

# Advanced Bypass System for Downstream Migration of European Key Umbrella Fish Species

**Luiz G. M. Silva**  
Senior researcher  
Institute for Environmental Engineering



(Photo: VAW)

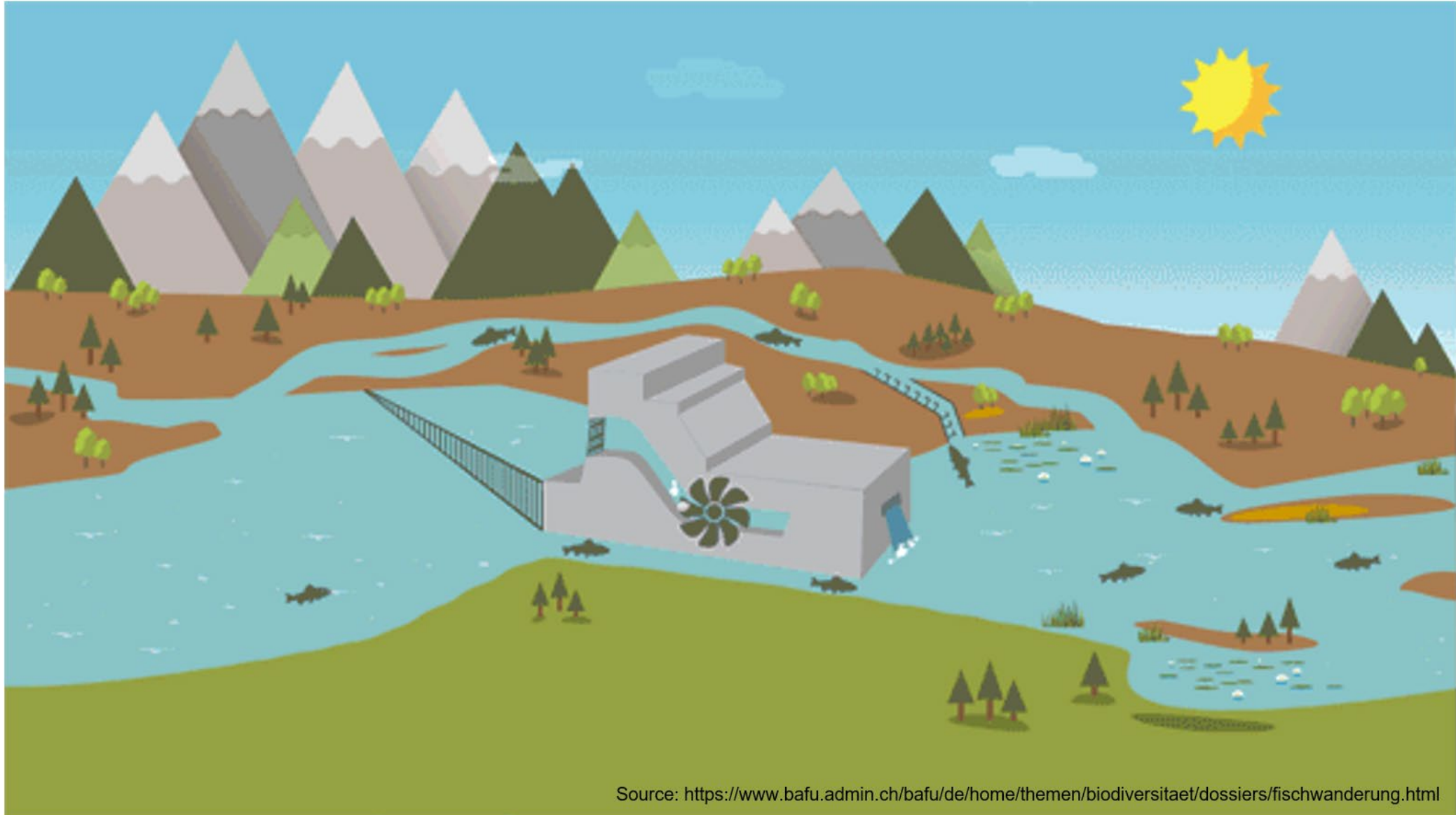


The 2nd International Conference on

**Sustainability in Hydropower 2023**

-Ecological mitigation, best practises and governance

# Reestablishing river connectivity in Switzerland



Source: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/dossiers/fischwanderung.html>

# Reestablishing river connectivity in Switzerland

## Restore river connectivity for fish movements

- Target migratory species – Eels; nase; Brown trout; Barbus; Lake Brown trout; Grayling
- All fish move – need to go up and downstream
- Set of priorities
  - Prioritize systems with two or more medium to long distance migrants
  - Then go to rivers with at least one migratory species present
- 2014 – Cantons to define which hydropower dams to install fish passages
- 2030 – All have to show efficiency

Target-setting and monitoring?

**Roadmap Fischwanderung**

**Bedeutende Wanderfische der Schweiz**

<p><b>Aal</b></p> <p>Alle in der Schweiz vorkommenden Aale sind Jungfische. Nur eine kleine Lebensphase des ausgewachsenen Aals verbringt sie im Meer, wo sie sich auch fortpflanzen. In der Schweiz kommt der als geländert eingetragene Aal natürlicherweise im Rhein und in dessen Zuflüssen vor.</p>	<p><b>Nase</b></p> <p>Die Nase kommt in den Einzugsgebieten von Rhein und Aare vor und ist vom Aussterben bedroht. Ihre Leichzige Flusselster, genannt Nasenstich, sind legendär. Heute ist dieses Phänomen nur noch selten zu beobachten.</p>	<p><b>Lachs</b></p> <p>Der ausgewachsene Lachs lebt im Meer. Nur zur Fortpflanzung steigt er in die Flusssysteme auf. Die Jungfische wandern ihrerseits noch einigen Jahren zurück ins Meer. Früher gelangten Lachse über den Rhein in die Schweiz in den Rhein-Nebenflüssen, teilweise aber auch im Rhein selbst, legten sie ihre Eier ab. Heute ist der Lachs in der Schweiz zwar ausgestorben, verschiedene Maßnahmen zur Wiederansiedlung sind jedoch im Gange.</p>
<p><b>Barbe</b></p> <p>Die potenziell gefährdete Barbe lebt in den Einzugsgebieten von Rhein, Aare und Ilona. Im Frühling unternimmt sie ausgedehnte Wanderungen in ihren Laichflüssen.</p>	<p><b>Seeforelle</b></p> <p>Die Seeforelle ist die Wanderform der Forelle. Sie lebt als ausgewachsener Fisch in Seen und steigt zur Fortpflanzung in ihr Geburtsgebirge auf. Geleitet ist sie stark gefährdet abgestuft.</p>	<p><b>Äsche</b></p> <p>Vor dem Bau der grossen Flusskraftwerke kam die Äsche in den Einzugsgebieten von Rhein, Rhone und Ticino sehr zahlreich vor. Nicht umsonst wurde eine ganze Fischregion nach ihr benannt – die Äschregion. Die Bestände haben mittlerweile leider stark abgenommen und gelten als gefährdet. Zur Fortpflanzung wandert die Äsche stromauf und in die Unströme von Zuflüssen.</p>

