

---

# Green Green Hydropower: Saubere Energie, lebendige Gewässer

Markus Aufleger

Mals, 24. Oktober 2024

# Green Green Hydropower: Saubere Energie, lebendige Gewässer

Markus Aufleger

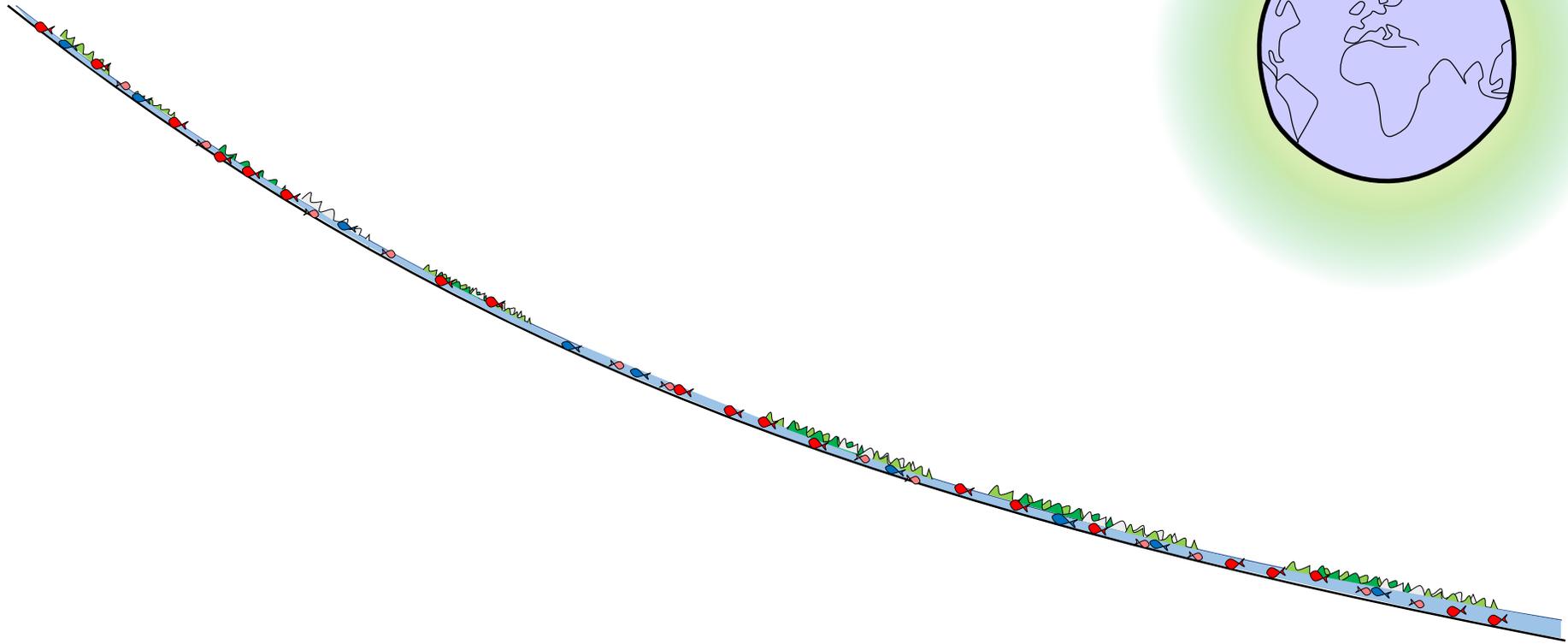
Mals, 24. Oktober 2024

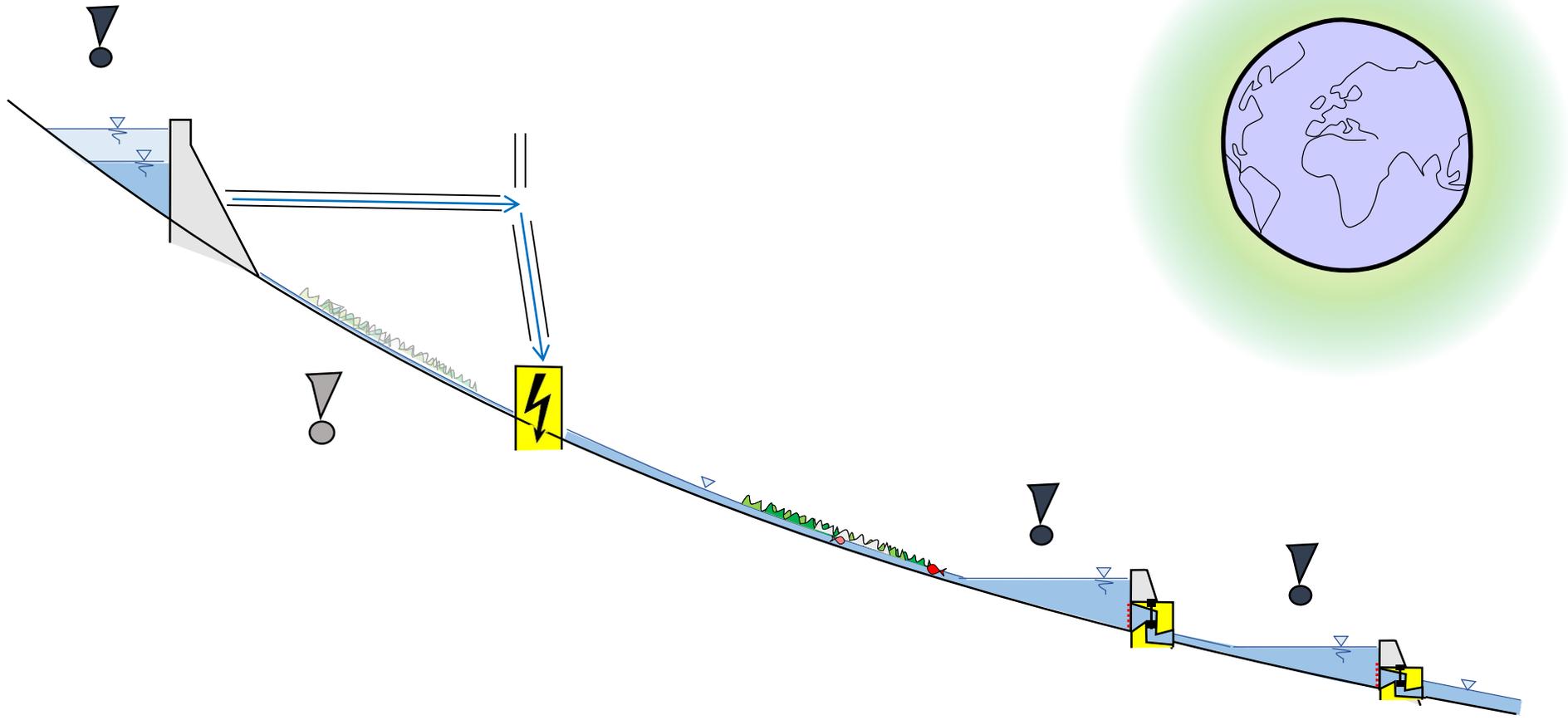
# Green Green Hydropower: Saubere Energie, lebendige Gewässer

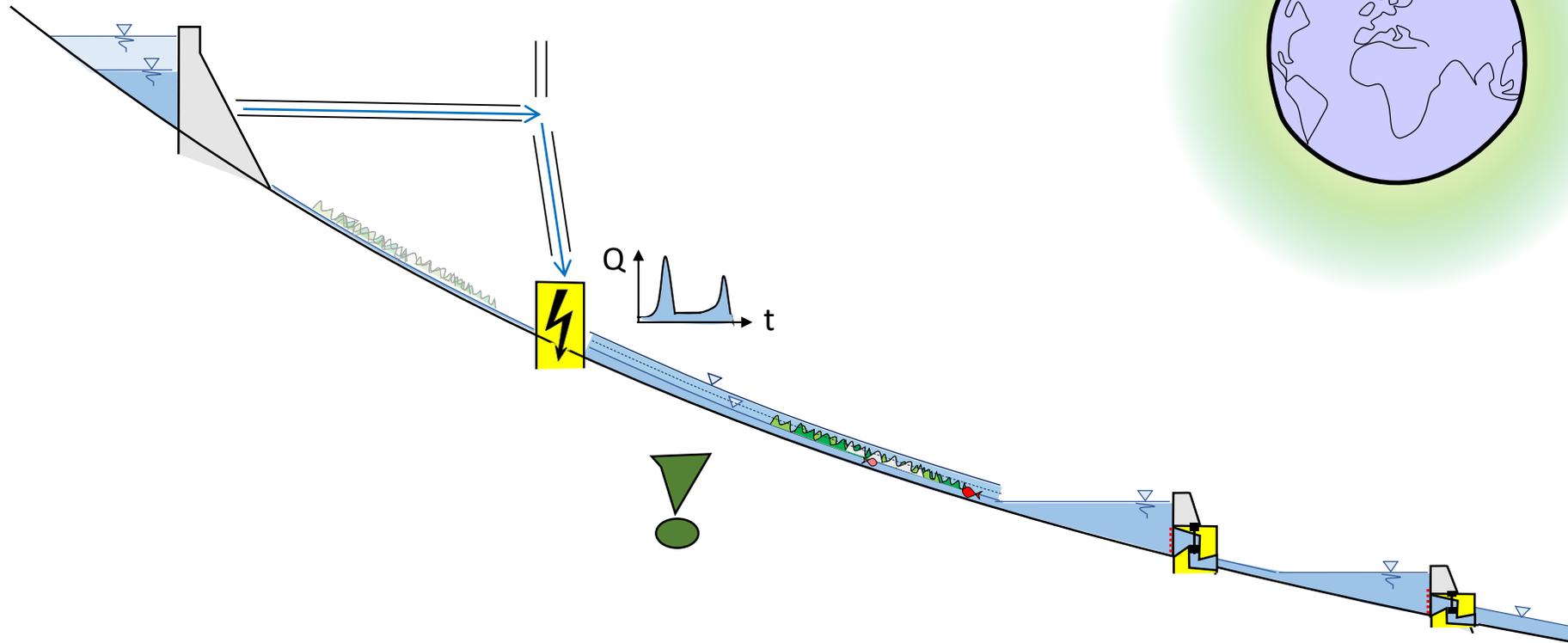
Markus Aufleger

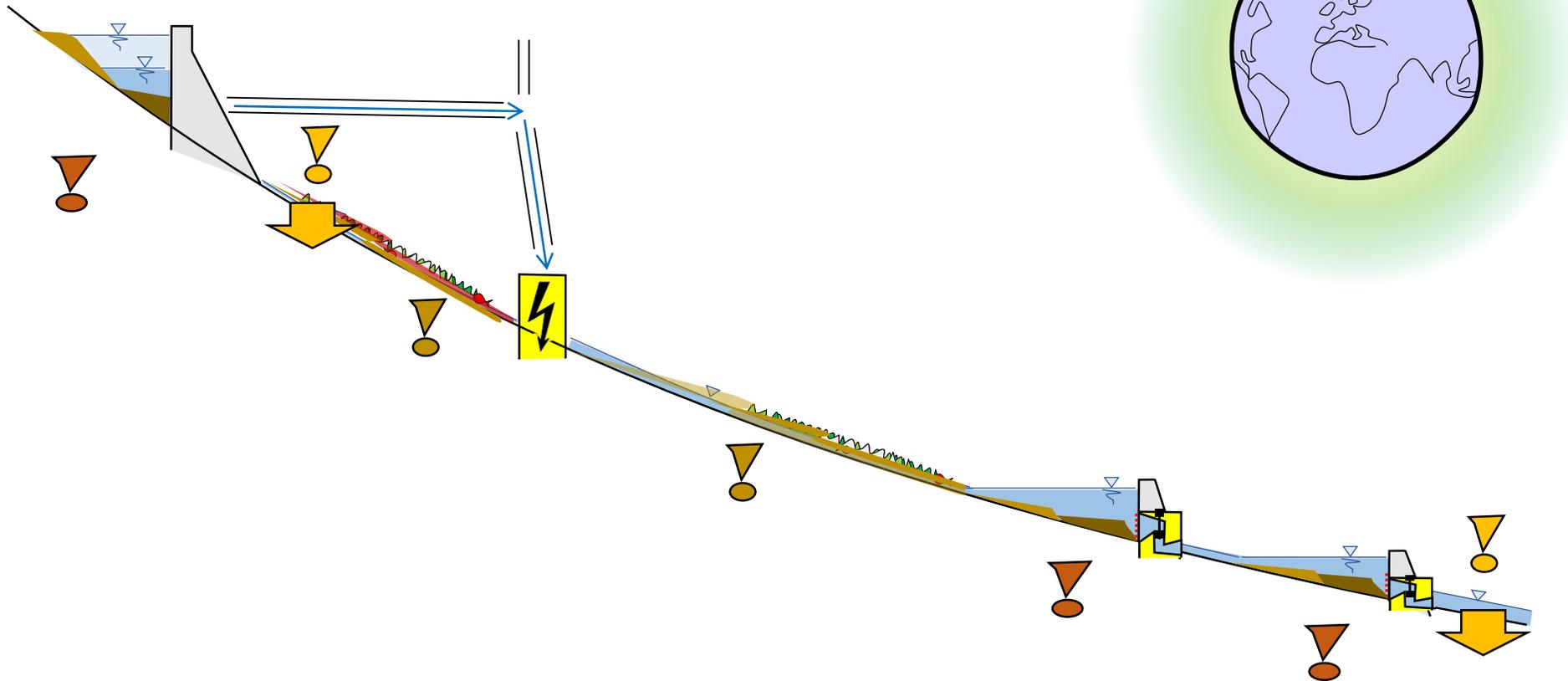
Mals, 24. Oktober 2024

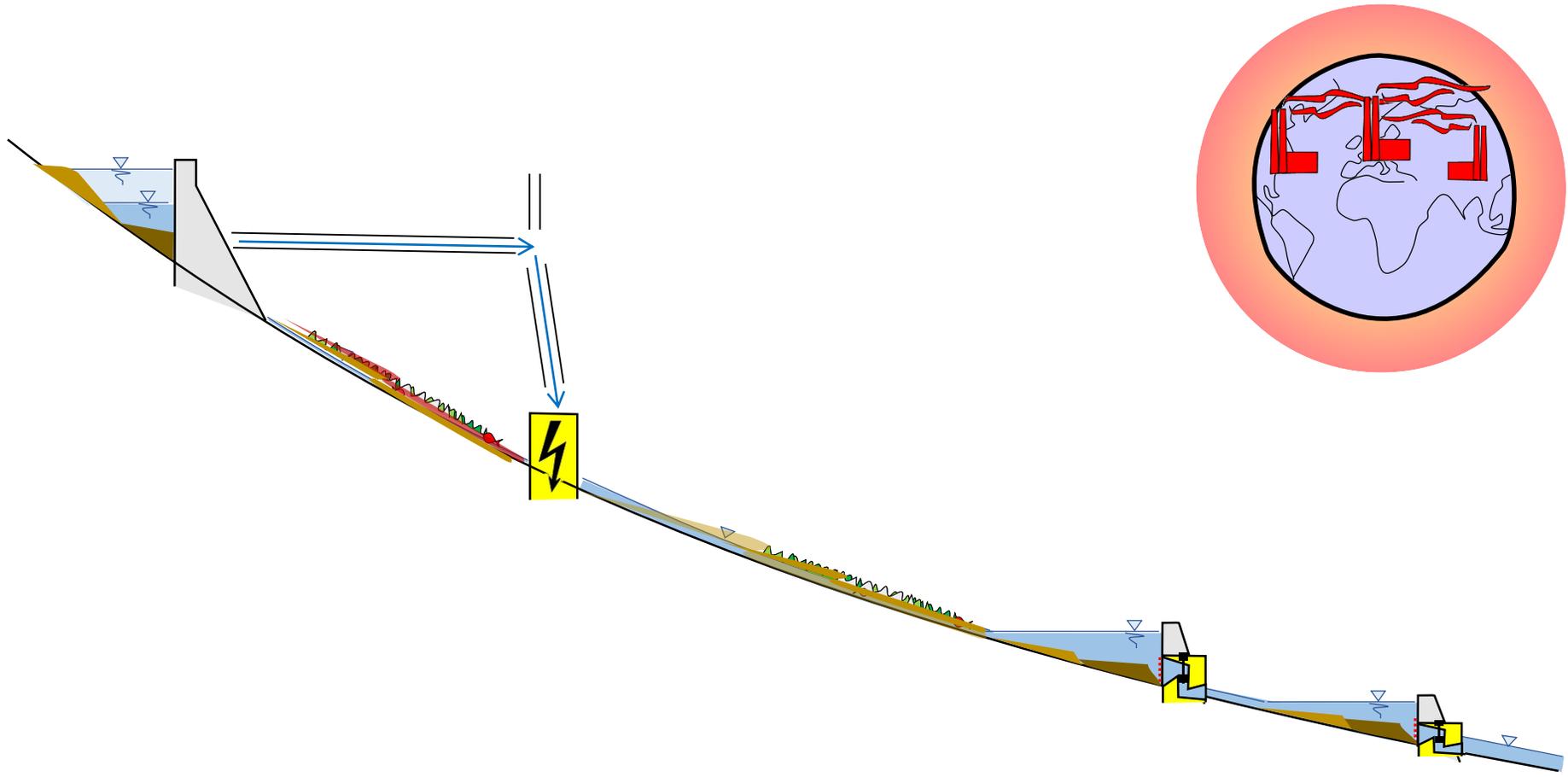
# Der Wandel entlang eines Flusses



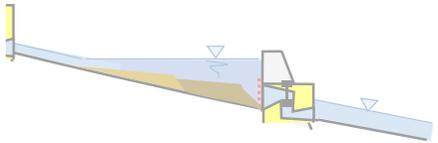
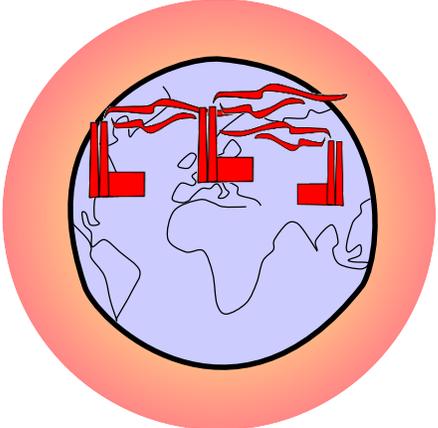
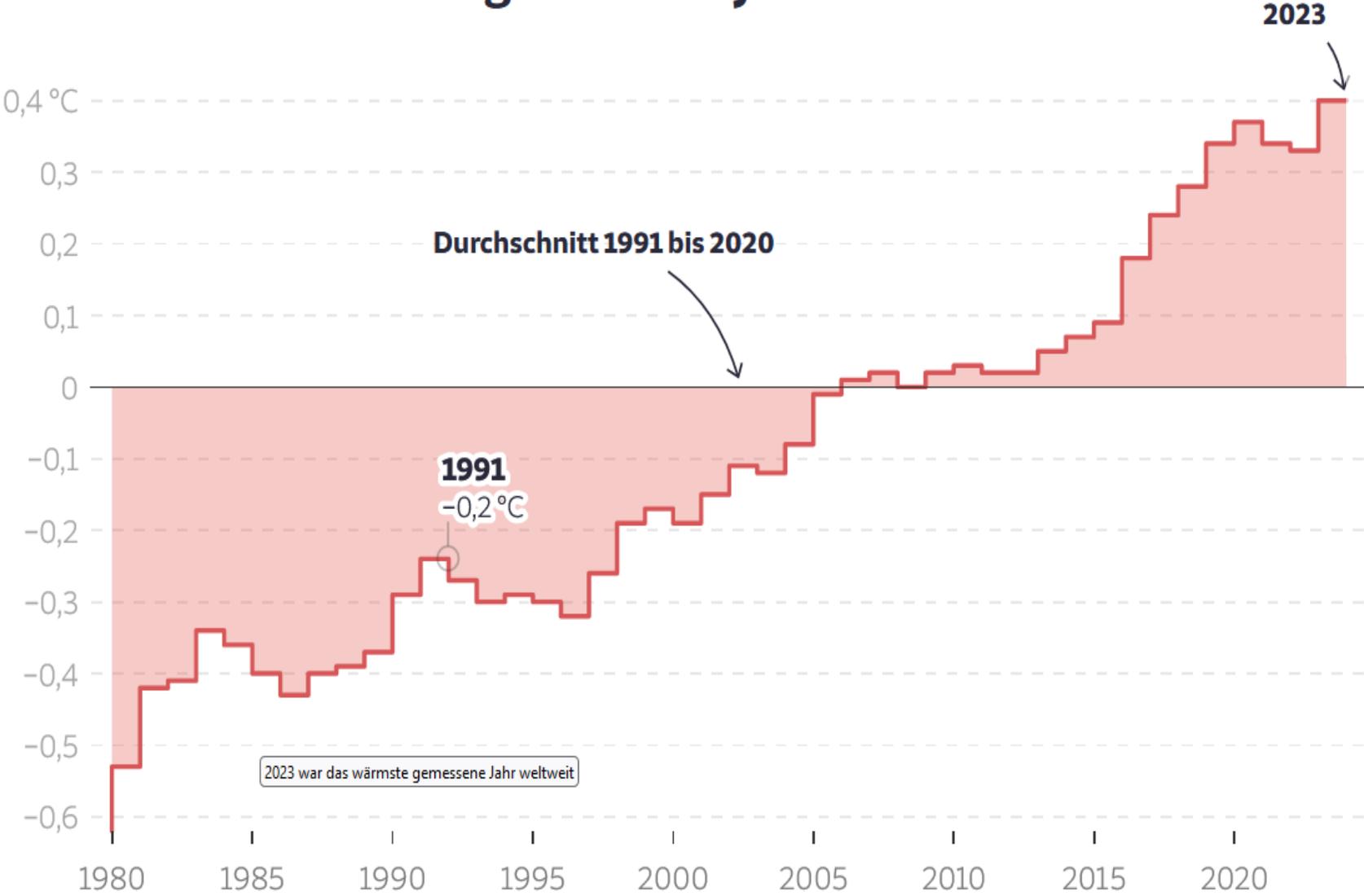








