Sensing and Intelligence (CfB)
Akadeemia tee 15A-111
12618 Tallinn, Estland
jeffrey.tuhtan@ttu.ee

Dr.-Ing. Matthias Schneider

sje – Ecohydraulic Engineering GmbH
Viereichenweg 12
70560 Stuttgart
schneider@sjeweb.de

Mag. Dr. Martin Schletterer

TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG
Eduard-Wallnöfer-Platz 2
6020 Innsbruck, Österreich
martin.schletterer@tiwag.at

Literatur

- [1] Larinier, M.: Pool fishways, pre-barrages and natural bypass channels. In: Bull Fr. Pêche Piscic. 364 (2002), S. 54-82.
- [2] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (Hrsg.): Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. In: DWA-Merkblätter (2014), M 509.
- [3] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.): Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen. Wien, 2012.
- [4] Salumäe, T.; Kruusmaa, M.: Flow-relative control of an underwater robot. In: Proc. R. Soc. A (Math. Phys. Eng. Sci.) 469 (2013), S. 2 153.
- [5] Tuhtan, J. A.; Fuentes-Perez, J. F.; Toming, G. et al.: Ecohydraulic Flow Sensing and Classification Using a Lateral Line Probe. In: 11th ISE 2016, Melbourne, Australia, 2016.
- [6] Schletterer, M.; Reindl, R.; Thonhauser, S.: Options for re-establishing river continuity, with an emphasis on the special solution 'fish lift': examples from Austria. In: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA) 4 (2016), Nr. 1, S. 109-128.
- [7] Schletterer, M.; Oberwalder, M.; Neuner, J. et al.: Vom Vertical Slot zum Fisch-Lift: NGP Maßnahmenplanung der TIWAG. In: Gratzner, A. (Hrsg.): Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie (2016), Nr. 41, S. 107-118.
- [8] Thonhauser, S.; Oberwalder, M.; Mühlbacher, F. et al.: Fischlift Runserau – eine innovative Lösung für schwierige Standorte. In: WasserWirtschaft 107 (2017), Heft 2-3, S. 20-26.
- [9] Strokina, N.; Kämäräinen, J. K.; Tuhtan, J. A.; Fuentes-Pérez, J. F.; Kruusmaa, M.: Joint Estimation of Bulk Flow Velocity and Angle Using a Lateral Line Probe, IEEE Trans. In: Instrum. Meas. 65 (2016), Nr. 3, S. 601-613.
- [10] ÖWAV (Hrsg.): Praktische Umsetzung und Beispiele des Fischstiegs-hilfen-Leitfadens. Teil 1: Vorschläge für zulässige Bautoleranzen bzw. zulässige Variation der technischen Parameter bei errichteten FAHs. In: ÖWAV-Arbeitsbehelf (2016), Nr. 46.
- [11] Lacey, R. W. J.; Neary, V. S.; Liao, J. C.; Enders, E. C.; Tritico, H. M.: The Ipos Framework: Linking Fish Swimming Performance in Altered Flows from Laboratory Experiments to Rivers. In: River Research and Applications 28 (2012), Nr. 4, S. 429-443.



Weitere Empfehlungen aus
www.springerprofessional.de:

Fischaufstiegsanlage

Baier, E.: Die Fischaufstiegsanlage Steffstep. In: Wasser-Wirtschaft, Ausgabe 02-03/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.

www.springerprofessional.de/link/12114426

Monai, B.; Zraunig, B.: Fischliftschleuse nach System „der Wasserwirt“ – Neuartige Fischaufstiegsanlage. In: WasserWirtschaft, Ausgabe 02-03/2017. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017.

www.springerprofessional.de/link/12114394

Jeffrey A. Tuhtan, Juan Fran Fuentes-Perez, Gert Toming, Matthias Schneider and Martin Schletterer

A fish is not a point: analyses of innatura hydrodynamic signatures in fish migration facilities, using a fish-shaped lateral line probe

The goal of this study was to apply a bioinspired, fish-shaped lateral line probe (LLP) in fish migration facilities, i.e. vertical slot fishways (VSF) to capture innatura hydrodynamic signatures in the slots and across the pools from the „fish’s perspective“. It was found that standard signatures in the slots could be found in all three VSF and compared to individual measurements in order to determine if the flow conditions were uniform, and to detect outliers. Signatures along a central cross section at each VSF were also recorded, and spatial maps of three different flow region classes were created based on these signatures. The results of this pilot project have shown that the LLP can provide a new set of physical metrics via the hydrodynamic signature, and are capable of distinguishing and classifying complex turbulent flows commonly found in VSF.