**Durchgängigkeit der wichtigsten Wanderrouten**

Der «Grosse Föderation Wanderfisch» will den Schutz der Mittel- und Langstrecke-Wanderfischverbände. Zu den vorrangigen Aufgaben zählt ein Verzeichnis der Gewässer, die für die Fische wichtige Wanderrouten sind. Von besonderer Bedeutung sind Flüsse, die von mehreren Mittel- und Langstrecke-Wanderfischen besiedelt werden. An zweiter Stelle stehen Flusssysteme, in denen mindestens eine Wanderroute vorkommt oder ehemals vorkam.

**Restaurierung der Gewässer**

Mit der Restaurierung der Gewässer werden naturnahe Lebensräume wiederhergestellt. Dabei werden die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung reduziert, was auch die Wiederherstellung der freien Fischwanderung zielt. Die Kantone müssen bis Ende 2014 entscheiden, welche Wasserwerke bereits mit gut funktionierenden Wanderrouten ausgestattet sind und wo Optimierungsbemühungen bis 2030 muss die Durchgängigkeit an Wasserfontänen wiederhergestellt sein. Wie gut sie funktionieren, müssen Endgebirgsregionen nachprüfen.

**Alle Fische wandern**

Fische sind darauf angewiesen, dass sie frei wandern können. In Flusssystemen wird dies vielerorts durch Kraftwerke erschwert. Bis 2030 muss die Durchgängigkeit an den Wasserfontänen in der Schweiz wiederhergestellt sein. Die Anlaufzeit zeigt wichtige Schritte bei der Wiederherstellung der Durchgängigkeit, sind bestehende Wanderfische und deren Lebensräume vor und überstrichen angrenzende Siedlungsgebiete.

Die Schweizer Flusssysteme sind stark verbaut. Unzählige künstliche Querbauwerke wie Dämme, Wehre, Schwellen, Rampen sowie stromaufwärts abflussbegrenzende Bauwerke (Bänke, Sand-Schwellen) behindern die freie Fischwanderung. Fische sind behindert, die Wanderflüsse, kann dies gravierende Auswirkungen auf den Fischbestand haben. Lokale Populationen laufen Gefahr auszusterben.

Auflage- und Abstiegsflüsse sind nötig, damit die Fische frei wandern können. Viele Kraftwerke sind bereits mit einer Fischpassage (FPA) ausgestattet. Die Erhaltung ist jedoch, dass viele der bestehenden FPA nicht oder nur ungenügend funktionieren und deshalb optimiert oder neu gebaut werden müssen.

**Fischwehrlösungen ermöglichen Aufstieg**

Stromaufwärts wandernde Fische orientieren sich nicht an der Strömung und schwimmen meist bodennah, um Lebiot an Rinde der Hoopströmung. Auf diese Weise minimieren sie ihren Energieverbrauch. Unüberwindliche Hindernisse beseitigen Hindernisse, die von der Fische durchqueren werden können. Zur Bau von Aufstiegsflüssen nach dem heutigen Stand der Technik (Fischböden, Rampen, Umgehungsflüsse) ermöglicht den Fischen die Passage.

**Bauwerke behindern Fischwanderungen**

Die Schweizer Flusssysteme sind stark verbaut. Unzählige künstliche Querbauwerke wie Dämme, Wehre, Schwellen, Rampen sowie stromaufwärts abflussbegrenzende Bauwerke (Bänke, Sand-Schwellen) behindern die freie Fischwanderung. Fische sind behindert, die Wanderflüsse, kann dies gravierende Auswirkungen auf den Fischbestand haben. Lokale Populationen laufen Gefahr auszusterben.

Auflage- und Abstiegsflüsse sind nötig, damit die Fische frei wandern können. Viele Kraftwerke sind bereits mit einer Fischpassage (FPA) ausgestattet. Die Erhaltung ist jedoch, dass viele der bestehenden FPA nicht oder nur ungenügend funktionieren und deshalb optimiert oder neu gebaut werden müssen.

**Turbinen gefährden Fischobstige**

Abwärts wandernde Fische bewegen sich mit der Strömung und gelangen daher in die Turbinen der Wasserkraftwerke. Nur die wichtigsten Fische überleben eine Turbinenpassage unbeschadet. Haben den Schutz vor den Turbinen durch Fischen müssen die abwandernden Fische auch die Möglichkeit erhalten, Hindernisse umschiffen zu passieren. Eine solche Abstieg über das Wehr kann bei höherem Turbinen im Unterwasser fließend sein.

**Naturnahe Gewässer dank Revitalisierung**

Die Revitalisierung fördert mit unverbauten Ufern und strukturierten Gewässerbänken die Wiederherstellung von naturnahen Bächen und Flüssen mit ihren charakteristischen Fischarten. Gleichwohl sorgt sie für die gewässerbergbauende Vermehrung der Lebensräume. Der Grund liegt in der Kontrolle, die Revitalisierung zu planen und umzusetzen. Die Revitalisierung der Flusssysteme wird mit der Sanierung der Fischwanderung korreliert. So wird sichergestellt, dass wichtige Wanderflüsse auch in der Raumplanung priorisiert behandelt werden.

Source: BAFU Roadmap Fischwanderung

[https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/biodiversitaet/ud-umwelt-diverses/roadmap-fischwanderung.pdf.download.pdf/BAFU\\_Roadmap\\_DE\\_Fischwanderung.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/biodiversitaet/ud-umwelt-diverses/roadmap-fischwanderung.pdf.download.pdf/BAFU_Roadmap_DE_Fischwanderung.pdf)



# Current state of research in the field

## Design of bypass systems

Various **bypass designs** have been studied (e.g., Haro *et al.*, 1998; Meister, 2020; Beck, 2020)

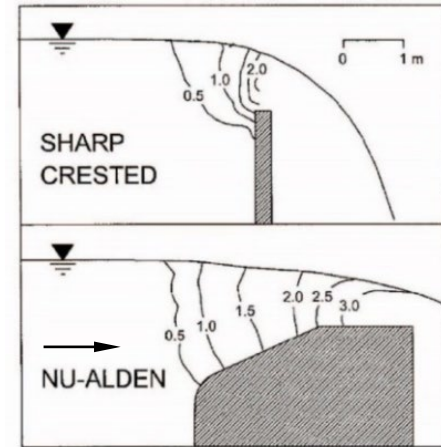
A few bypass design **guidelines** including hydraulic and geometric threshold values are available, e.g.,