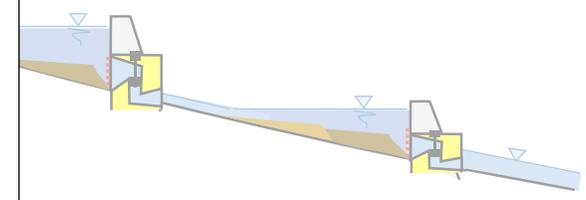
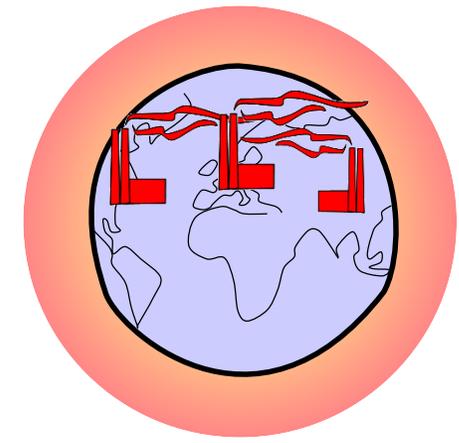
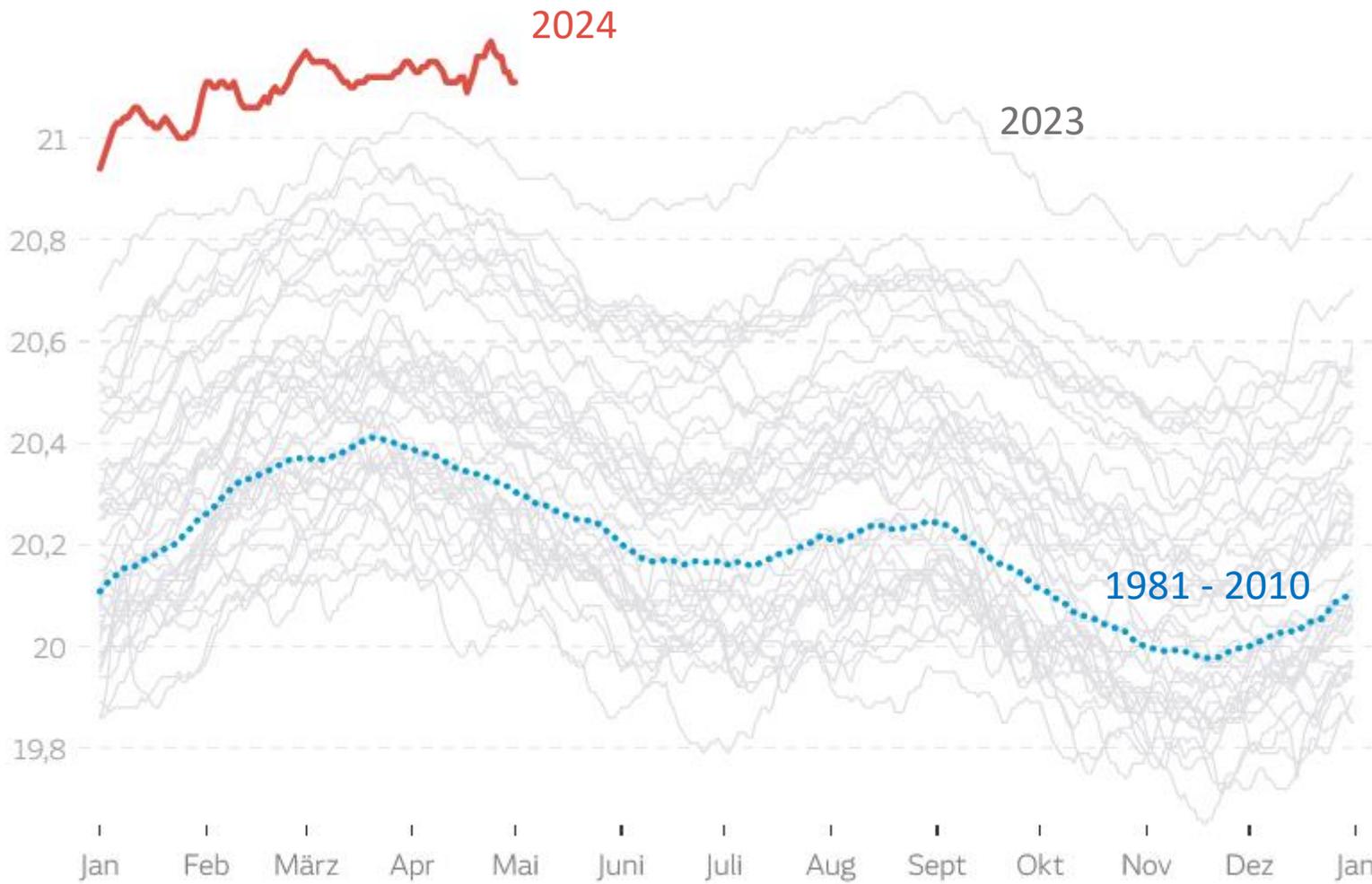
# 2023 war das wärmste gemessene Jahr weltweit



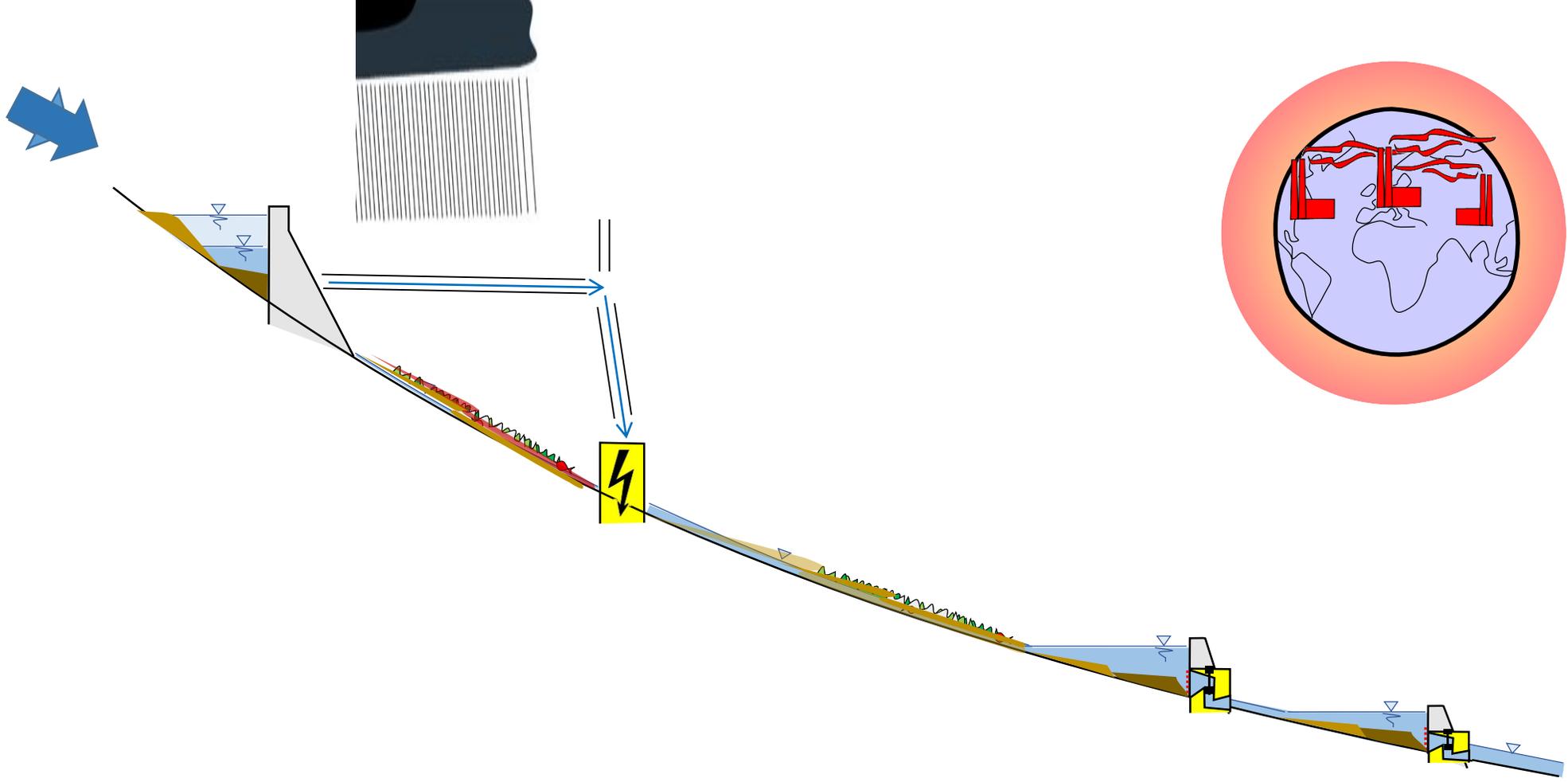
Temperatur im globalen Mittel im Vergleich zum Durchschnitt der Jahre 1991 bis 2020.

# Oberflächentemperatur der Weltmeere

in Grad Celsius, seit 1981



SZ-Grafik: smh ; Quelle: Climate Reanalyzer

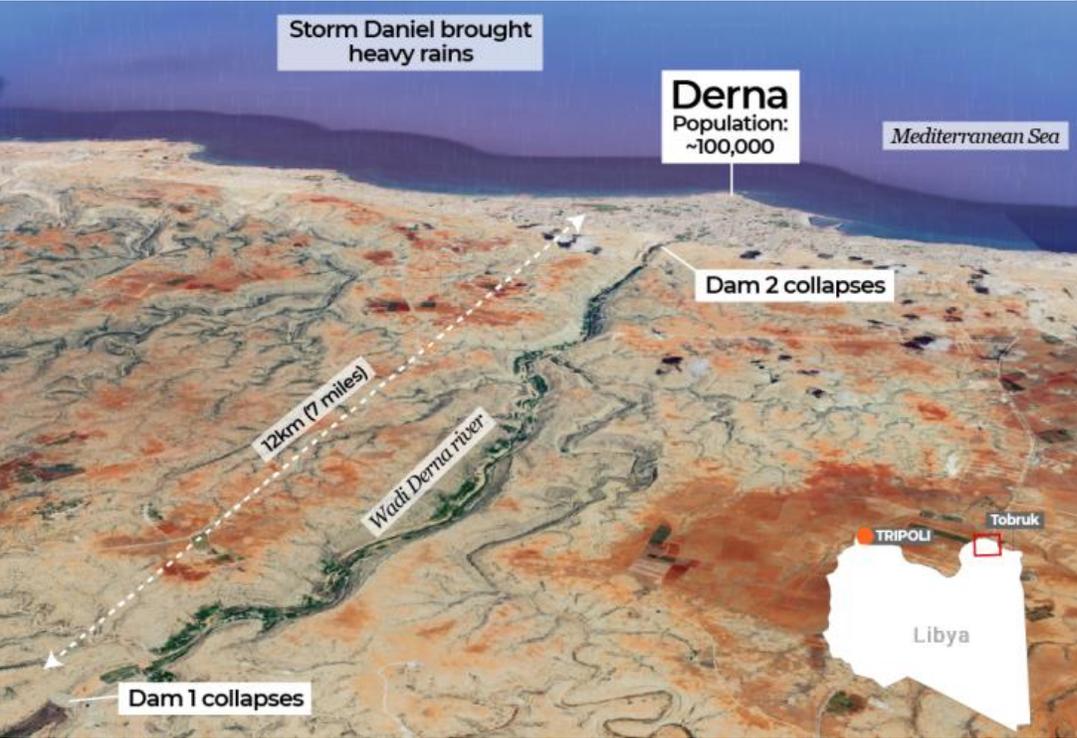




# Publications

Markus Aufleger and Nima Kafashan  
**The dam disaster of 11 September 2023 in Wadi Derna, Libya**

This article on the disaster of 11 September 2023 in Derna, Libya, was compiled exclusively based on freely available information from the Internet. It was initially prepared as internal information for the German Dam Committee (DTK), discussed in this body and proposed for publication for interested specialist groups due to the significance of the event. Due to the severity of the disaster with several thousand deaths, particular sensitivity is recommended when dealing with the information provided and its interpretation.



## Die Talsperrenkatastrophe vom 11.09.2023 im Wadi Derna, Libyen

[www.springerprofessional.de/wawi](http://www.springerprofessional.de/wawi)