- $Q_{by}/Q_d = 2-10\%$  (USBR, 2006; Ebel, 2018)
- $U_{by,in} = 0.3-1.5$  m/s (Lehmann *et al.*, 2016)
- $U_{by,in}/U_o = 1.0-2.0$  (Ducharme, 1972; Ebel, 2018)

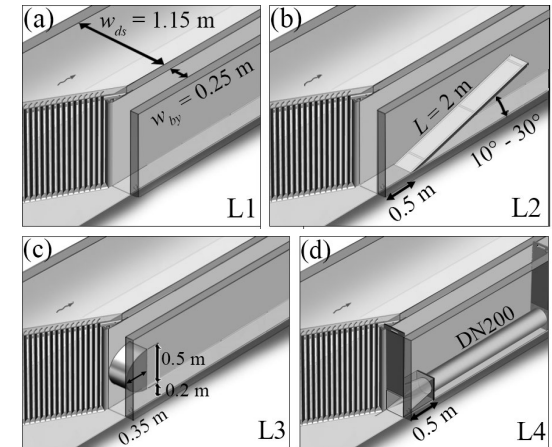
Recommendations **partly differ** among each other and are often limited to **certain fish species**

$Q_d$ (m <sup>3</sup> /s)	design discharge of HPP
$Q_{by}$ (m <sup>3</sup> /s)	bypass discharge
$U_o$ (m/s)	average approach flow velocity
$U_{by,in}$ (m/s)	average flow velocity at bypass openings

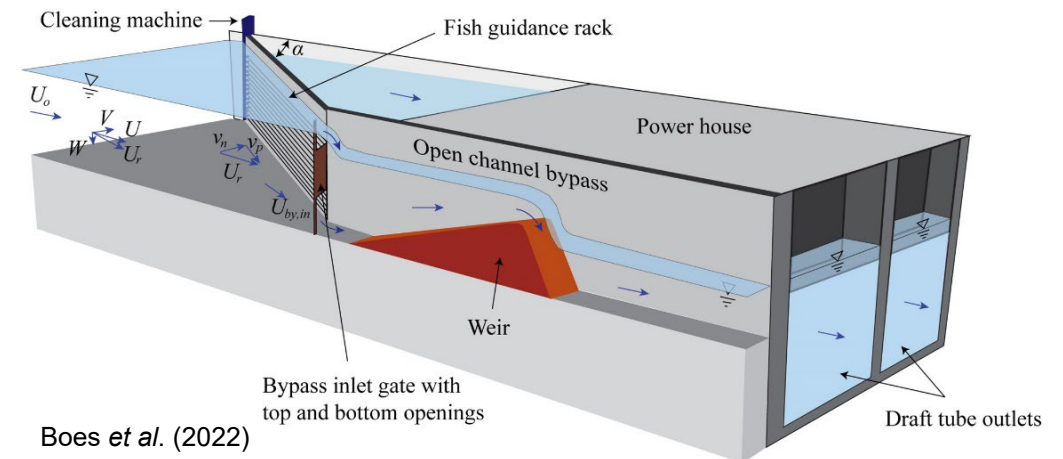
Average velocity contours (m/s)



Adapted from Haro *et al.* (1998)



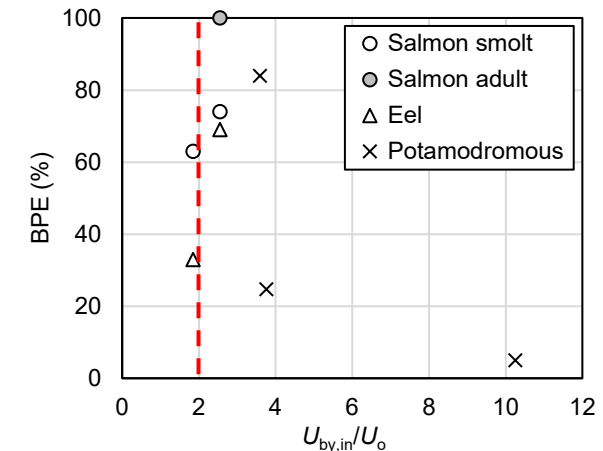
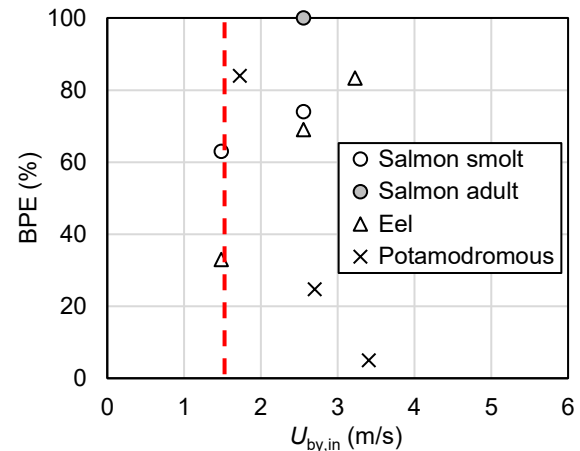
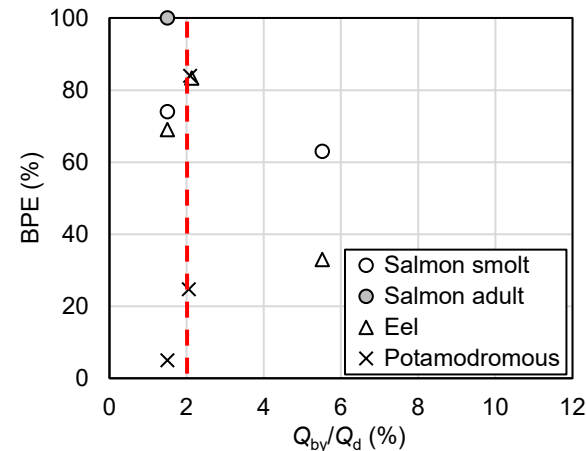
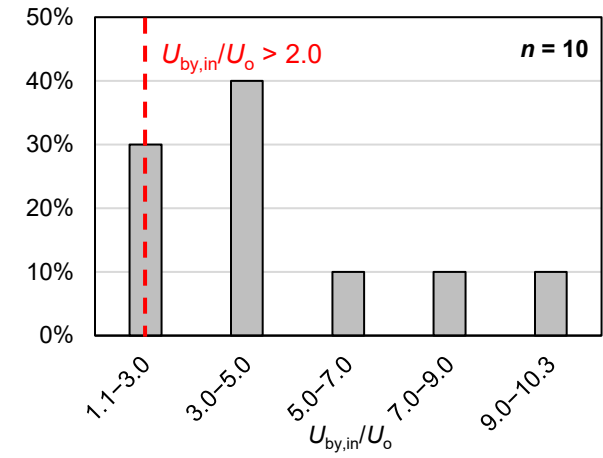
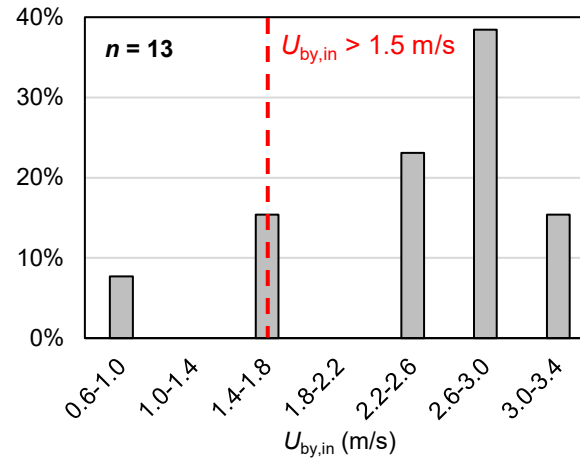
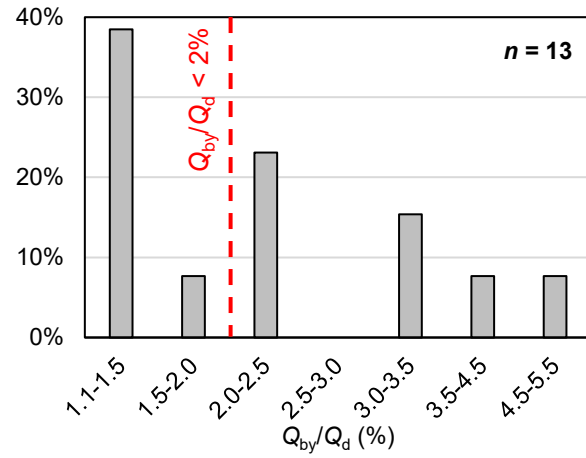
Beck (2020)



# Current state of research in the field

## Review of international case studies

Bypass passage efficiency (BPE) of horizontal bar racks with open channel bypass equipped with inlet gate with bottom and/or top openings



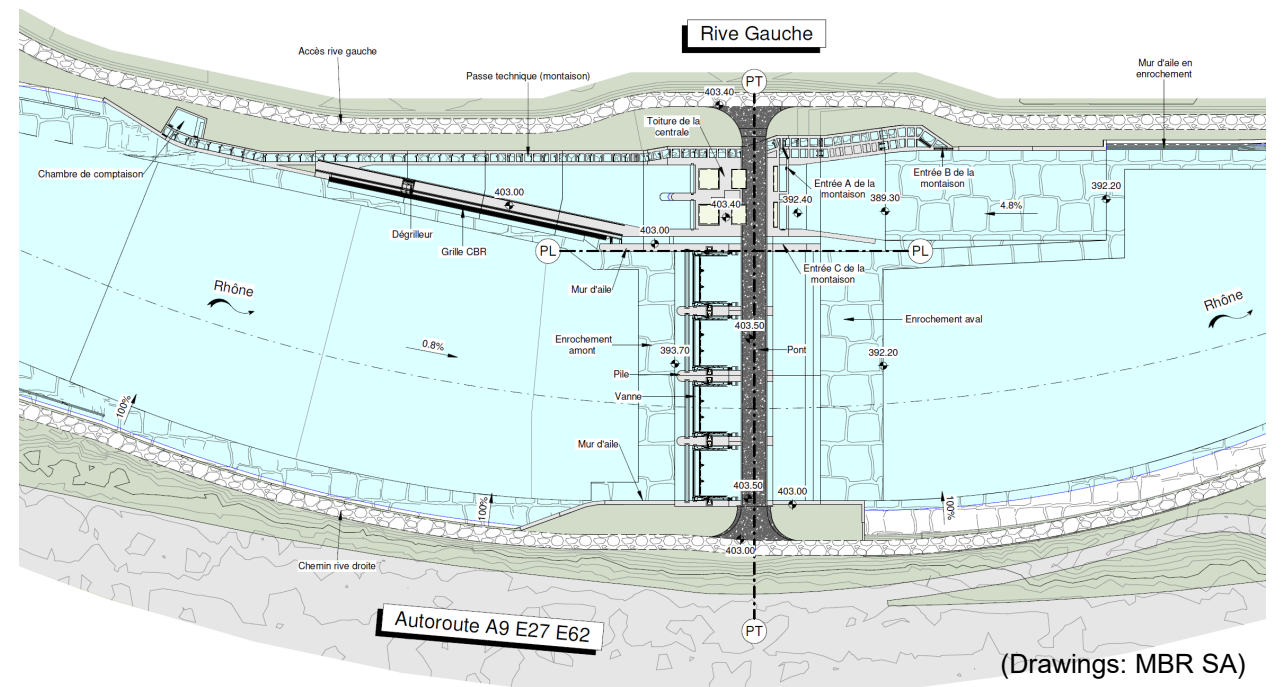
# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

## Overview



Investigation of fish swimming behavior and passage at **bypass inlet gate** with **bottom and top opening**