WASSERWIRTSCHAFT 4 | 2024



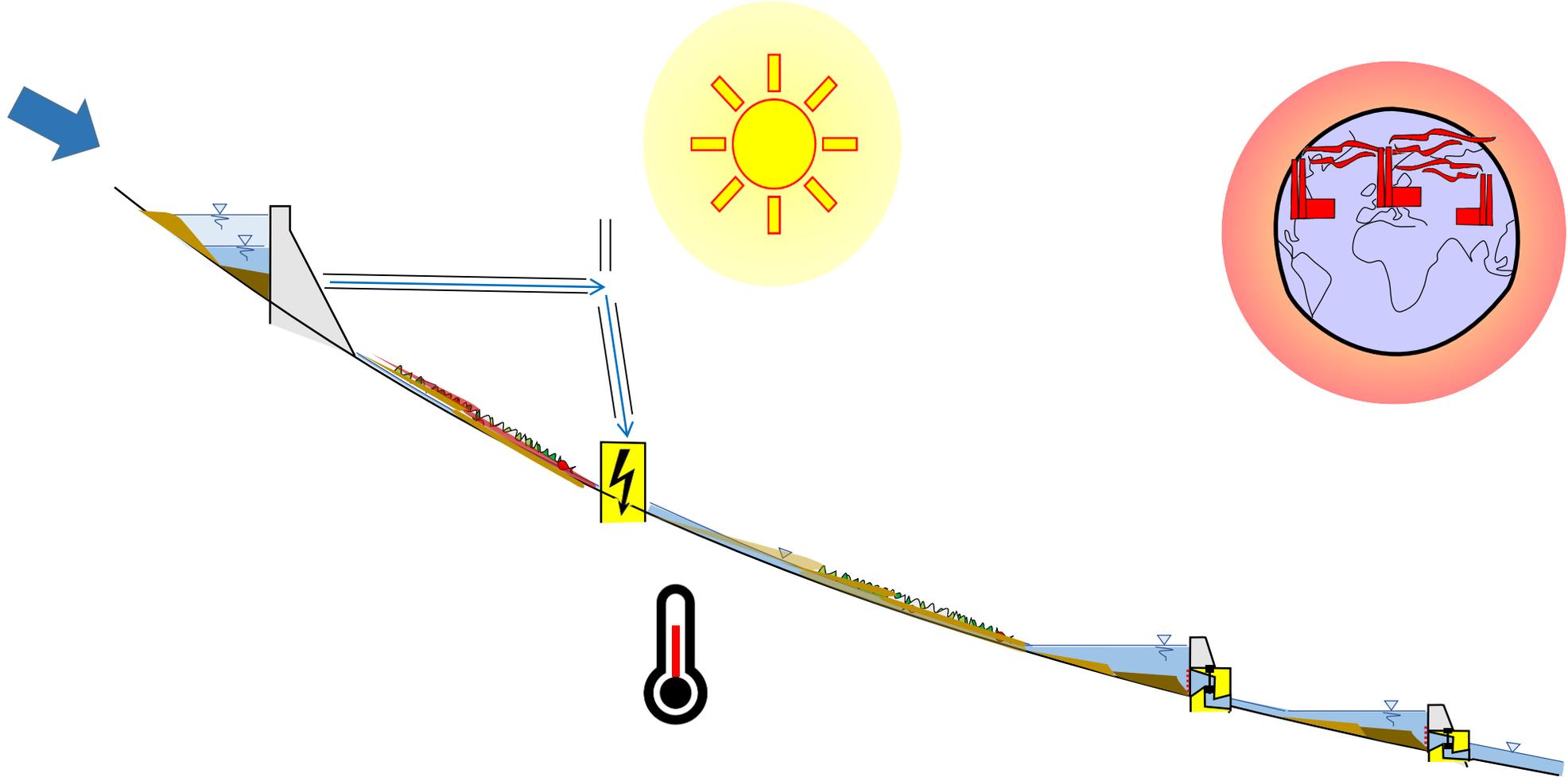
Image © 2024 Airbus

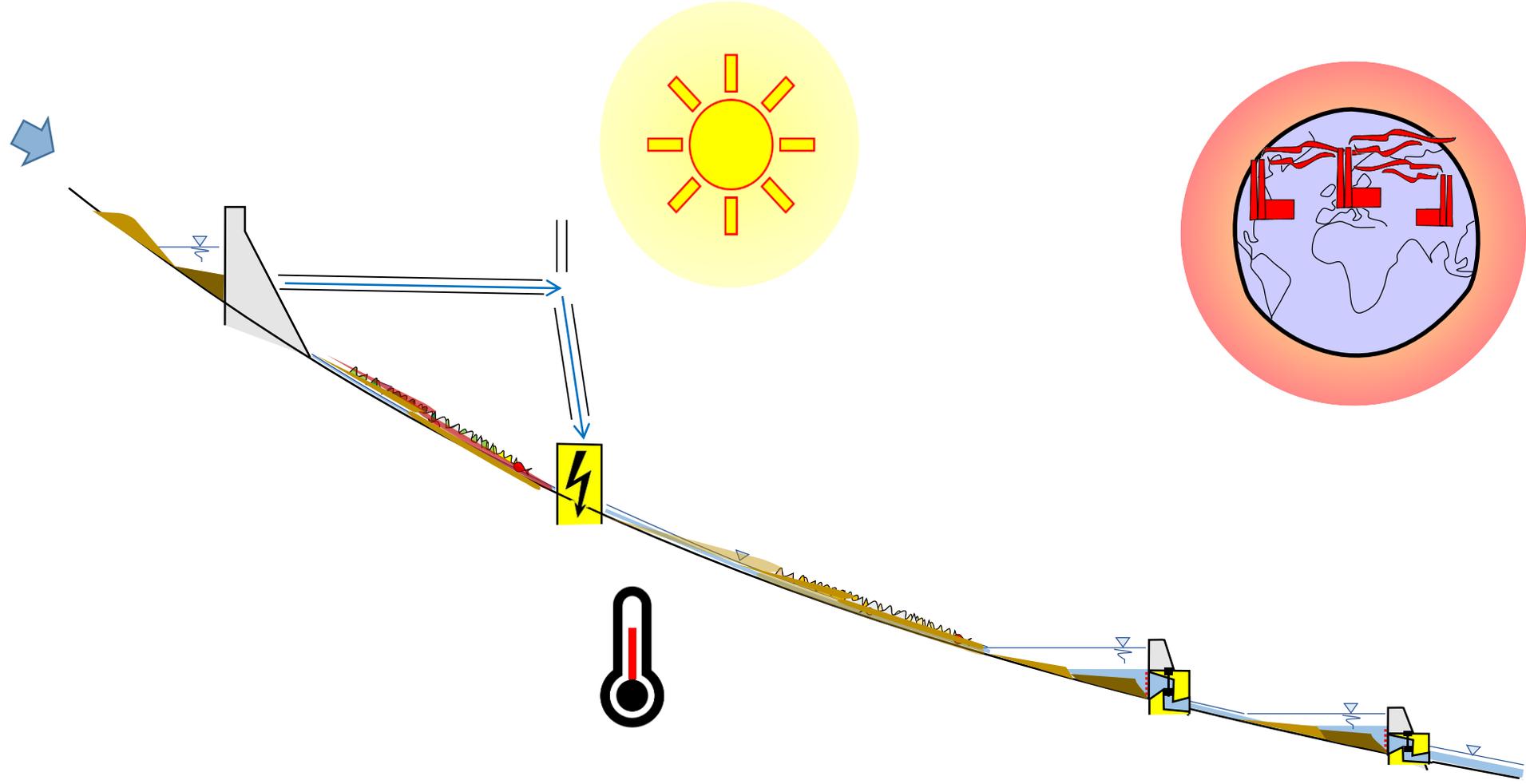
Google Earth



Image © 2024 Airbus

Google Earth





Pakistan

<https://www.medico.de/blog/hotspot-der-klimakrise-19583>

# Hotspot der Klimakrise

11.07.2024 Lesezeit: 6 min

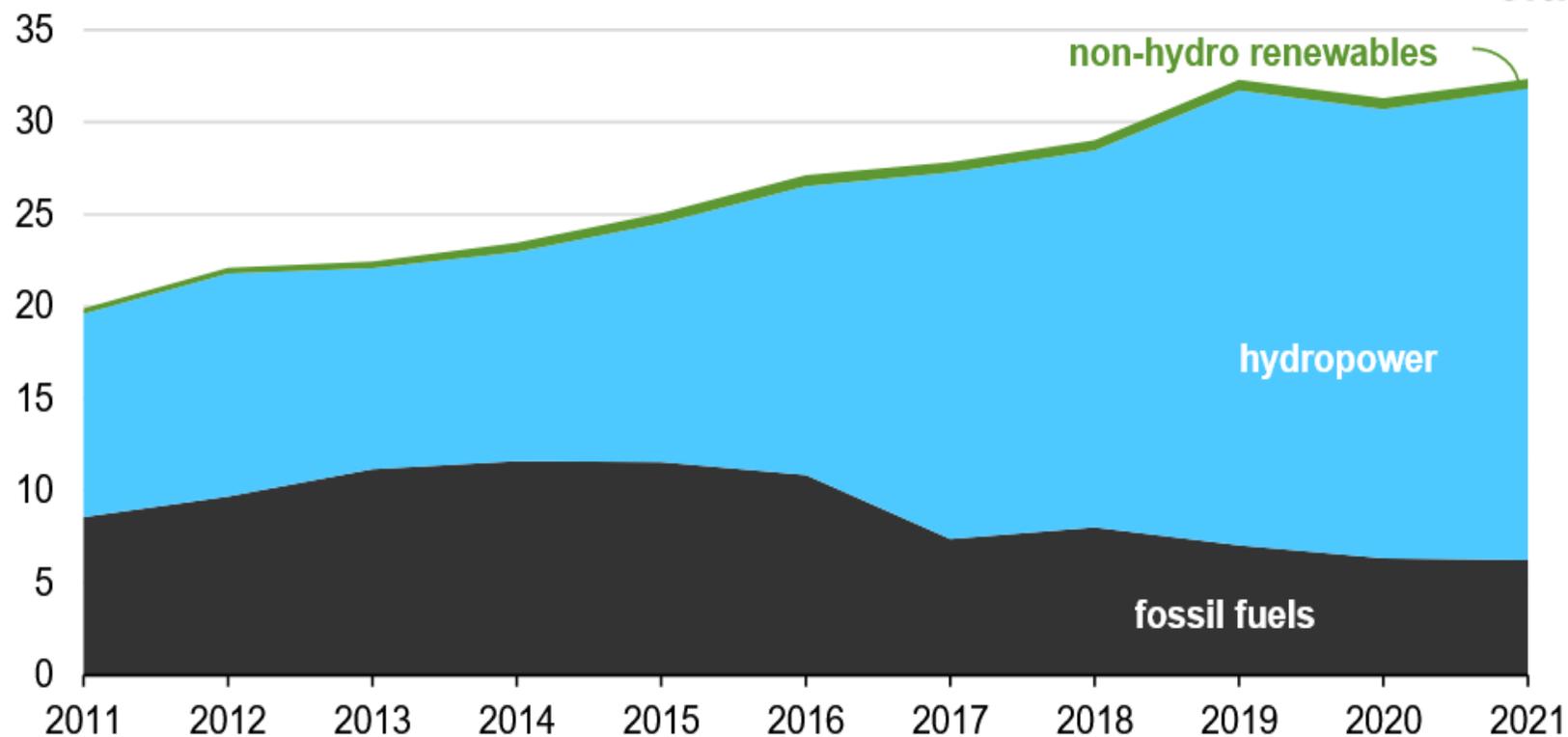


Schon 2015 starben in Karatschi über 1000 Menschen an den Folgen einer Hitzewelle. Seitdem haben sich diese Extremereignisse vervielfacht. [Foto: Akhtar Soomro]

## Ecuador has continued to expand use of hydroelectric power

Annual electricity generation by source, Ecuador (2011–2021)

billion kilowatthours



Data source: U.S. Energy Information Administration, *International Energy Statistics*