Pilot project **HPP Massongex-Bex-Rhone** as reference case





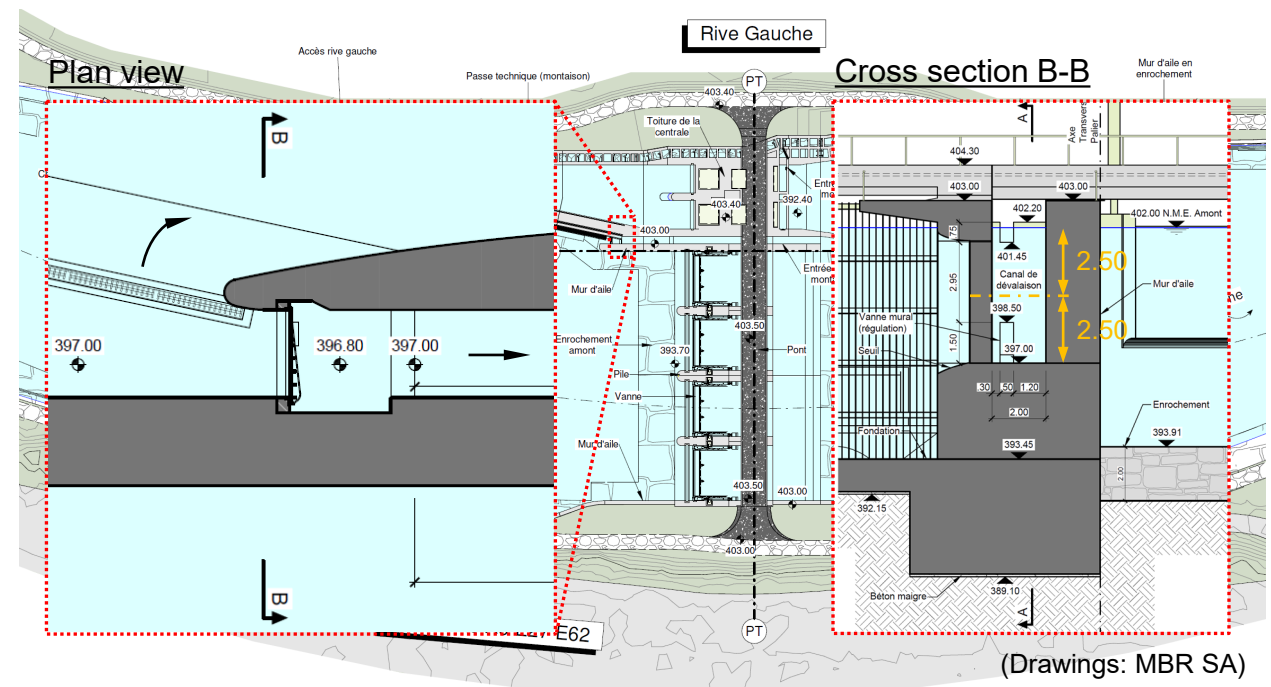
# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

## Overview



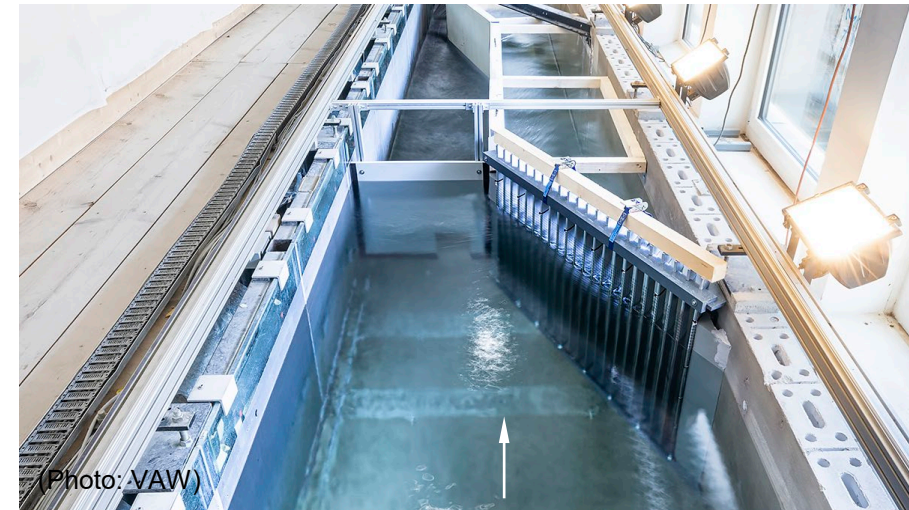
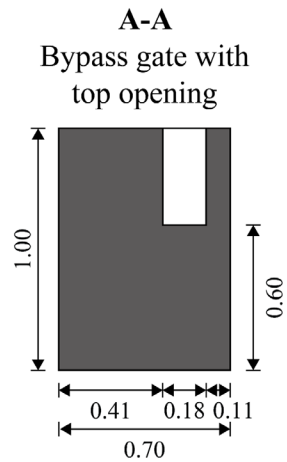
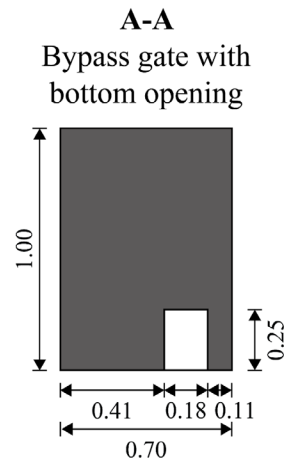
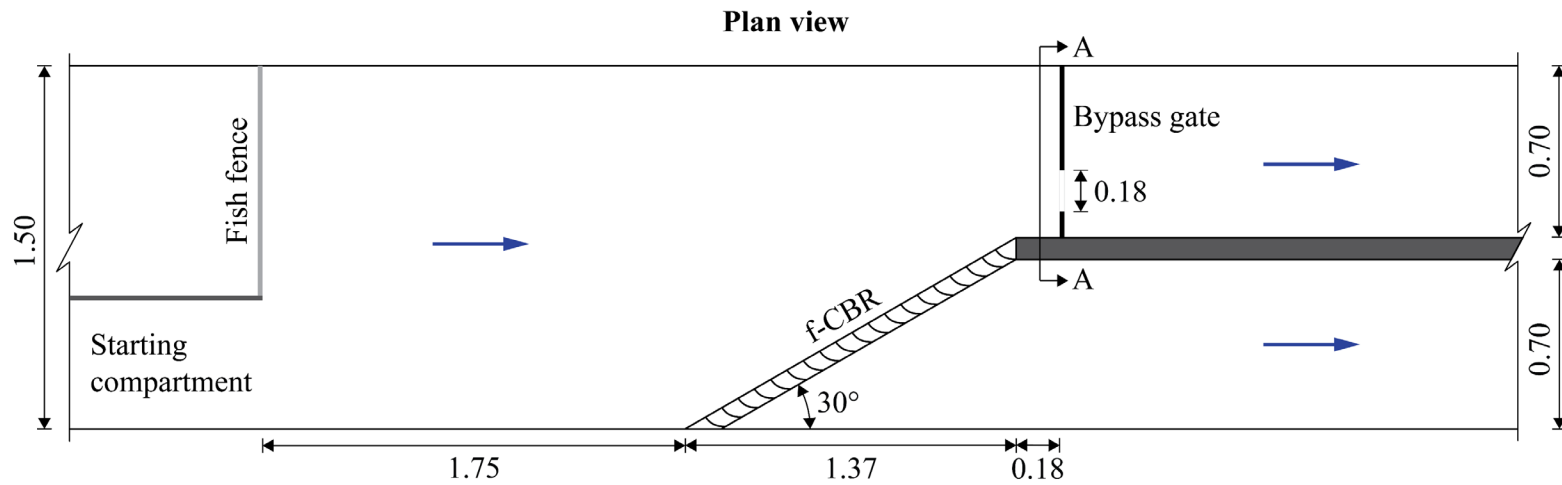
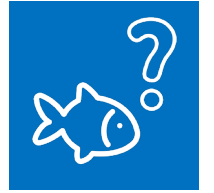
Investigation of fish swimming behavior and passage at **bypass inlet gate** with **bottom and top opening**