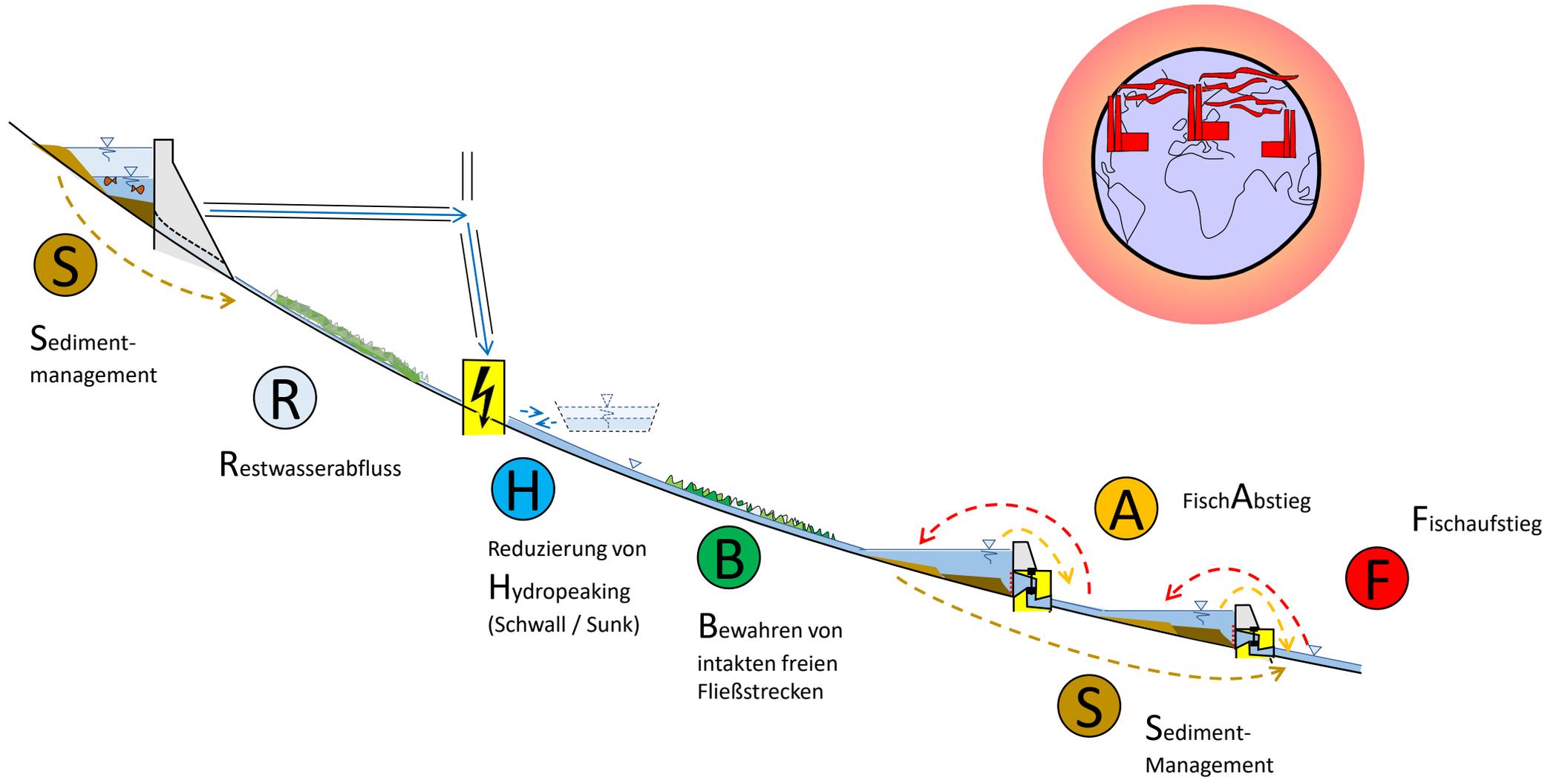
eia

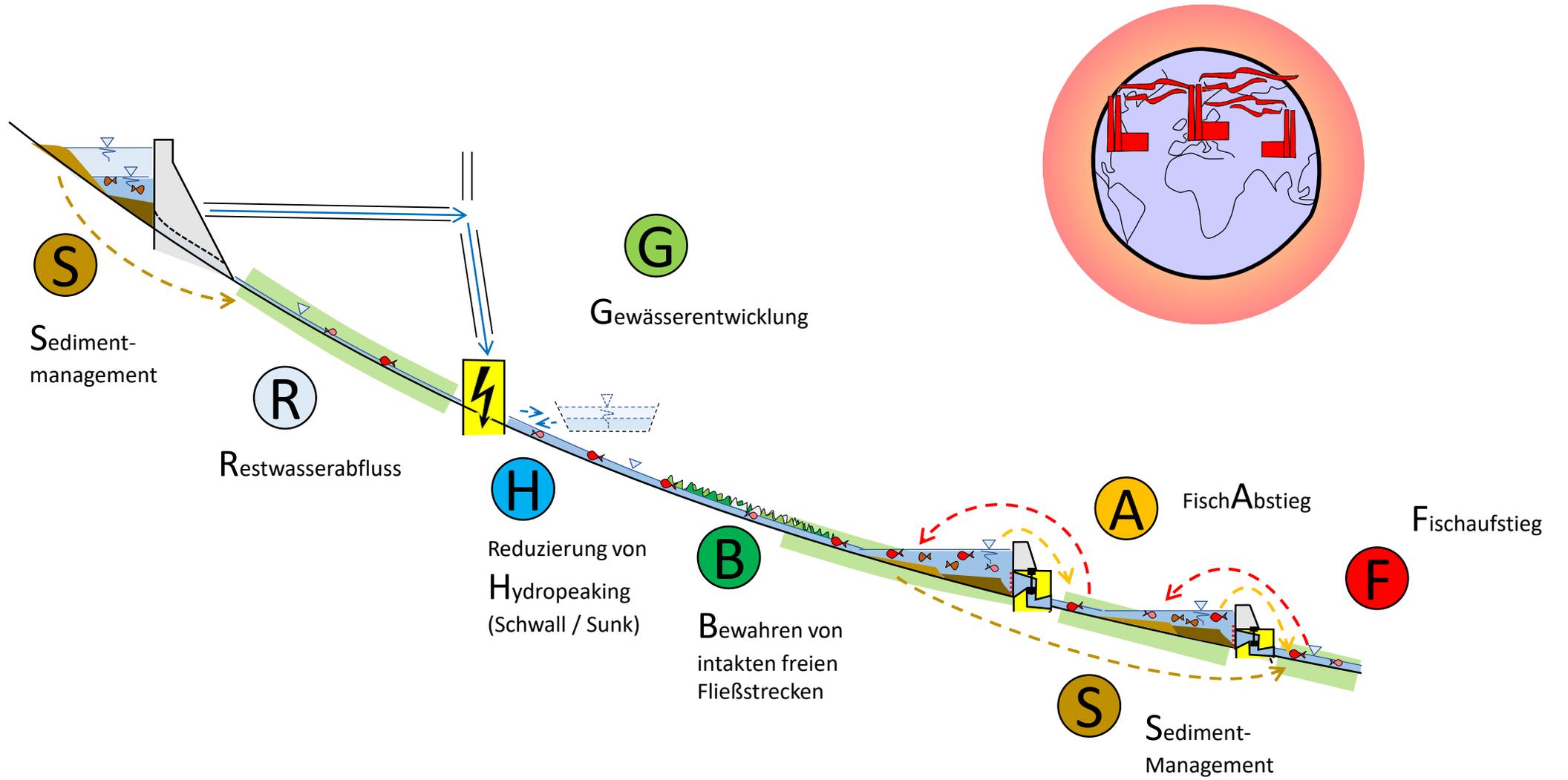


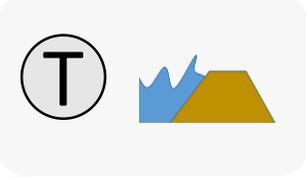
ENERGÍA

MEDIO AMBIENTE

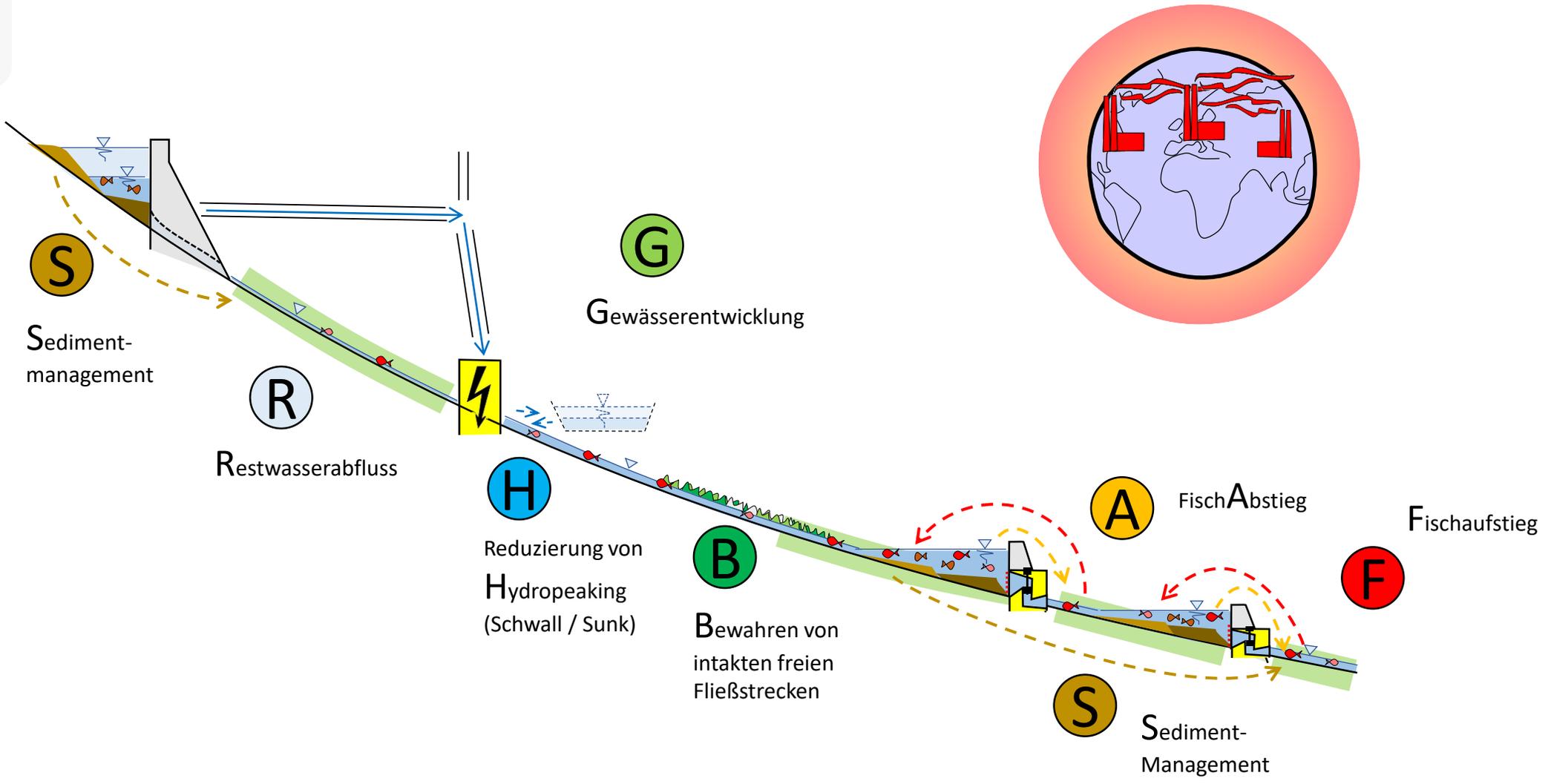
FRANCE 24

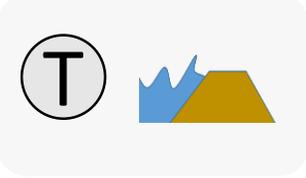




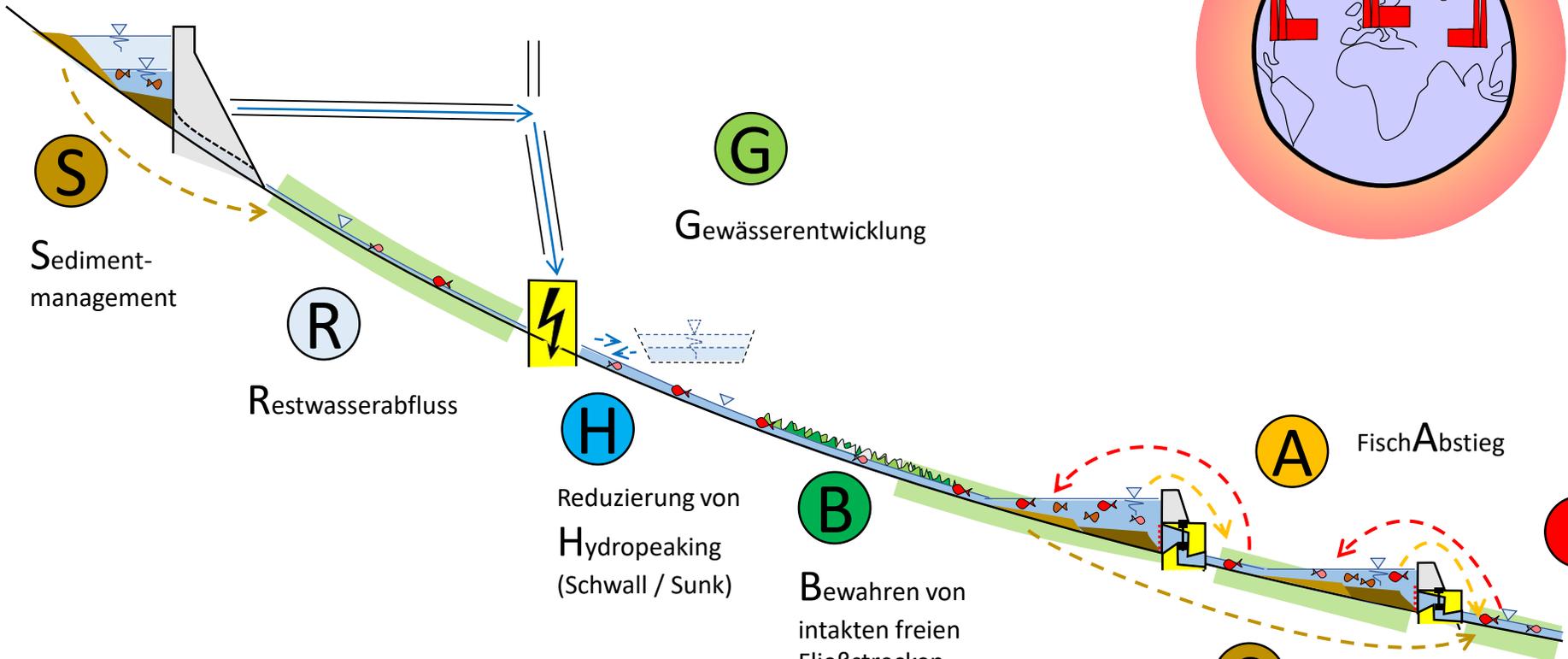


Talsperren-  
sicherheit



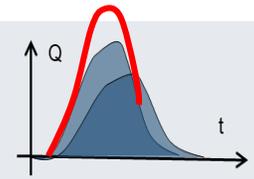


Talsperren-  
sicherheit



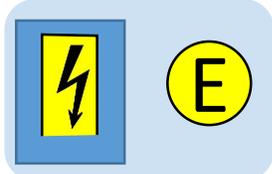
O

HOchwasserschutz



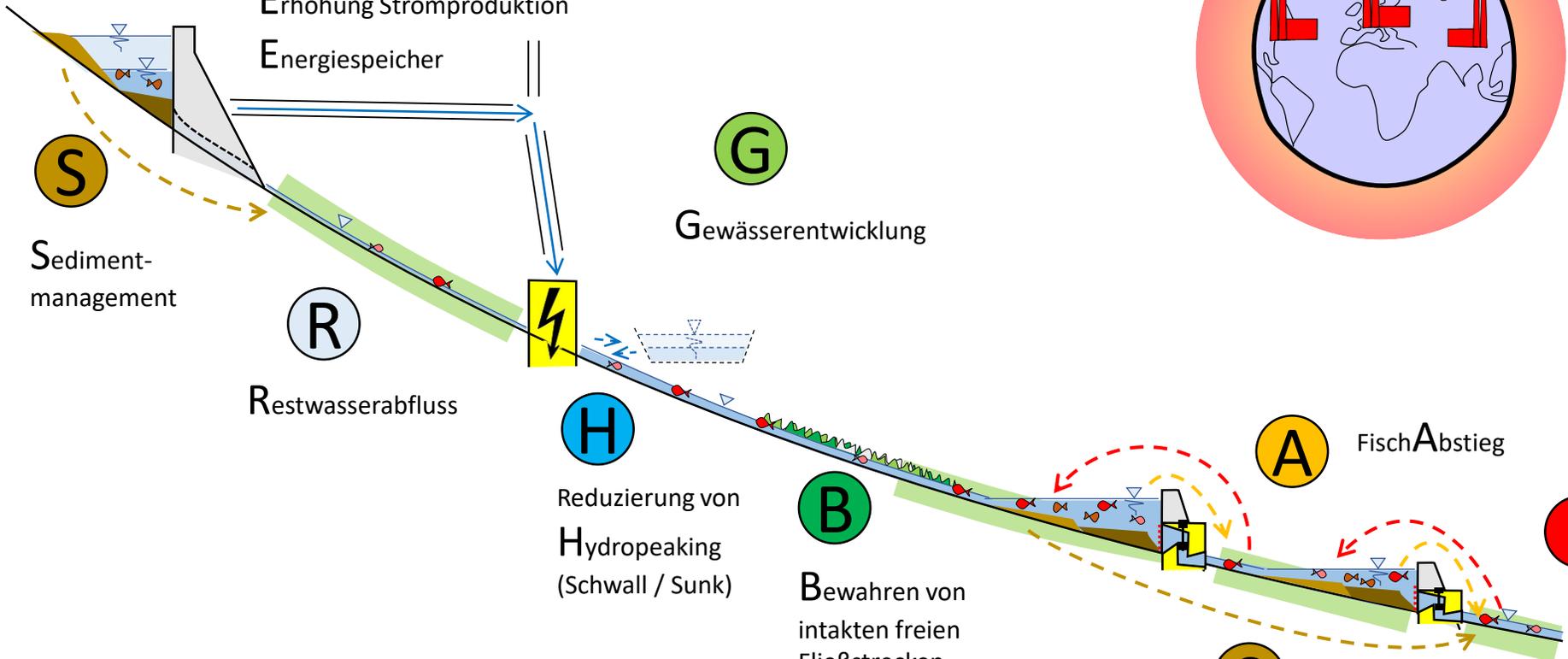


Talsperrensicherheit



Erhöhung Stromproduktion

Energiespeicher



S Sedimentmanagement

R Restwasserabfluss

H Reduzierung von Hydropeaking (Schwall / Sunk)

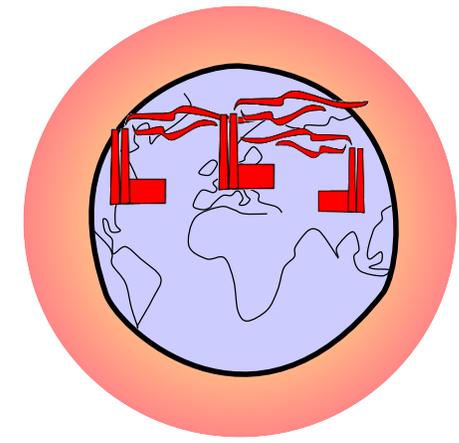
B Bewahren von intakten freien Fließstrecken

A FischAbstieg

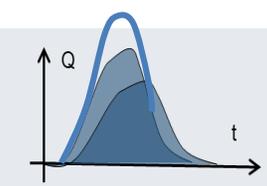
S Sediment-Management

F Fischeaufstieg

G Gewässerentwicklung

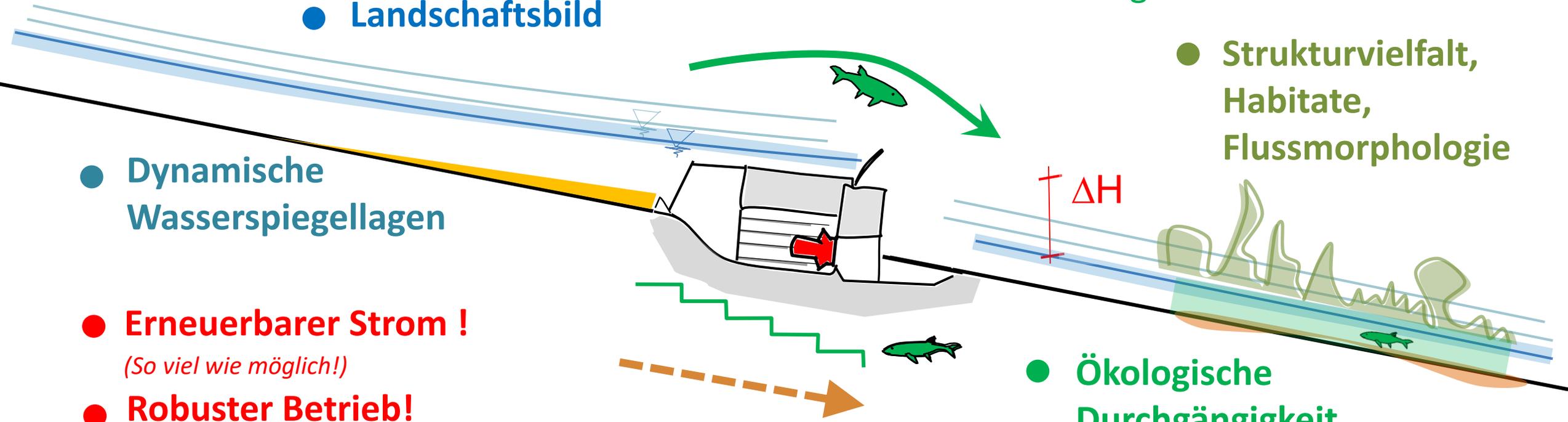


O Hochwasserschutz

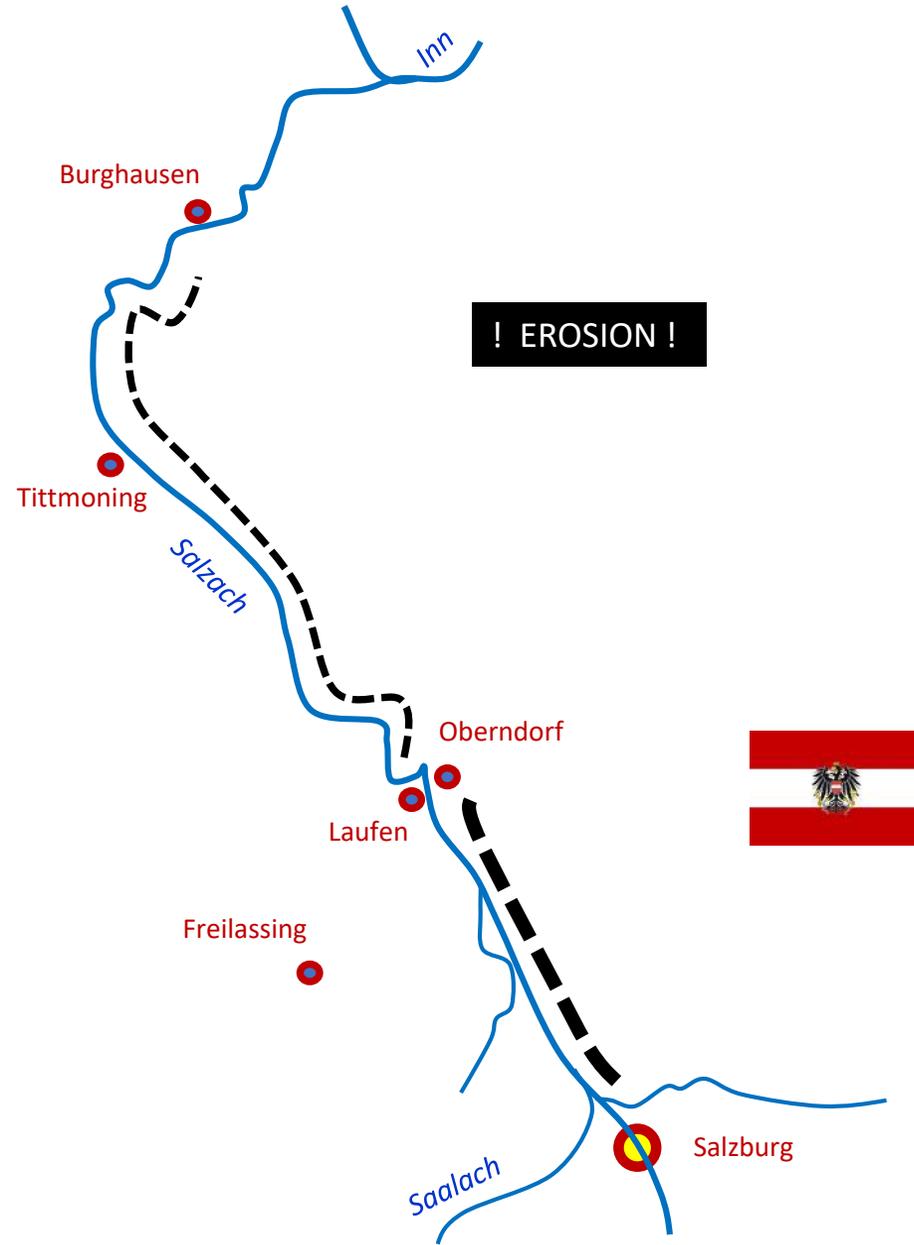


# Das Konzept „Fließgewässerkraftwerk“

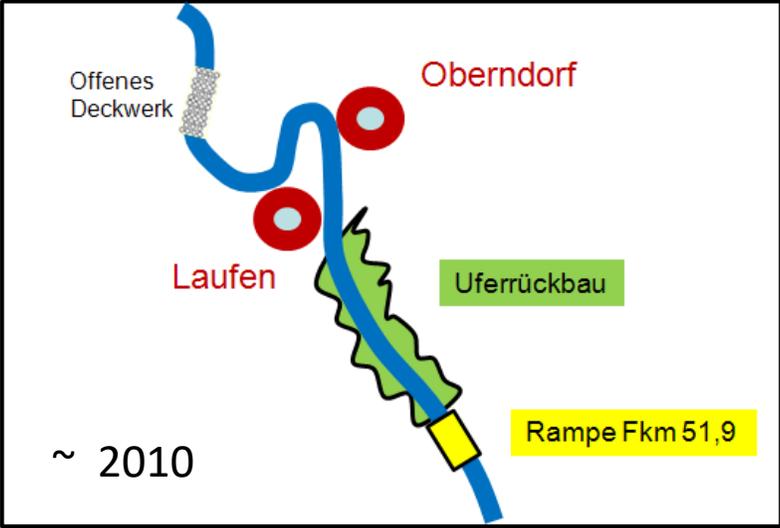
# Fließgewässerkraftwerk – Merkmale

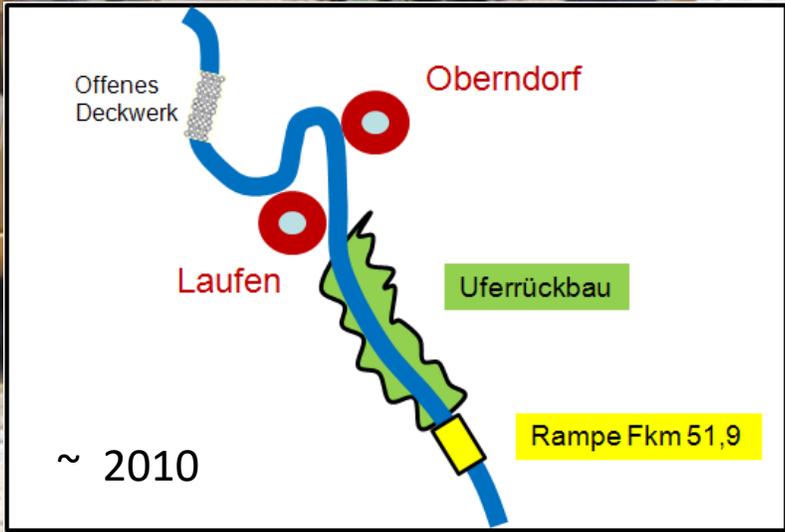
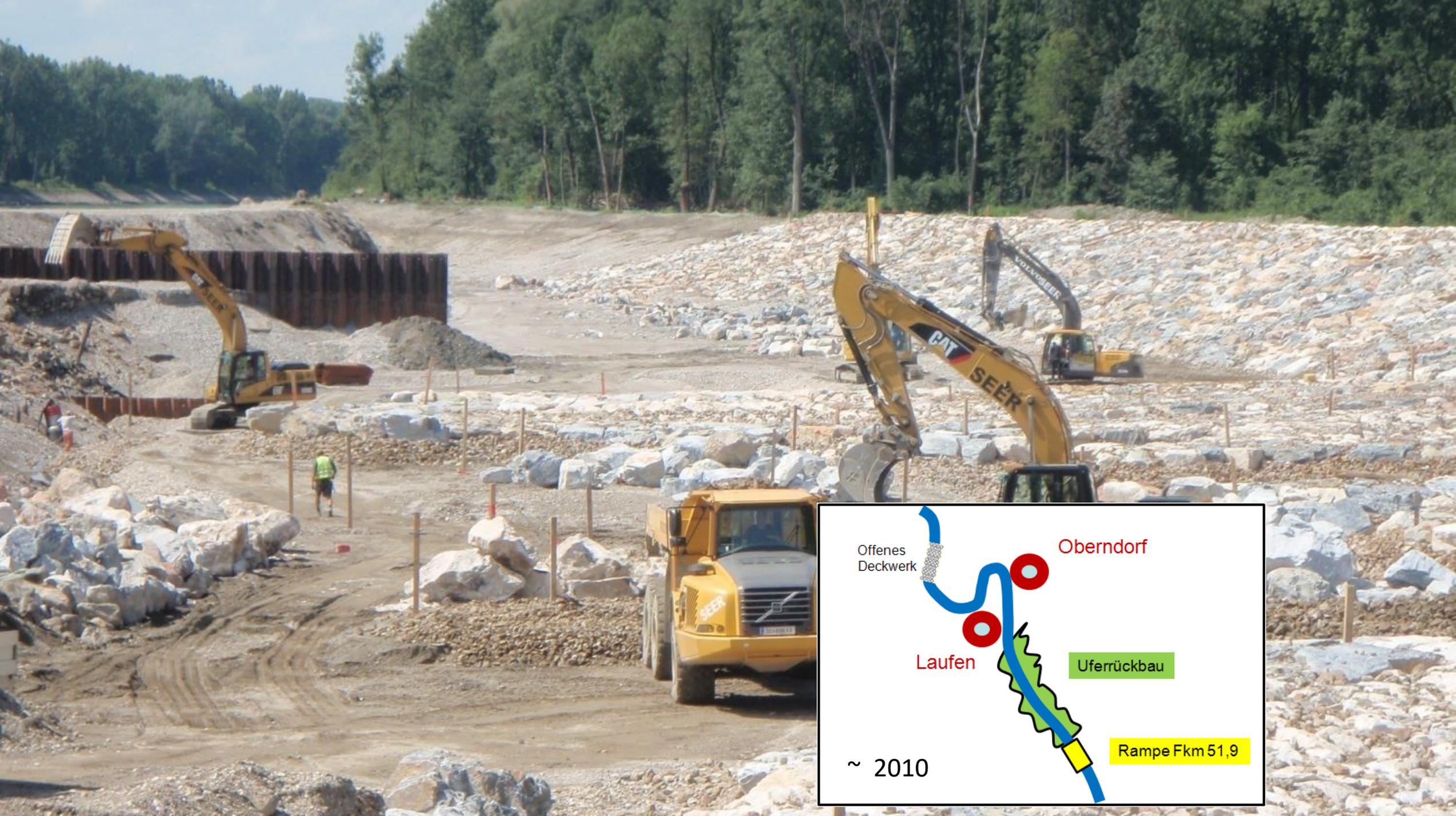
- Niedrige Fallhöhen
  - Fließgewässercharakter
  - Landschaftsbild
  - Dynamische Wasserspiegellagen
  - Erneuerbarer Strom !  
*(So viel wie möglich!)*
  - Robuster Betrieb!
  - Ökologische Durchgängigkeit – flussabwärts  
Fischschutz und Fischabstieg
  - Strukturvielfalt,  
Habitate,  
Flussmorphologie
  - Ökologische Durchgängigkeit – flussaufwärts  
Fischaufstieg
  - Geschiebe-  
durchgängigkeit
- 