Pilot project **HPP Massongex-Bex-Rhone** as reference case



# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

Physical model





# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

## Methodology



Flow field measurements with acoustic Doppler velocimetry (ADV) and propeller flowmeter

4 weeks of ethohydraulic tests with

- Brown trout (*Salmo trutta*)
- Common barbel (*Barbus barbus*)

Position of bypass inlet opening	Discharge	Water depth		Flow velocity		
	Approach flow $Q_o$ [l/s]	Approach flow $h_o$ [m]	Bypass $h_{by}$ [m]	Approach flow $U_o$ [m/s]	Bypass inlet $U_{by,in}$ [m/s]	Ratio $U_{by,in,max}/U_o$ [-]
top	400	0.90	0.50	0.30	0.8-1.7	5.7
	540	0.90	0.50	0.40	0.8-1.7	4.3
	670	0.90	0.50	0.50	0.8-1.7	3.4
bottom	400	0.90	0.50	0.30	1.9-2.0	6.8
	540	0.90	0.50	0.40	1.9-2.0	5.0
	670	0.90	0.50	0.50	1.9-2.0	4.0

## Test procedure

- 8 replicates for each fish species and configuration
- Groups of 3 fish for each test
- Acclimatization in starting compartment for 15 min
- Test duration max. 45 min
- Visual observation and video recordings



Brown trout (*Salmo trutta*)

Length:  $176 \pm 24$  mm (Range: 114 mm to 229 mm)



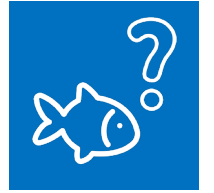
Common barbel (*Barbus barbus*)

Length:  $158 \pm 47$  mm (Range: 96 mm to 269 mm)

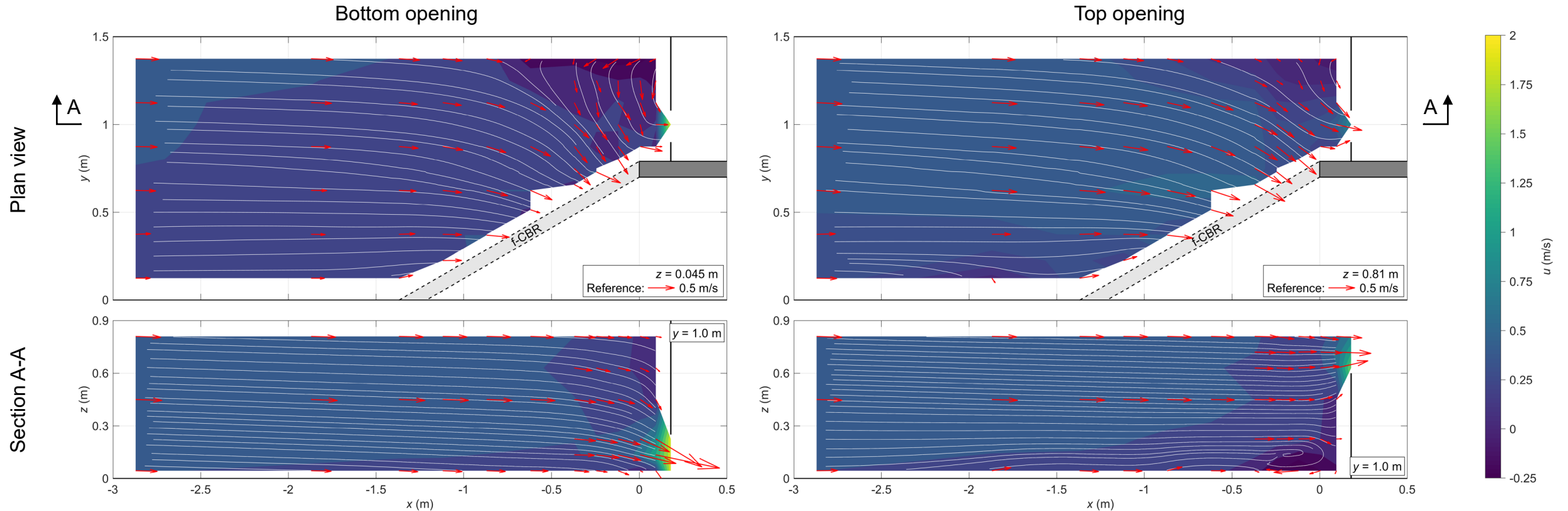
(Photos: M. Roggo)

# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

Mean streamwise flow velocity for  $U_o = 0.4$  m/s

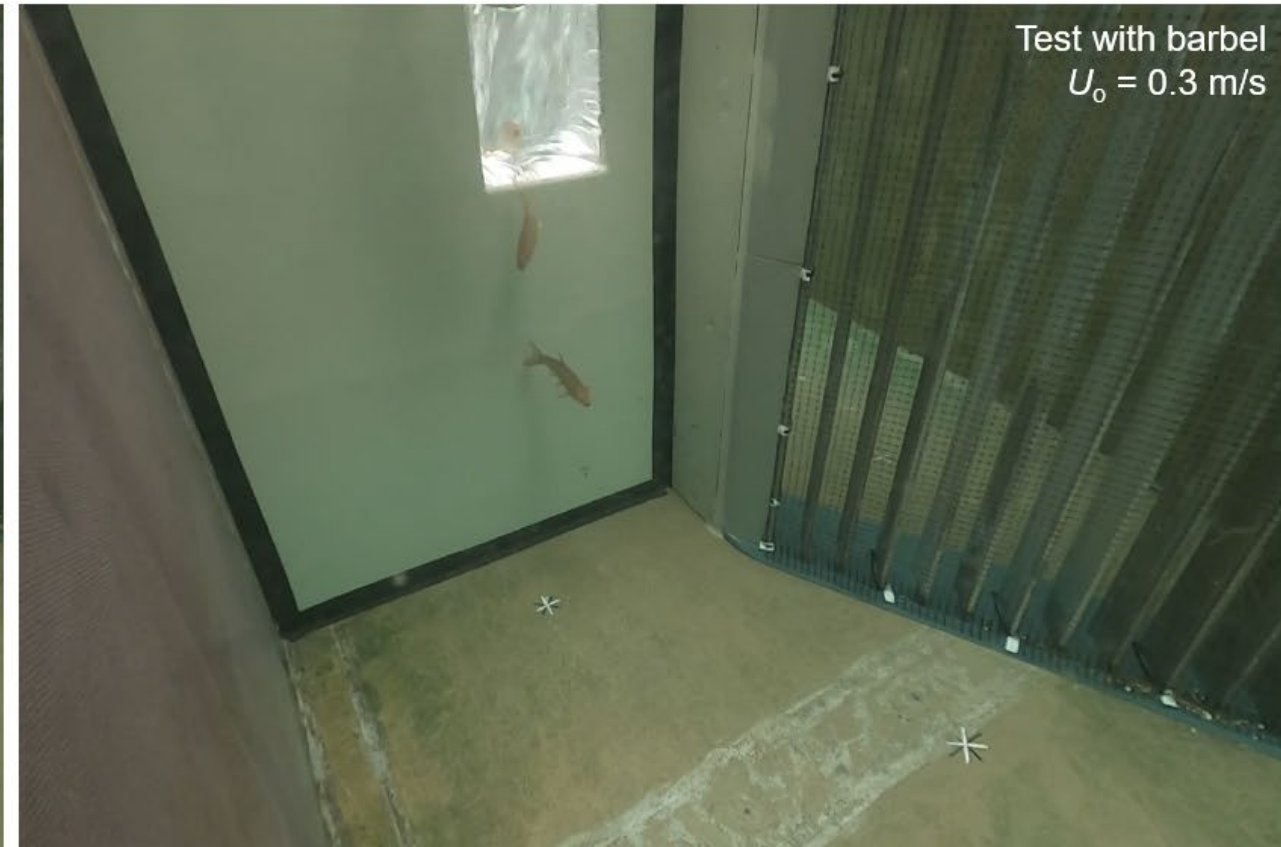


Results from ADV measurements.



# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

Video recordings of (attempted) bypass passage





# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

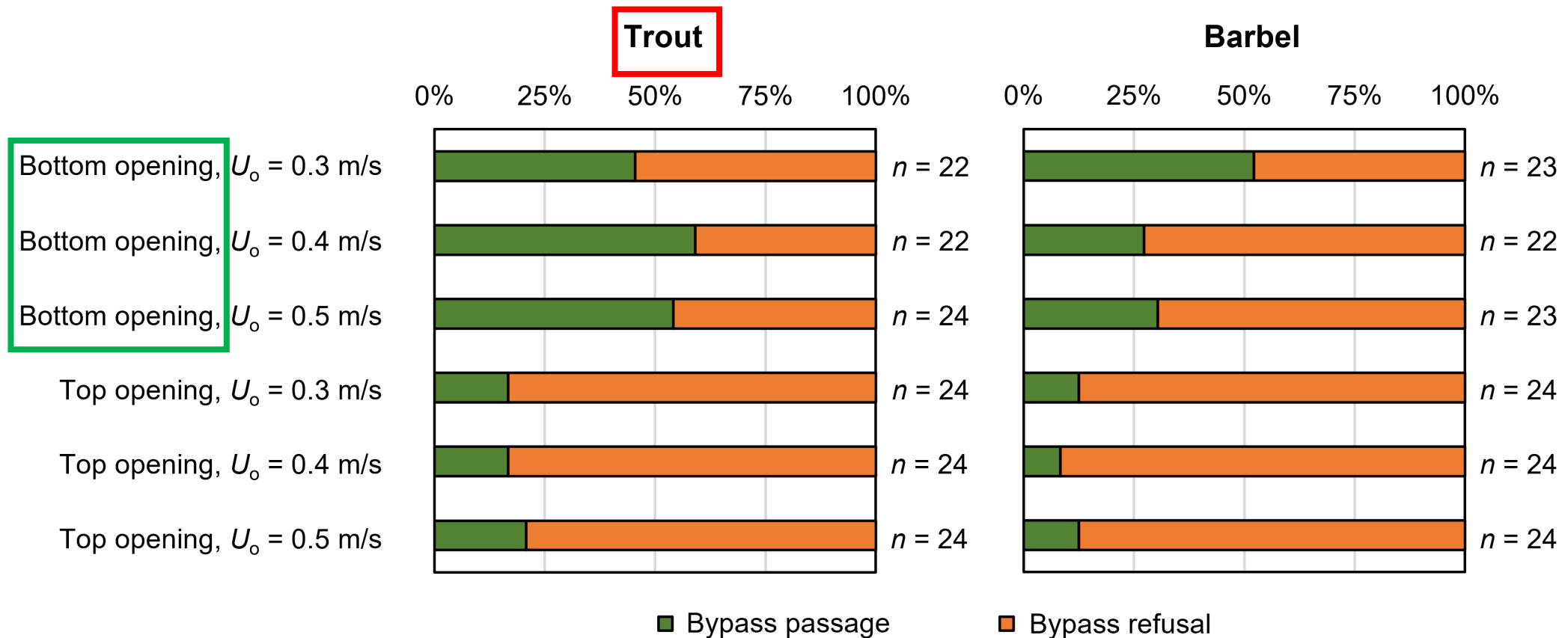
Proportions of bypass passage and refusal



Bypass passage efficiency: 
$$\text{BPE} = \frac{N_{\text{by}}}{N_{\text{by}} + N_{\text{ref}}}$$
 $N_{\text{by}}$  number of successfully bypassed fish  
 $N_{\text{ref}}$  number of fish, which refused bypass opening