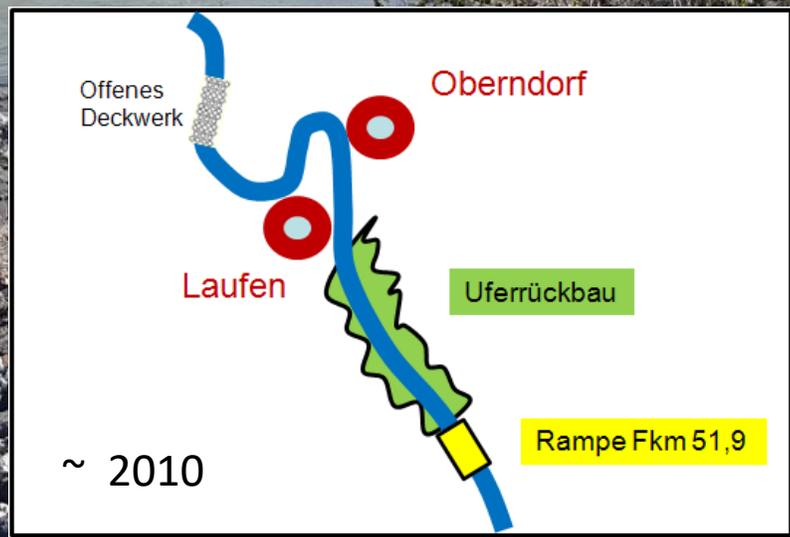
# Die Untere Salzach

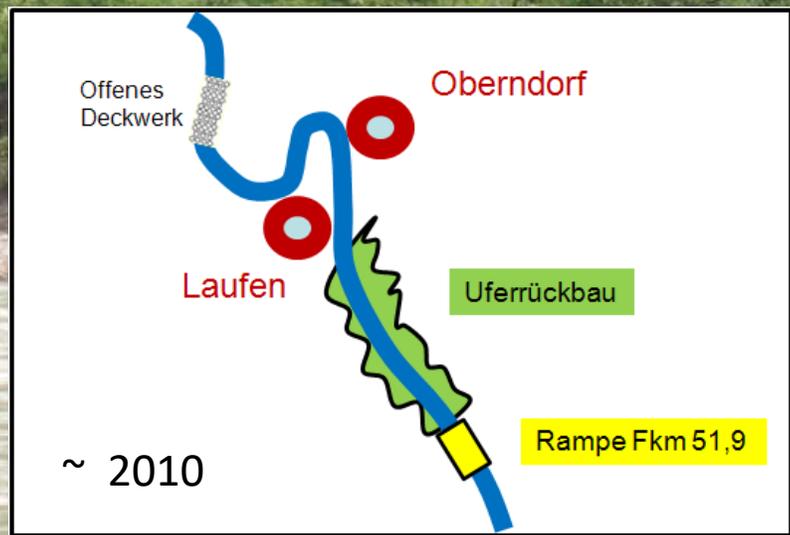




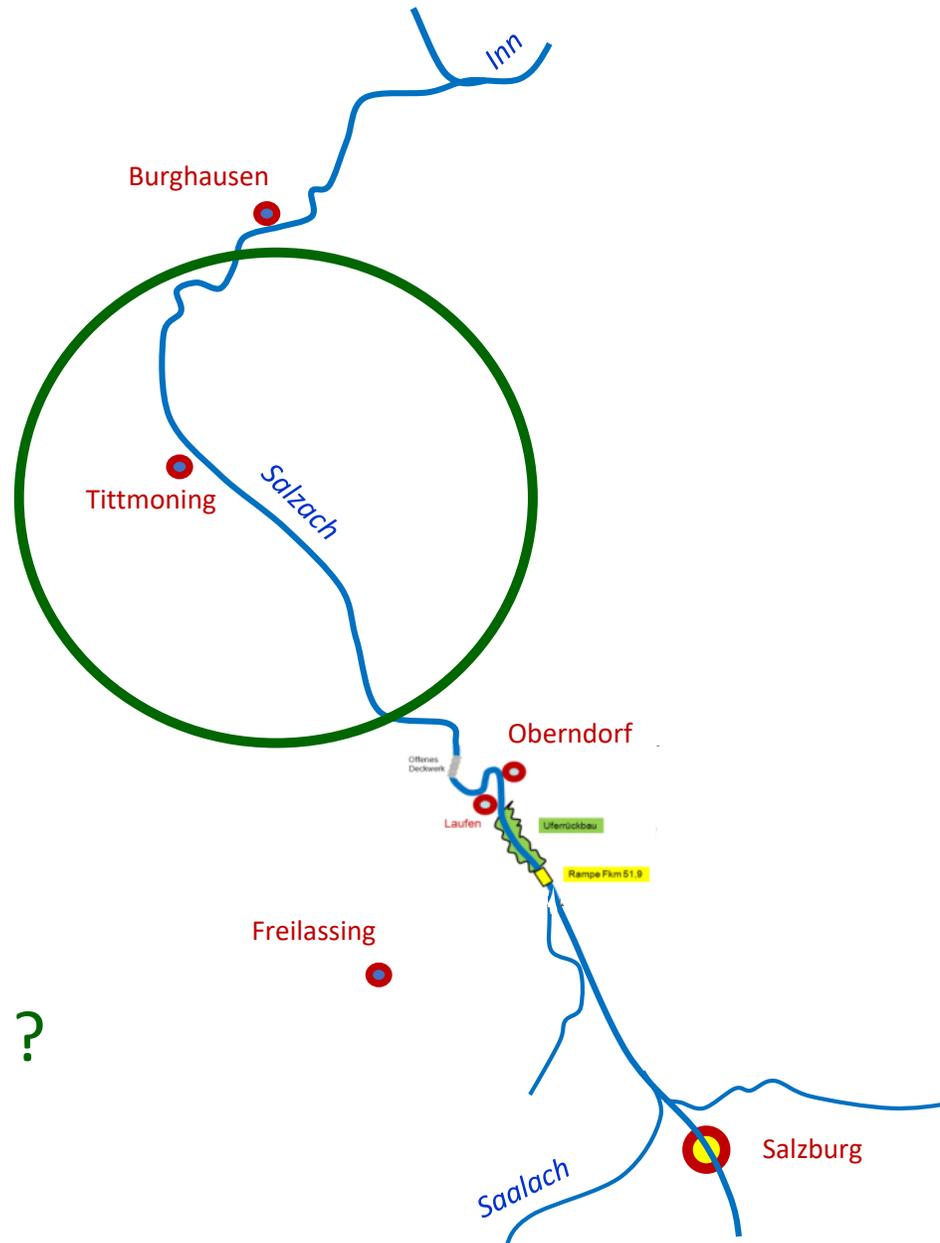








Sohlstabilisierung  
+  
Gewässerökologie  
+  
Wasserkraft (Klimaschutz) ?