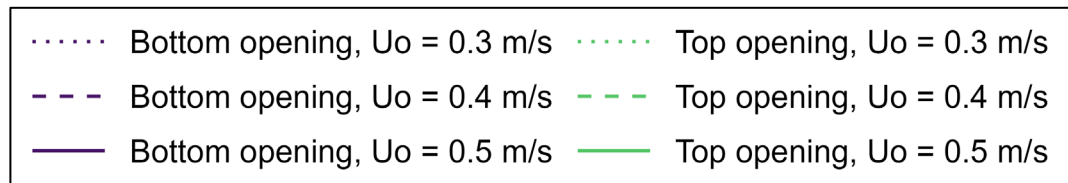
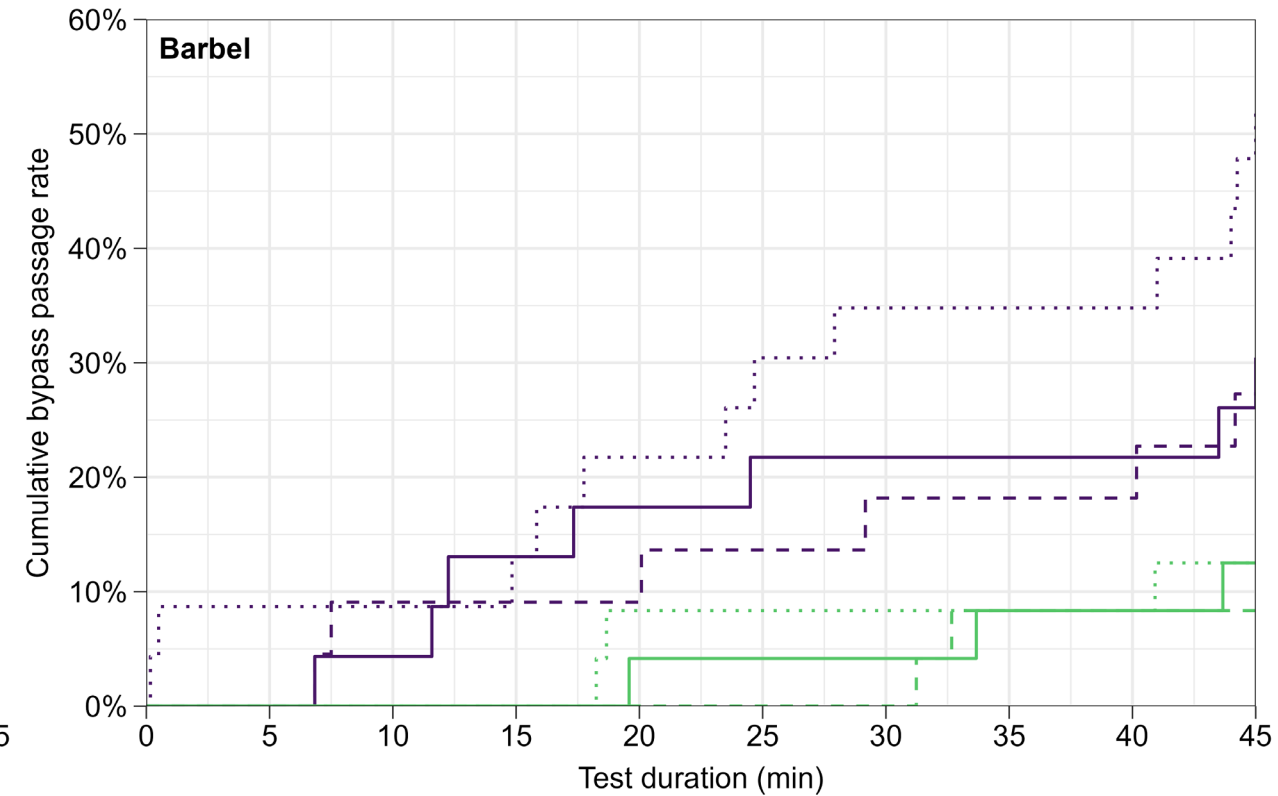
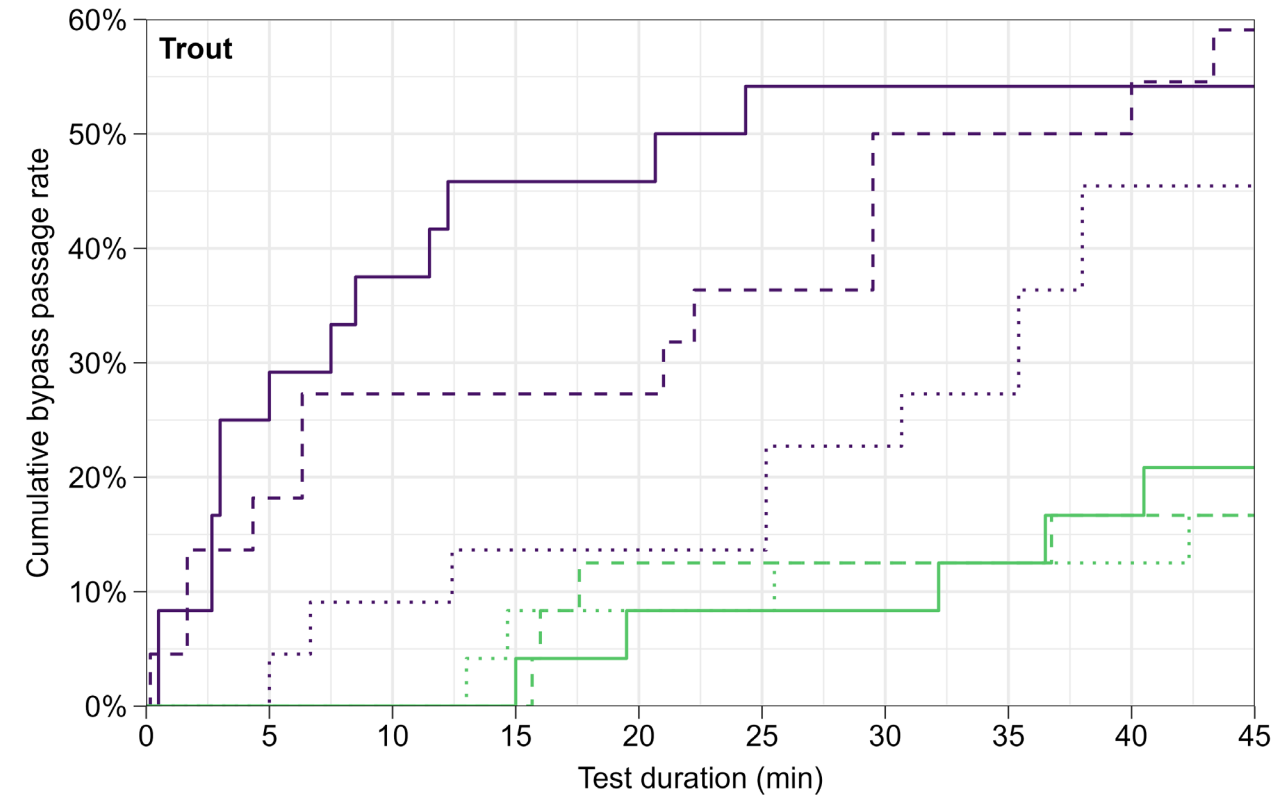
Two-sided  $\chi^2$ -tests (incl. Cramér's  $V$ ) and one-sided Fisher's exact tests for significance level  $\alpha = 5\%$

Multivariate regression using generalized linear mixed models (GLMM) including random effect  $r$ .



# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

## Time-to-event analysis



# Ethohydraulic tests of a state-of-the-art bypass design

## Conclusions and outlook



Flow velocity **increases sharply** at top and bottom openings of bypass inlet gate

Trout and barbel often showed **avoidance behavior** to high velocity gradients

Preferred hydraulic conditions are **species specific** for bypass gate with bottom opening

Overall, **trout** showed **higher and faster bypass passage** compared to barbel

Results highlight importance of **bypass inlet design** to enhance **fish guidance efficiency**

Data analysis: quantification of fish behavior by video imaging analysis.





**Maximilian Kastinger**  
PhD Student, VAW



**Dr Ismail Albayrak**  
Senior Scientist, VAW



**Prof. Robert Boes**  
Chair, VAW



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Bundesamt für Energie BFE**  
**Office fédéral de l'énergie OFEN**



@DrLuizSilva

## Thank you!

lumartins@ethz.ch