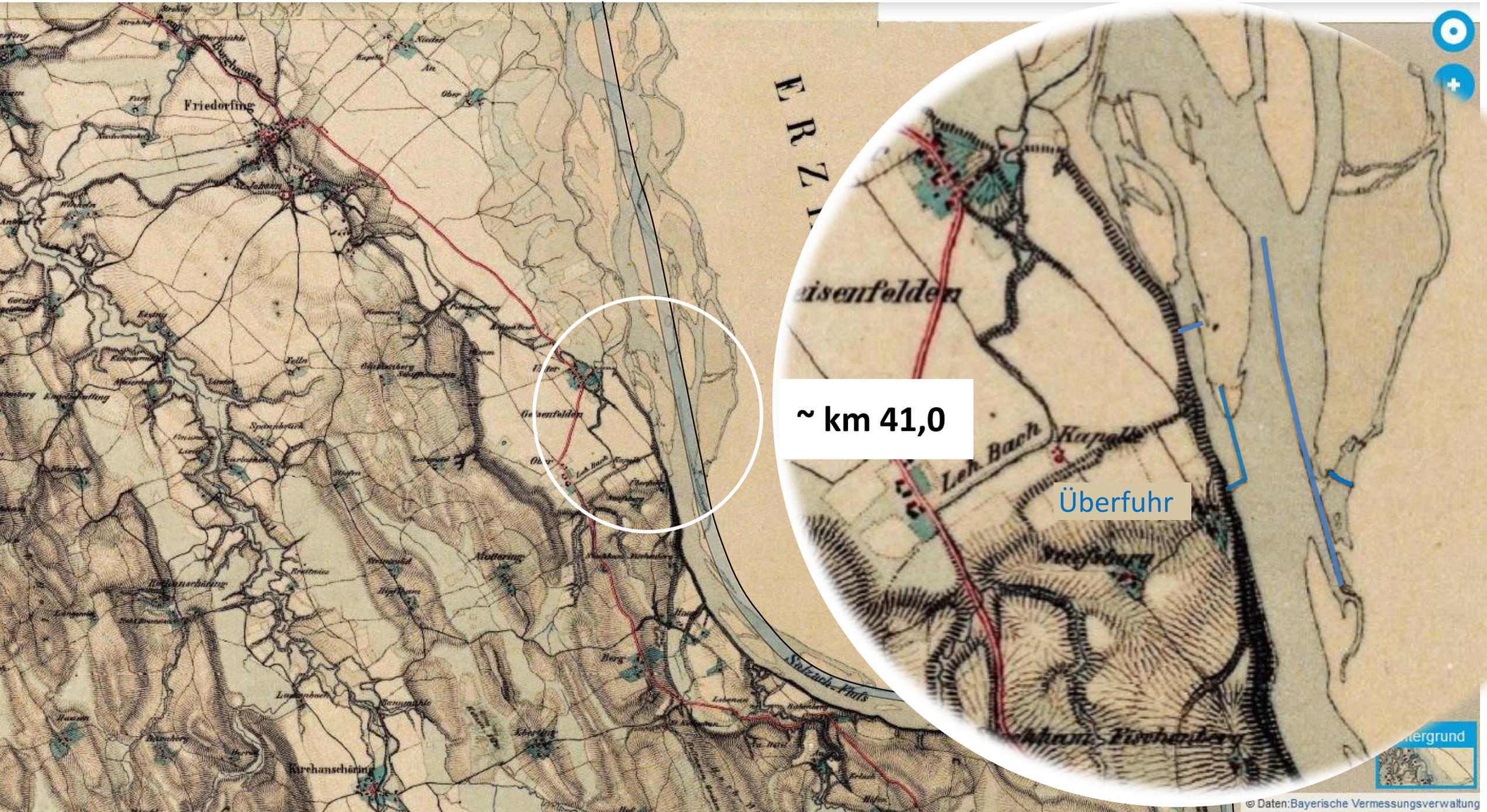






© Daten: Bayerische Vermessungsverwaltung

Hintergrundkarte: Digitales Orthophoto



Friedorfing

ERZ

Eisenfelder

~ km 41,0

Überfuhr

Leh Bach

Kapelle

Hintergrund

# Fließgewässerkraftwerk an der Unteren Salzach

Sanierungsvariante

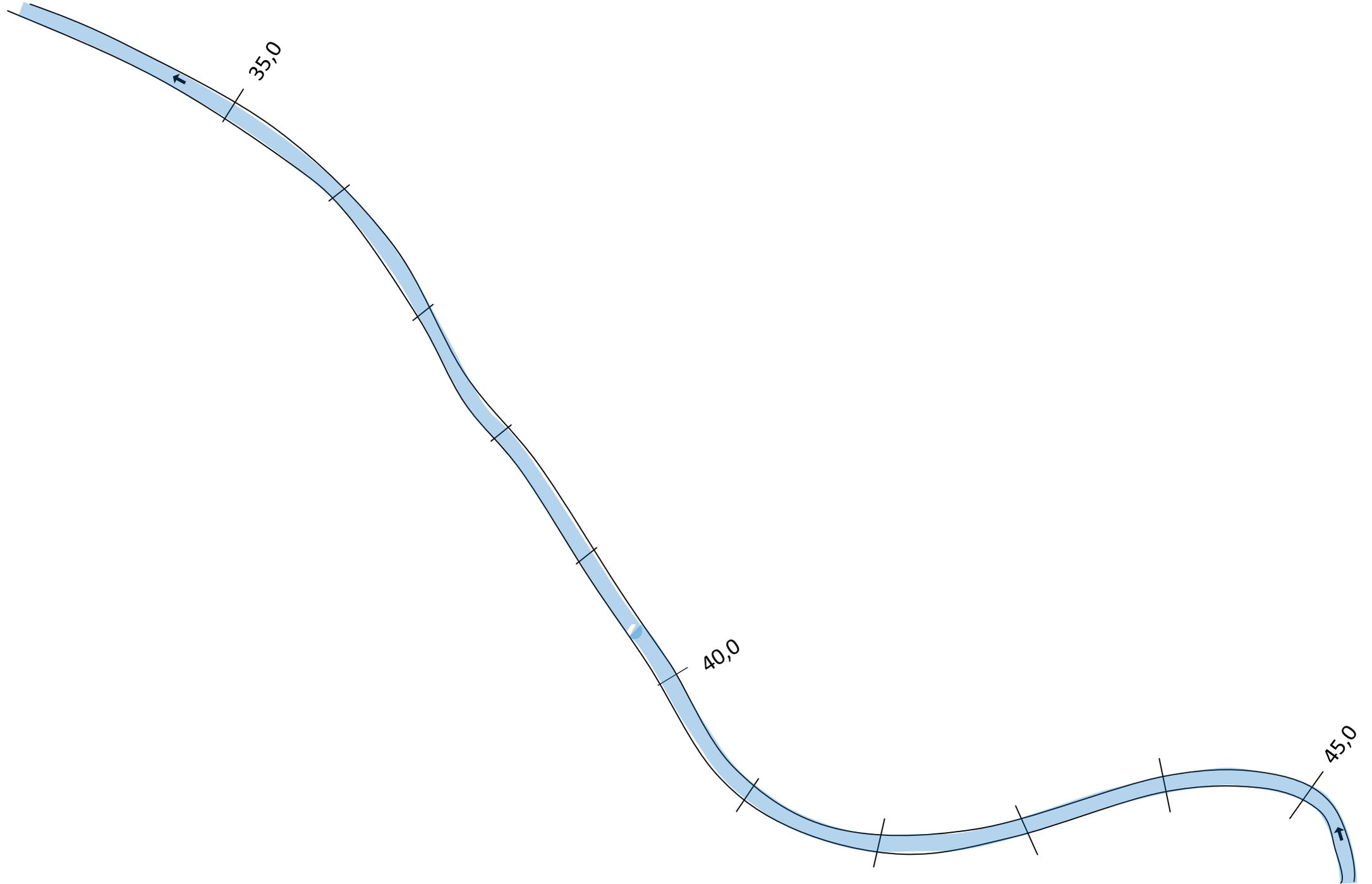
E1+ „Mehr Fluss“

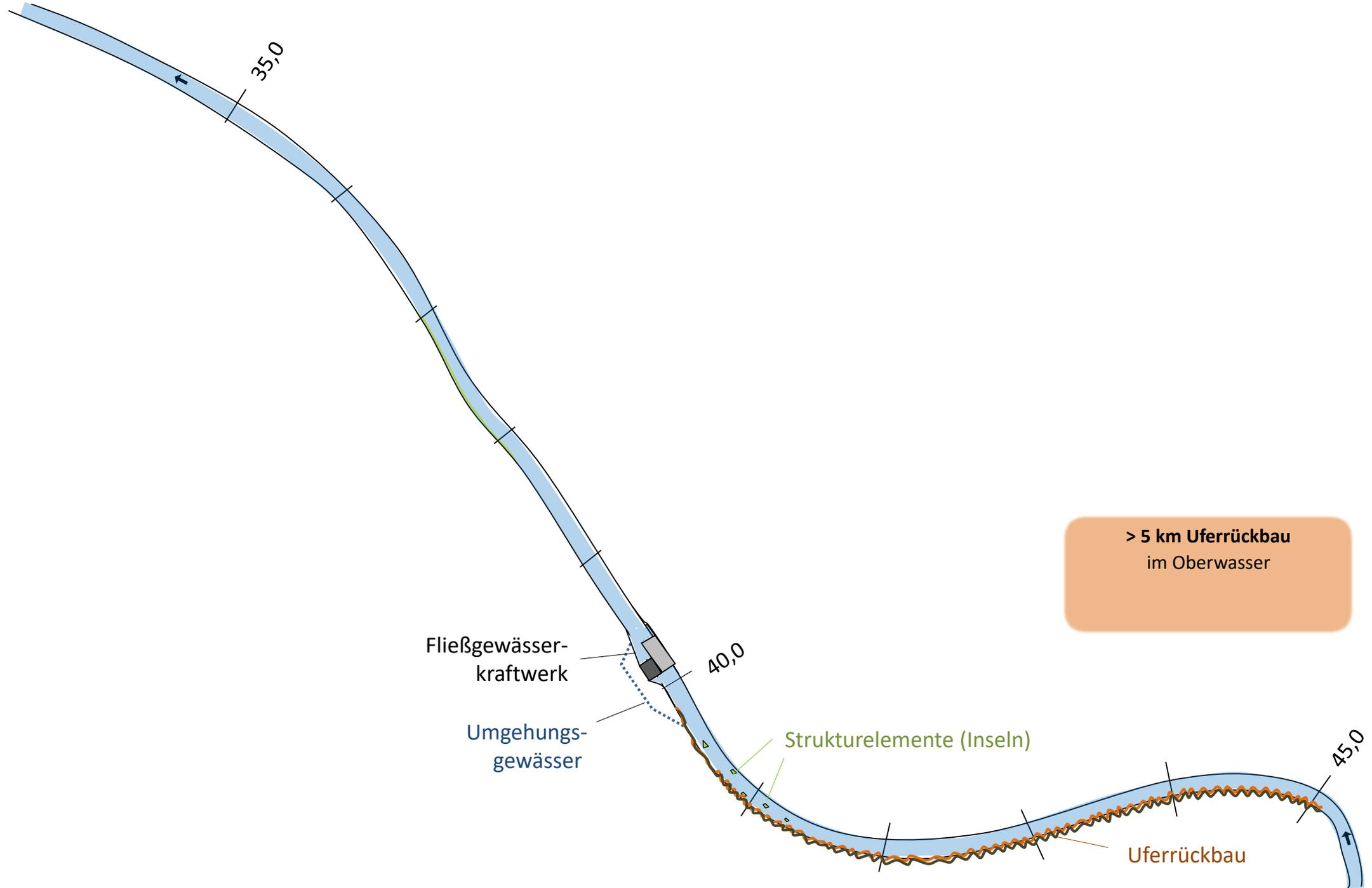


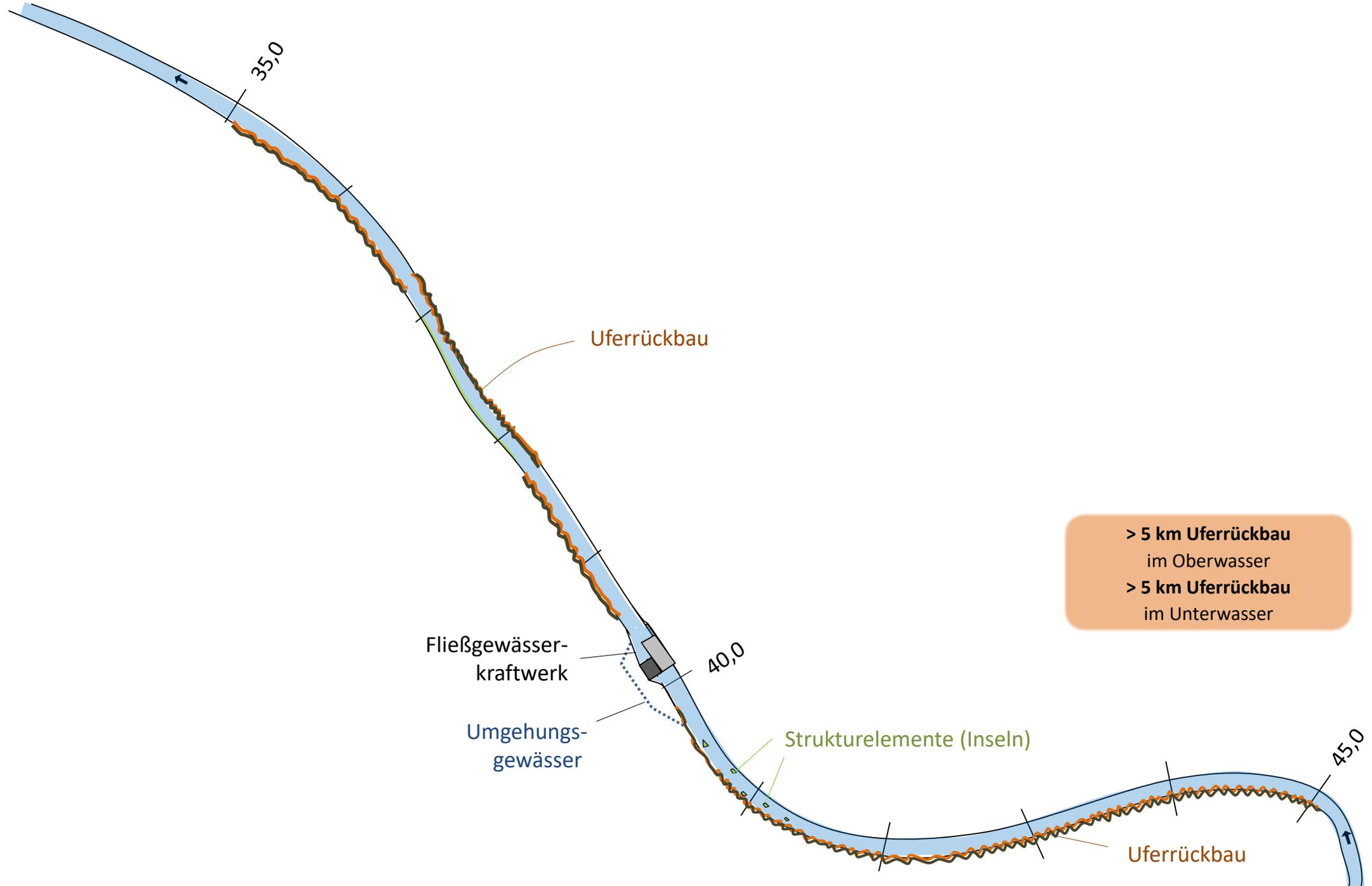
35,0

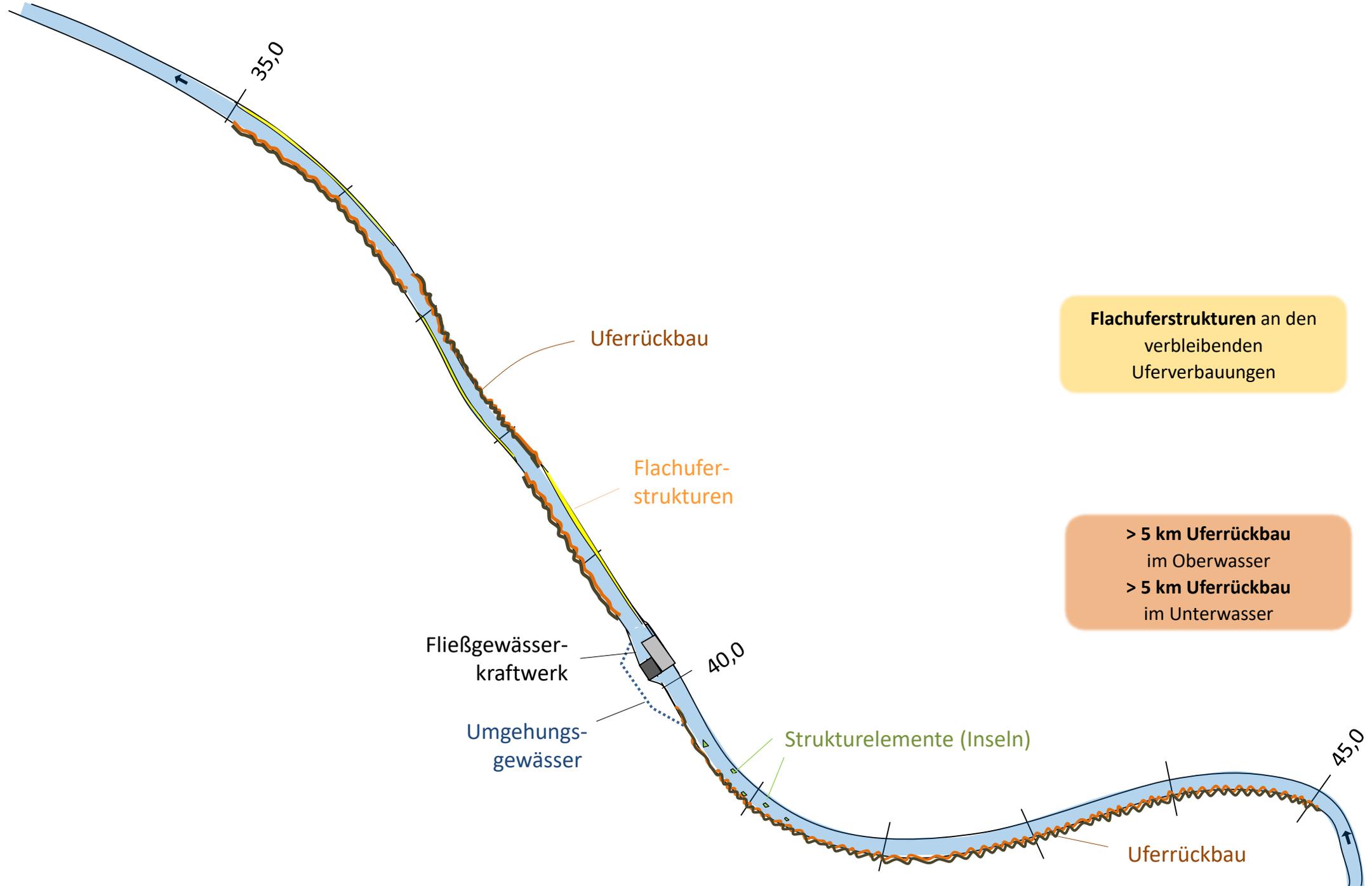
40,0

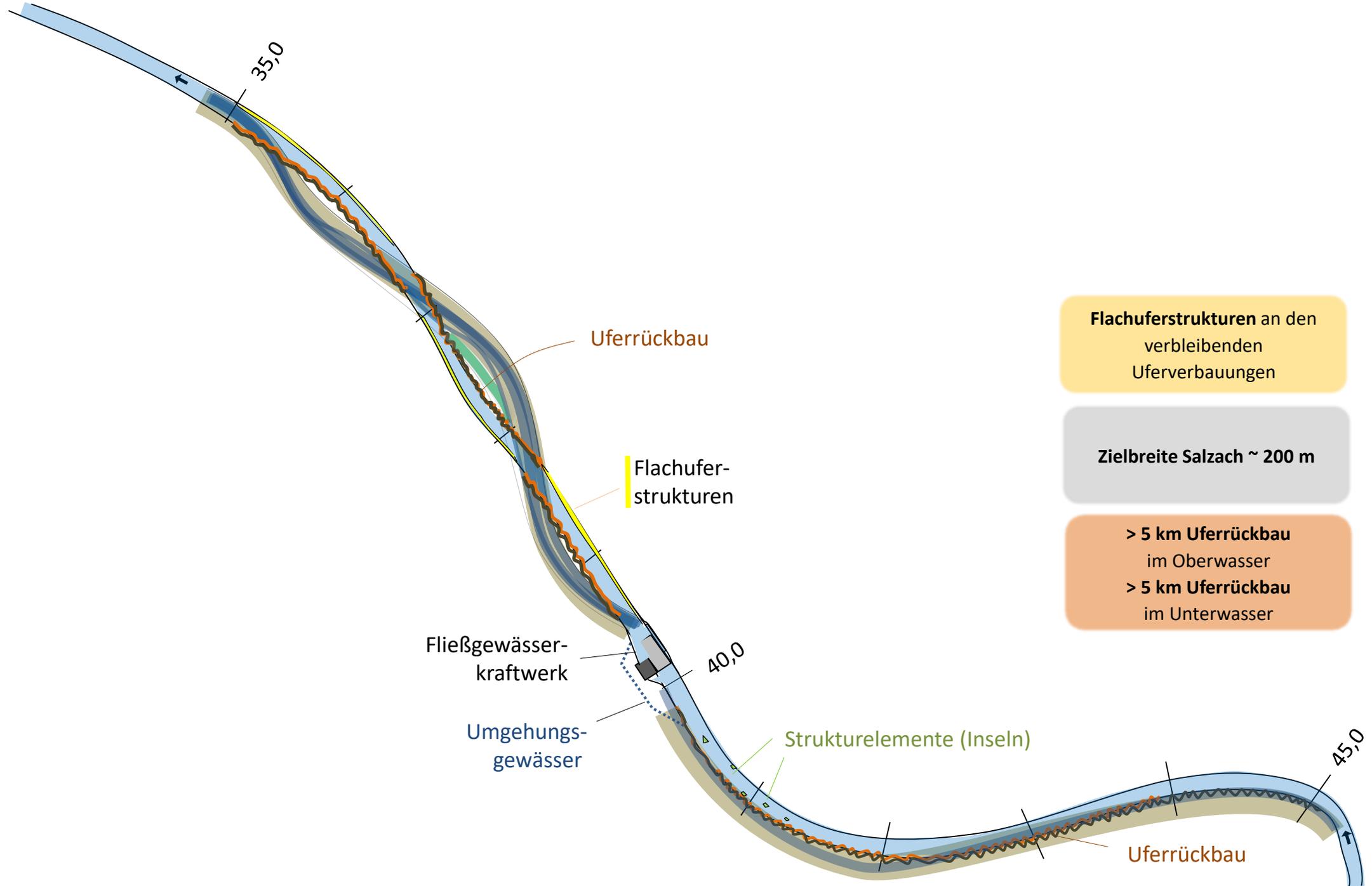
45,0











**Flachuferstrukturen** an den verbleibenden Uferverbauungen

Zielbreite Salzach ~ 200 m

> 5 km Uferrückbau im Oberwasser  
 > 5 km Uferrückbau im Unterwasser

Fließgewässerkraftwerk

Umgebungsgewässer

Uferrückbau

Flachuferstrukturen

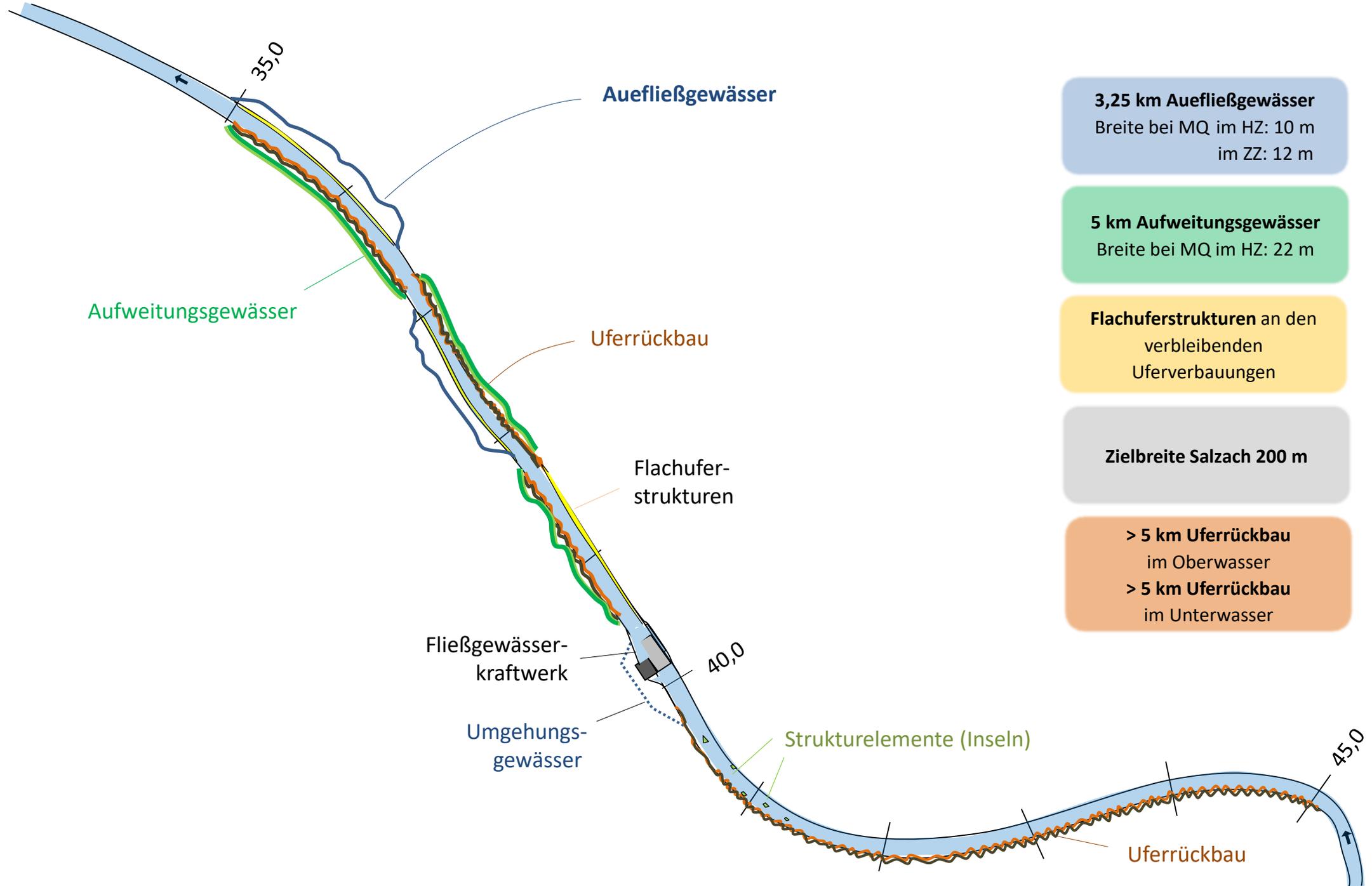
Strukturelemente (Inseln)

Uferrückbau

35,0

40,0

45,0



**Auefließgewässer**

**Aufweitungsgewässer**

**Uferrückbau**

**Flachuferstrukturen**

**Fließgewässerkraftwerk**

**Umgebungsgewässer**

**Strukturelemente (Inseln)**

**Uferrückbau**

35,0

40,0

45,0

**3,25 km Auefließgewässer**  
Breite bei MQ im HZ: 10 m  
im ZZ: 12 m

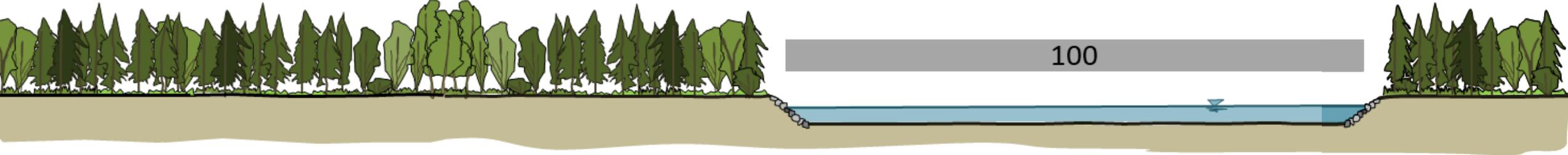
**5 km Aufweitungsgewässer**  
Breite bei MQ im HZ: 22 m

**Flachuferstrukturen** an den verbleibenden Uferverbauungen

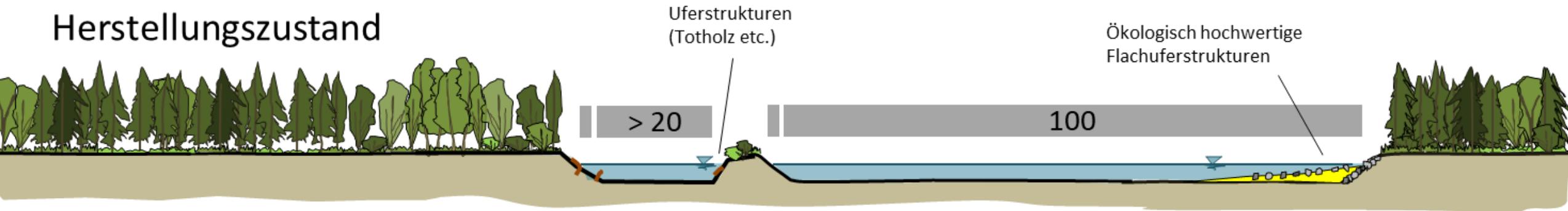
**Zielbreite Salzach 200 m**

**> 5 km Uferrückbau** im Oberwasser  
**> 5 km Uferrückbau** im Unterwasser

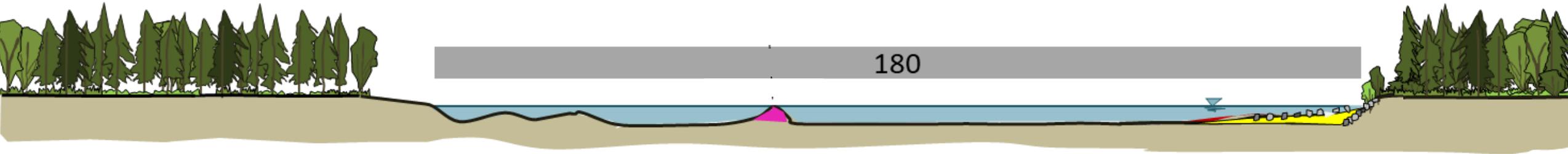
Istzustand



# Herstellungszustand



Zielzustand



- **Nebengewässer** („Aufweitungsgewässer“) innerhalb eines ‚Salzach-Korridors‘ (B ~ 160 m bis 200 m)
- Sehr hohe ökologische Wertigkeit bereits im Herstellungszustand
- **Erhebliche Beschleunigung der Zielerreichung (Planzustand)**
- **Wesentlicher Beitrag zur Sohlstabilisierung (raschere Zielerreichung!)**

Heute



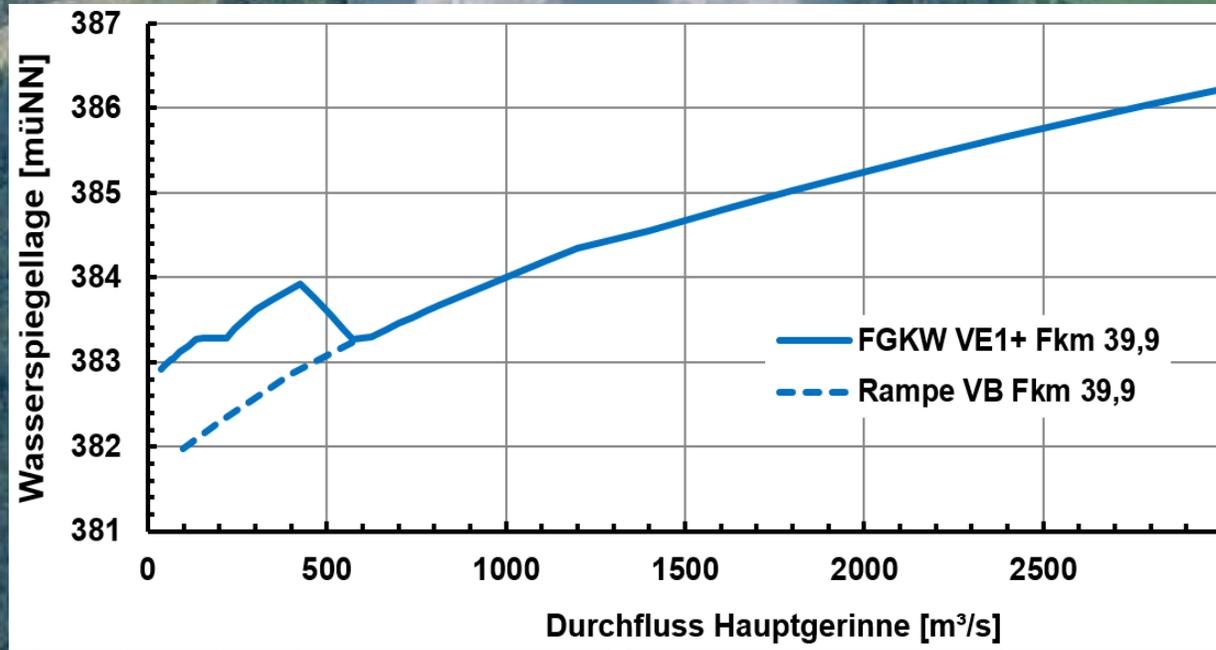


Aufweitungs-  
gewässer

Aufweitungs-  
gewässer

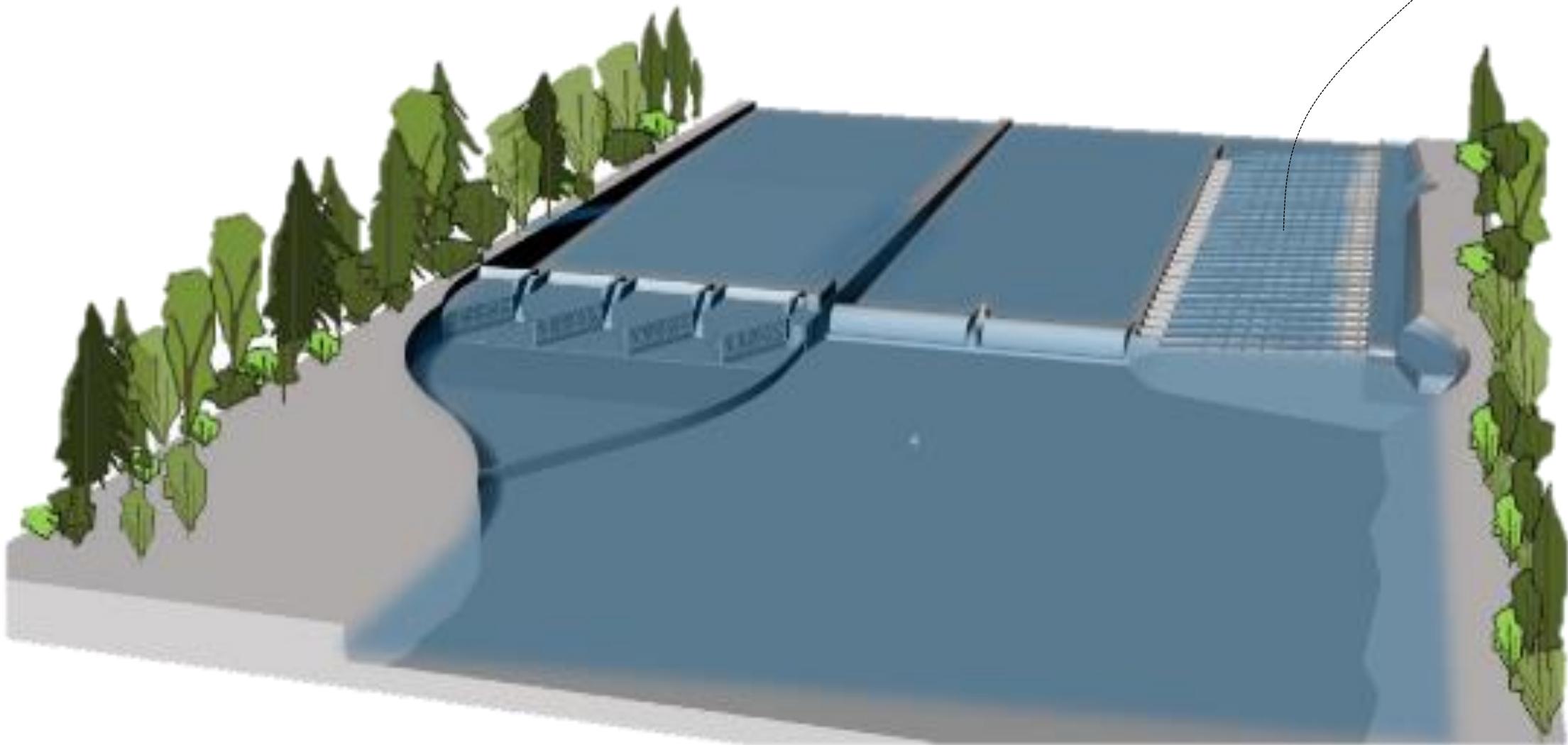
Zwischenzustand / Zielzustand





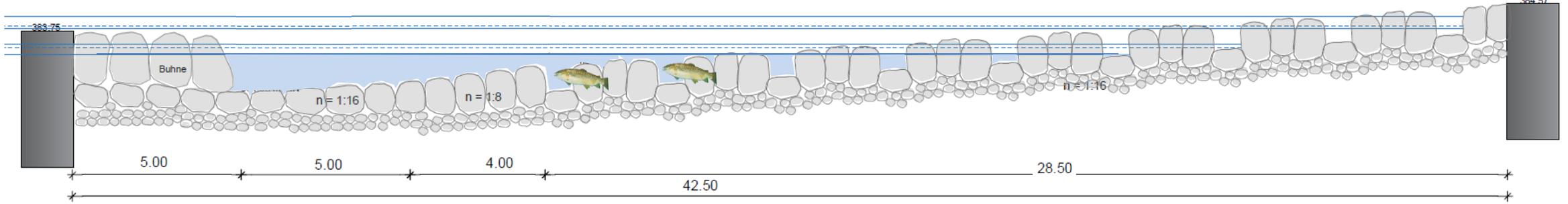
Das Fließgewässerkraftwerk

Asymmetrische aufgelöste Rampe



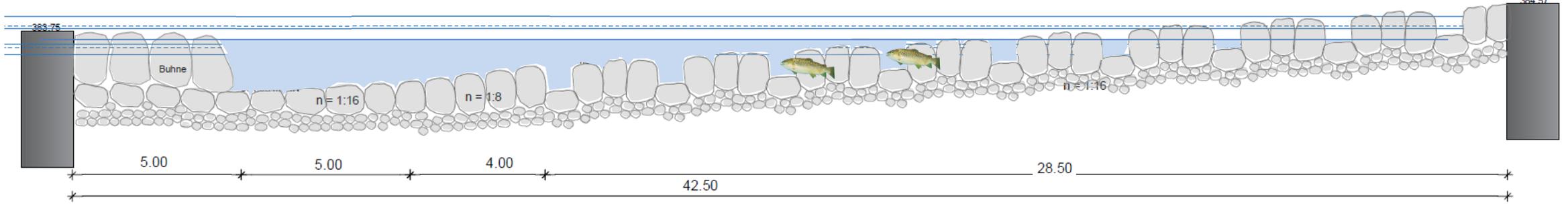
PFEILER  
RAMPE / WEHR

PFEILER  
BOOTSGASSE



PFEILER  
RAMPE / WEHR

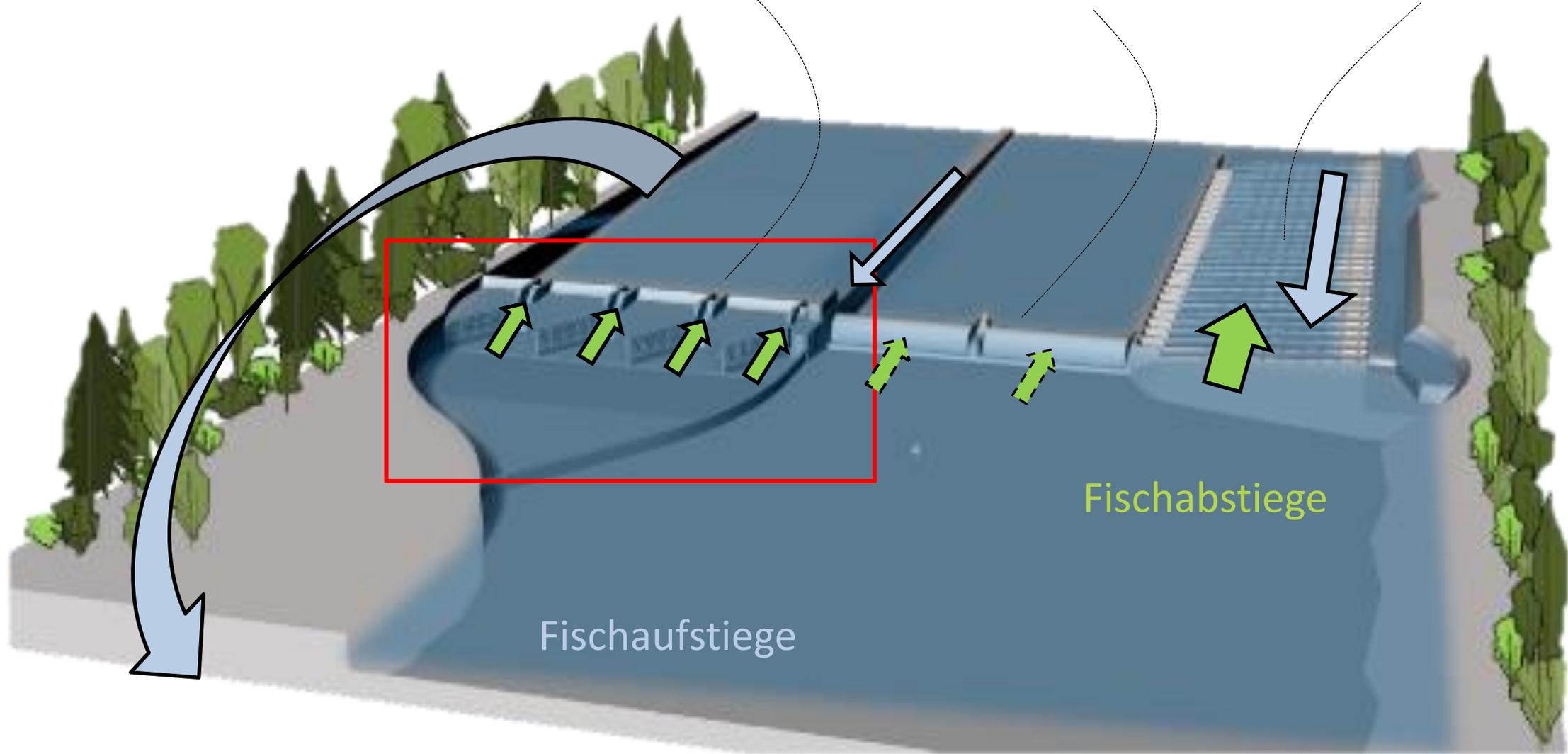
PFEILER  
BOOTSGASSE



Überströmte Erzeugungseinheit  
( $h \sim 3 - 3,5 \text{ m}$ ,  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , 4-5 MW, 30 - 35 GWh/a)

Universalöffnung  
(Schlauchwehre)

Asymmetrische  
aufgelöste Rampe

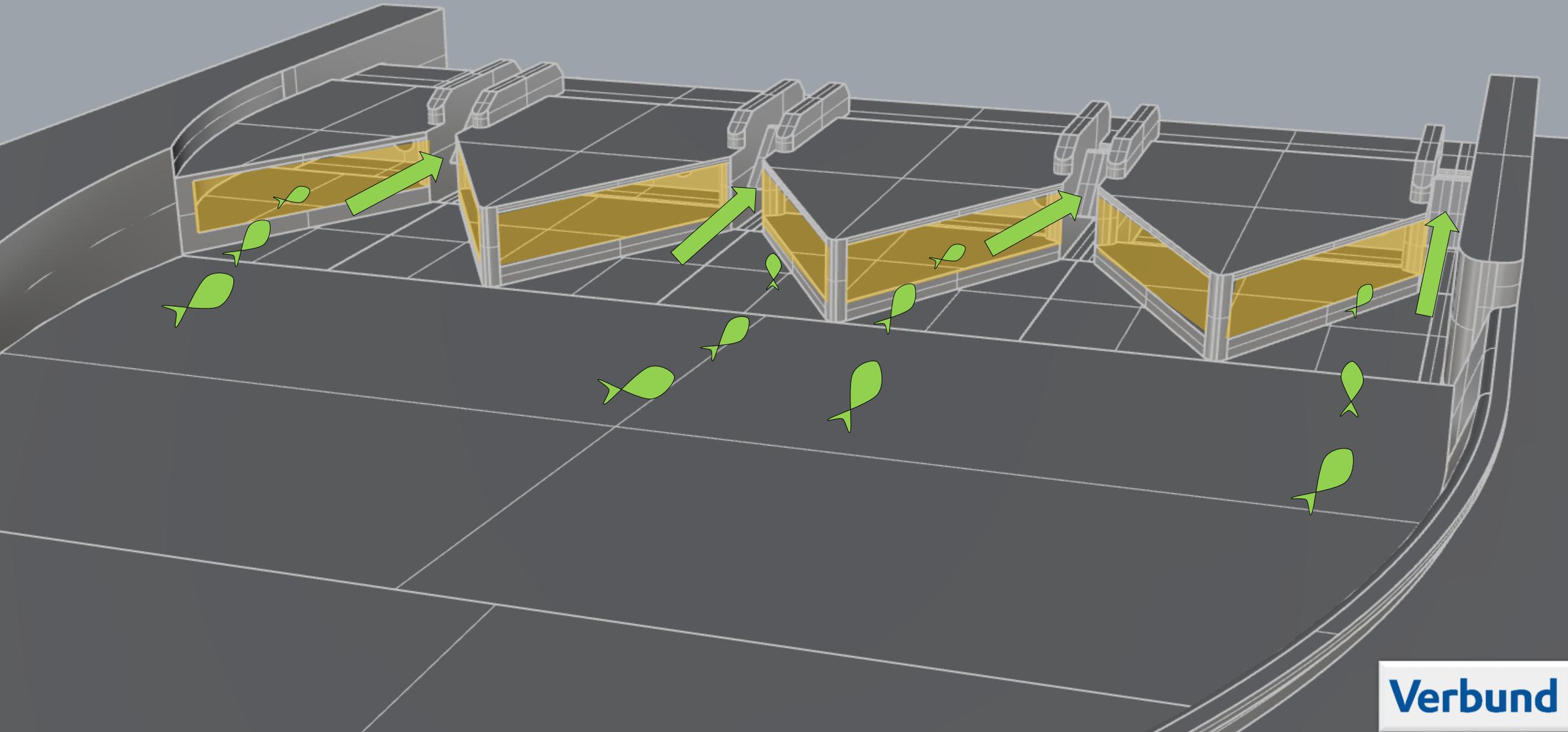


Fischaufstiege

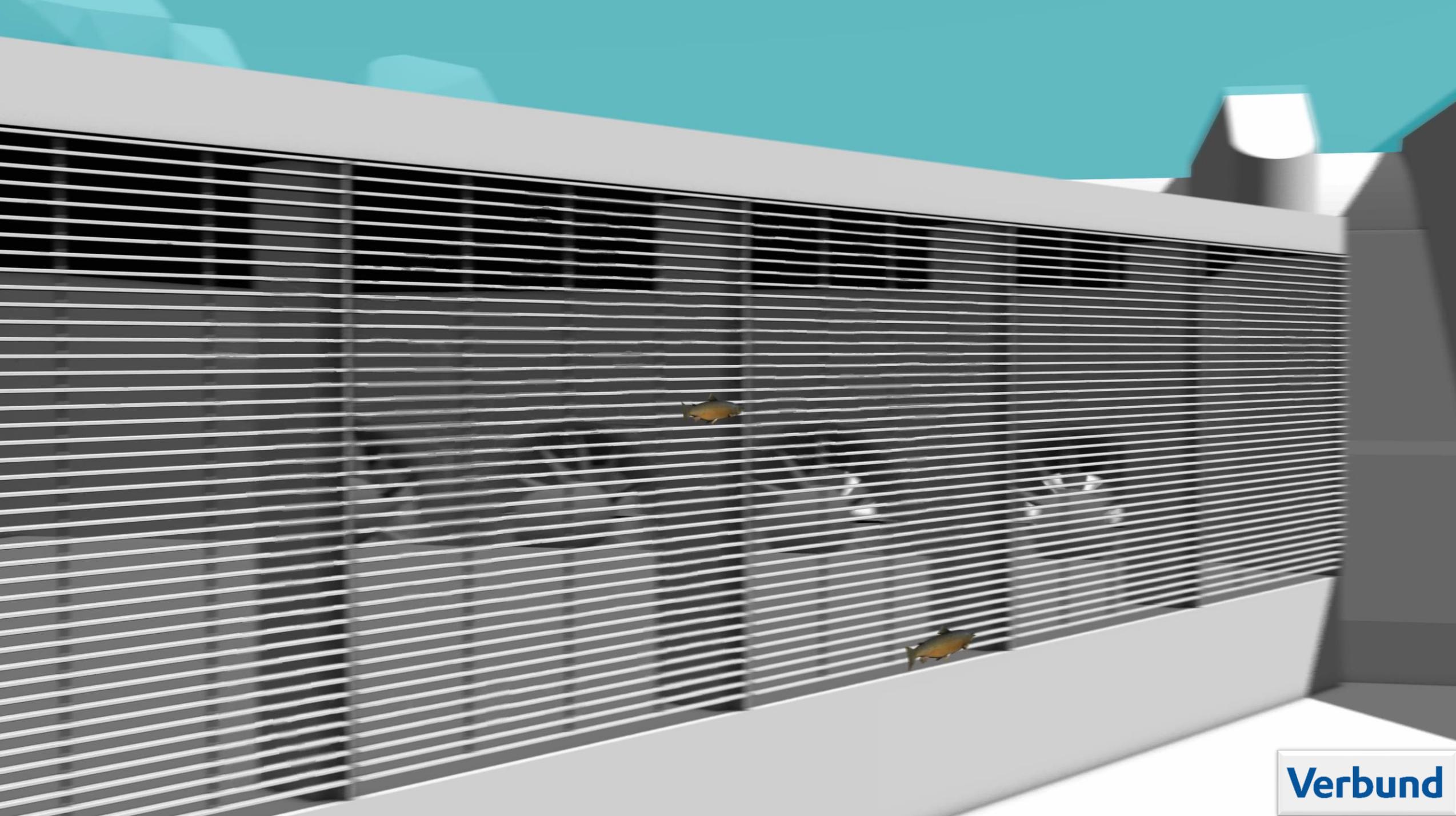
Fischabstiege

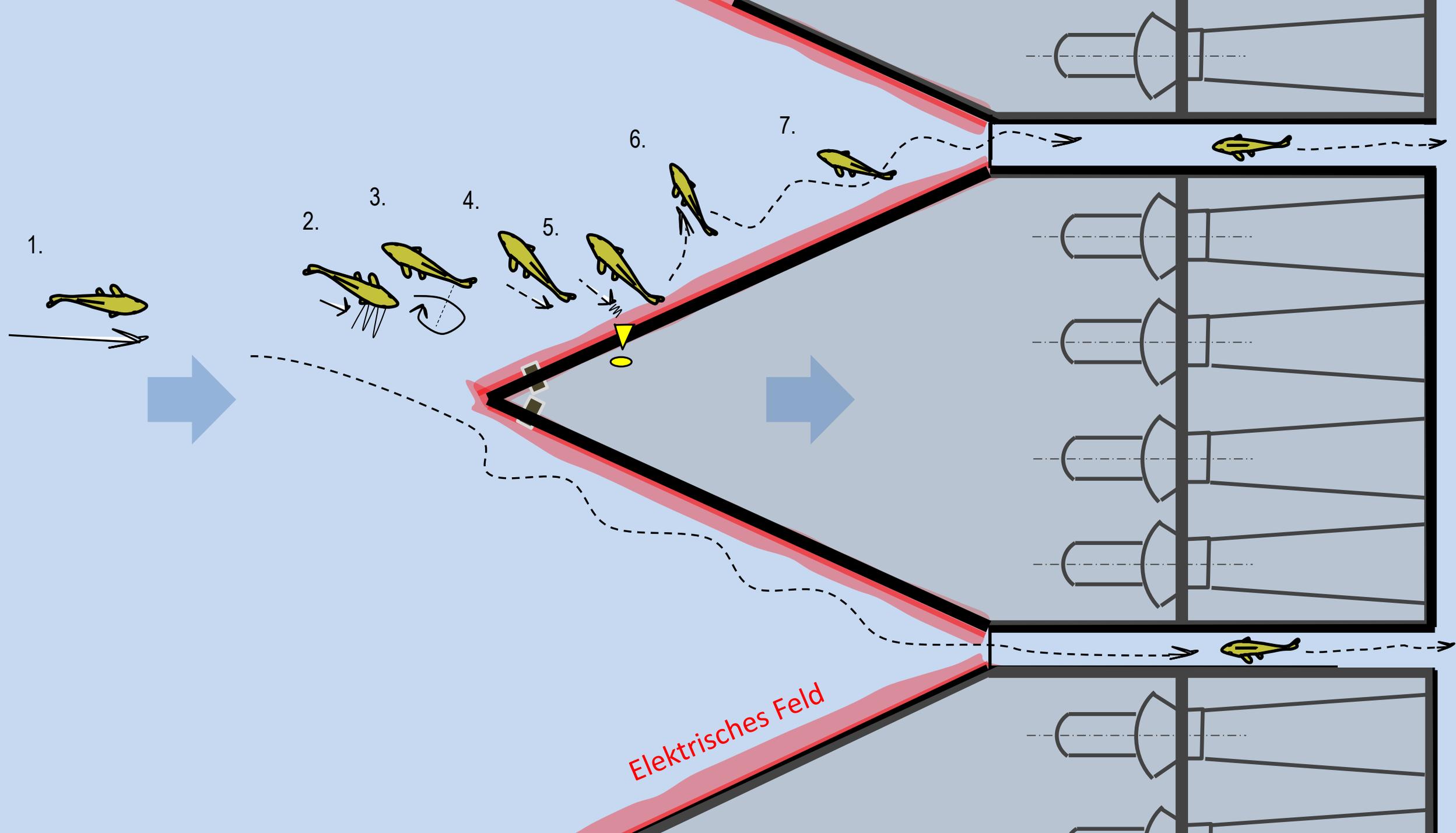
Bypass  
Fischabstieg

Bar Screen FishProtector  
Elektrifizierter Horizontaltrechen  
 $\Delta s \sim 50 \text{ mm}$









1.

2.

3.

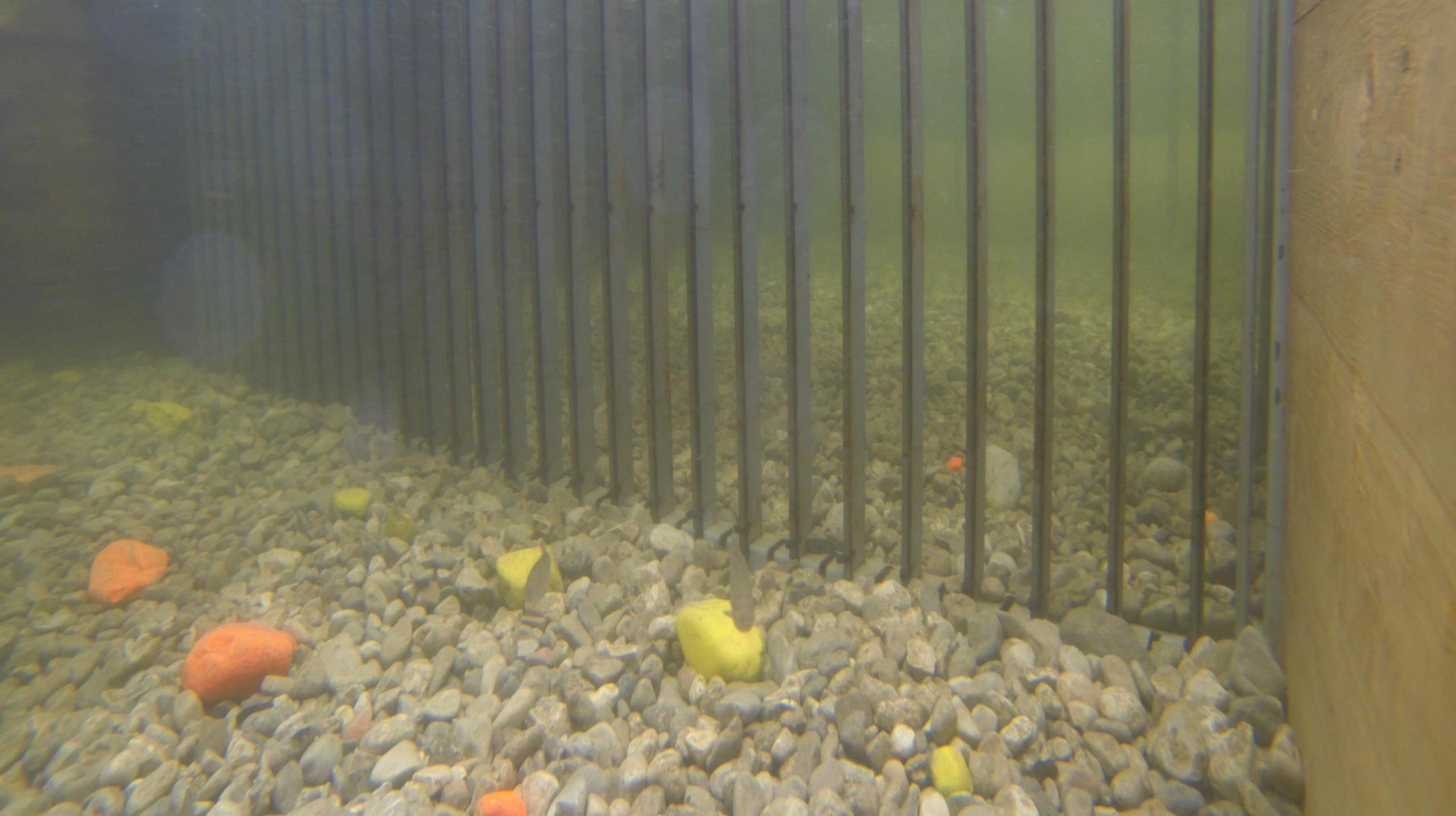
4.

5.

6.

7.

Elektrisches Feld



# Fishprotection

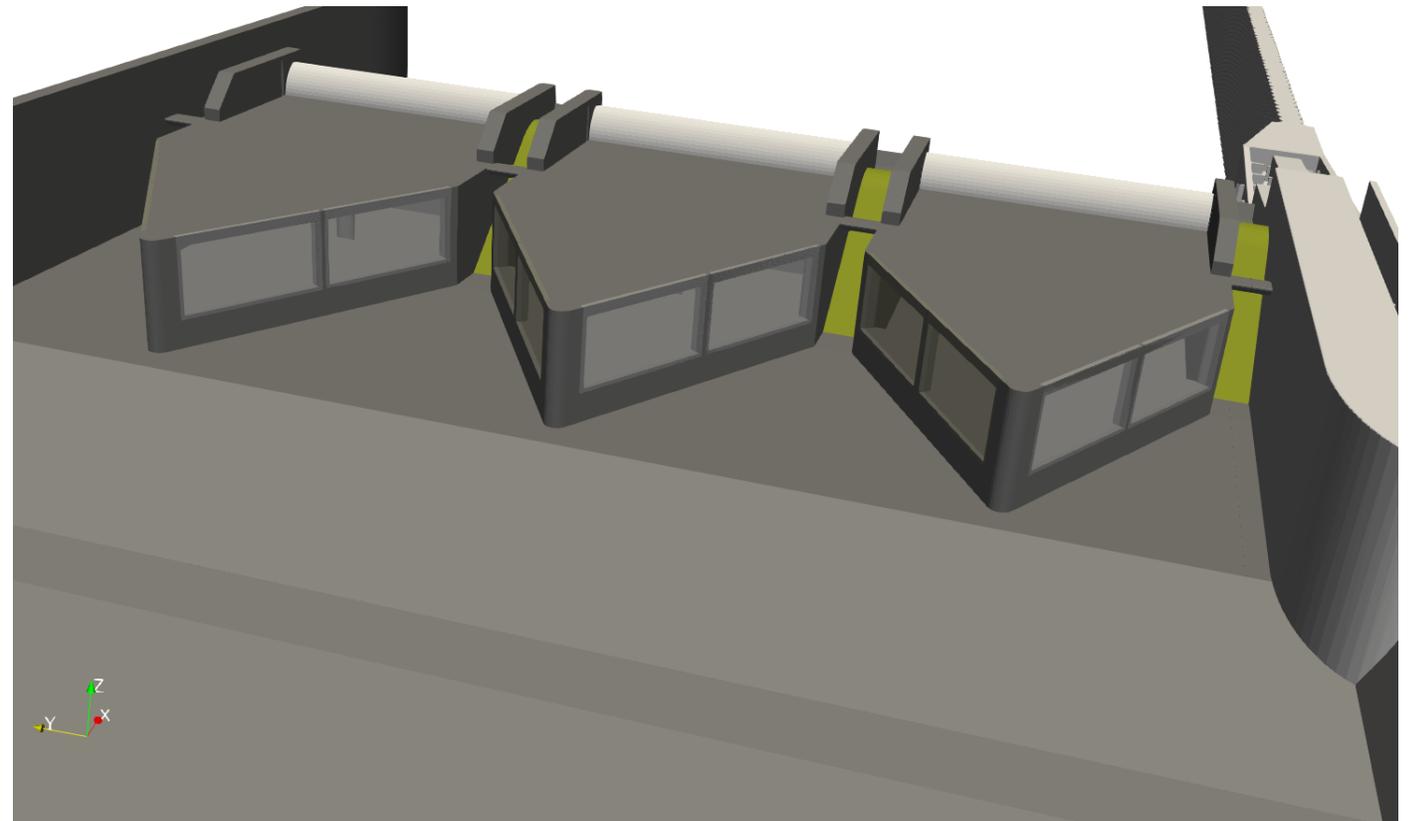
## Hydraulic boundary conditions

### Bar screens

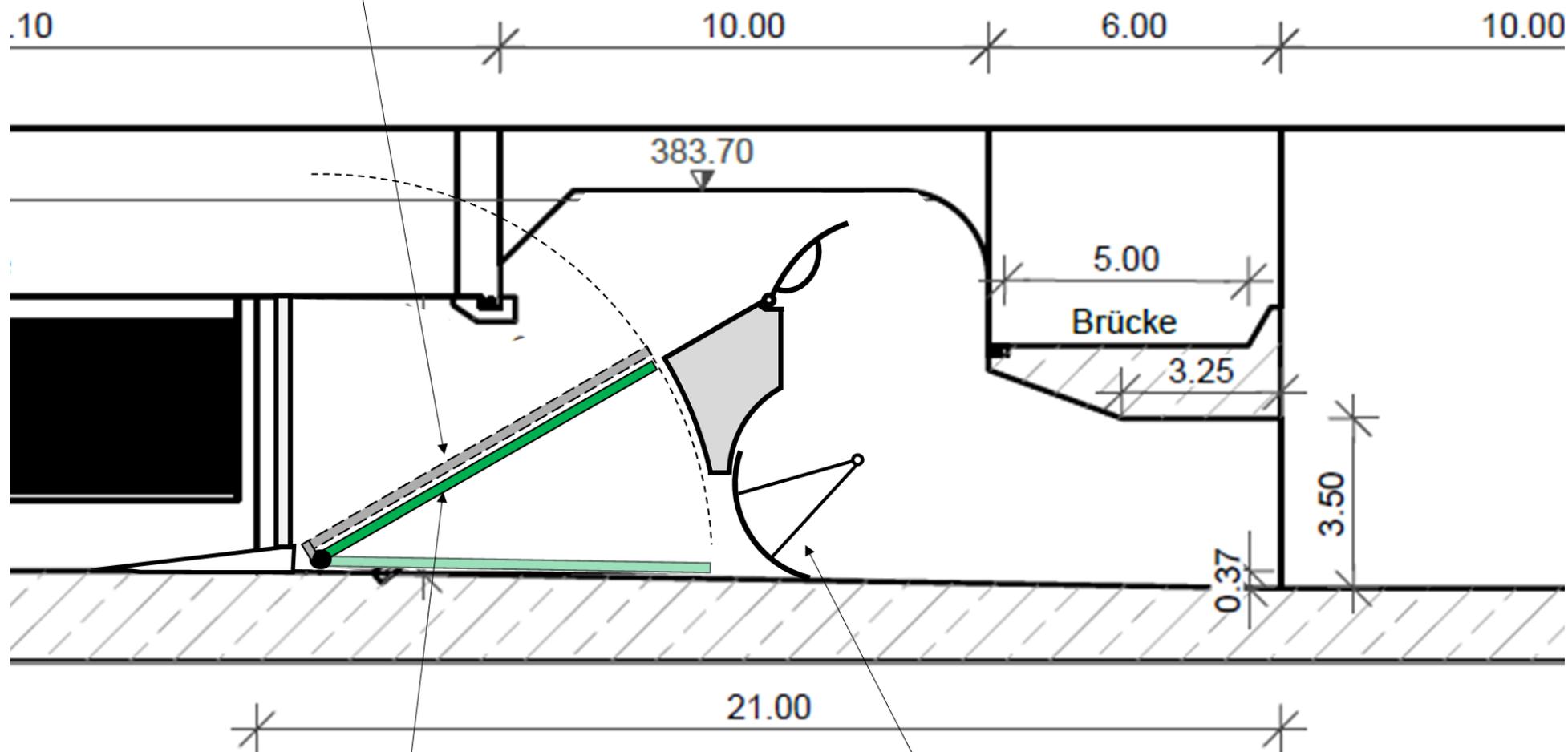
Number of BS	n	12
width	B	7,4 m
height	H	3,5 m
Area	A	25,9 m <sup>2</sup>

### Bypass

number of bypasses	n	4
width	B	2 m
minimum water depth	$h_{\min}$	0,7 m
discharge per bypass	Q	2,5 m <sup>3</sup> /s



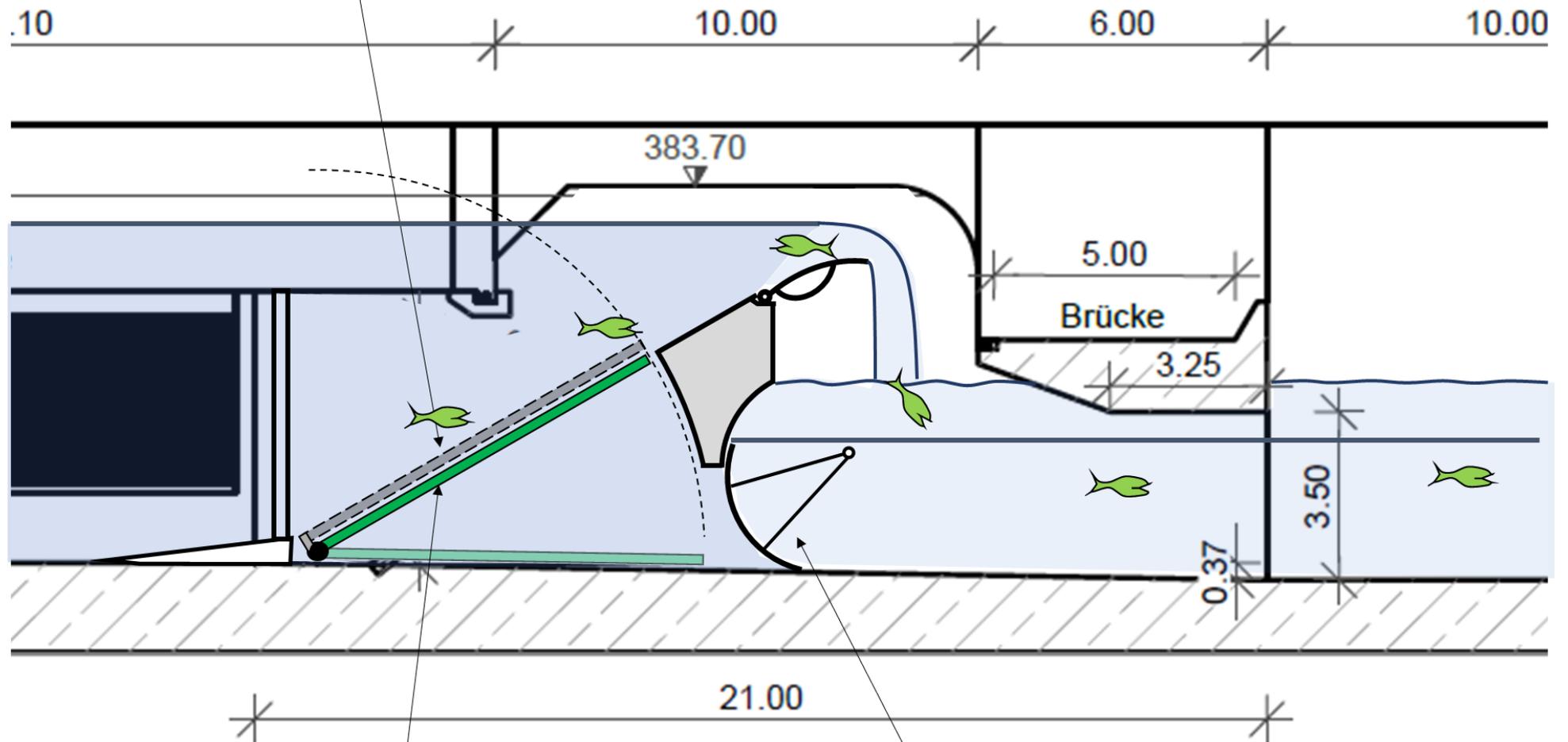
ggfs. Grobrechen, sehr große lichte Weiten, beweglich zur Verhinderung tiefer Verkläusungen im Bypass



**Migrationsplatte,**  
kein Verschluss (!), Druckausgleich, mit Antrieb (unten, ggfs. in Nische)  
(Fischaufstieg, Erhöhung der Fließgeschwindigkeit)

**Drucksegment,**  
oder anderer konventioneller Verschluss mit hoher Betriebssicherheit

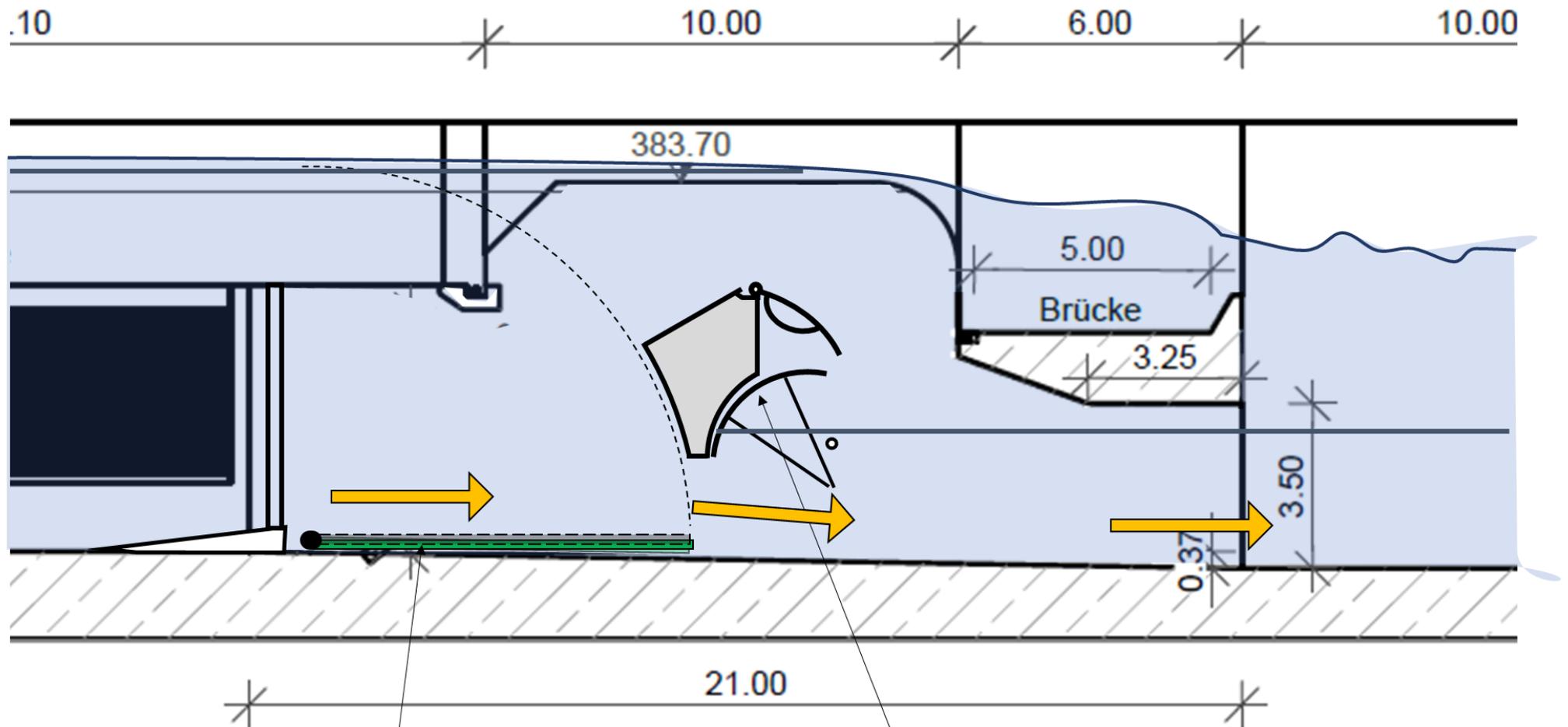
ggfs. Grobrechen, sehr große lichte Weiten, beweglich zur Verhinderung tiefer Verkläusungen im Bypass



**Migrationsplatte,**  
kein Verschluss (!), Druckausgleich, mit Antrieb (unten, ggfs. in Nische)  
(Fischaufstieg, Erhöhung der Fließgeschwindigkeit)

**Drucksegment,**  
oder anderer konventioneller Verschluss mit hoher Betriebssicherheit

ggfs. **Grobrechen**, sehr große lichte Weiten, beweglich zur Verhinderung tiefer Verklausungen im Bypass

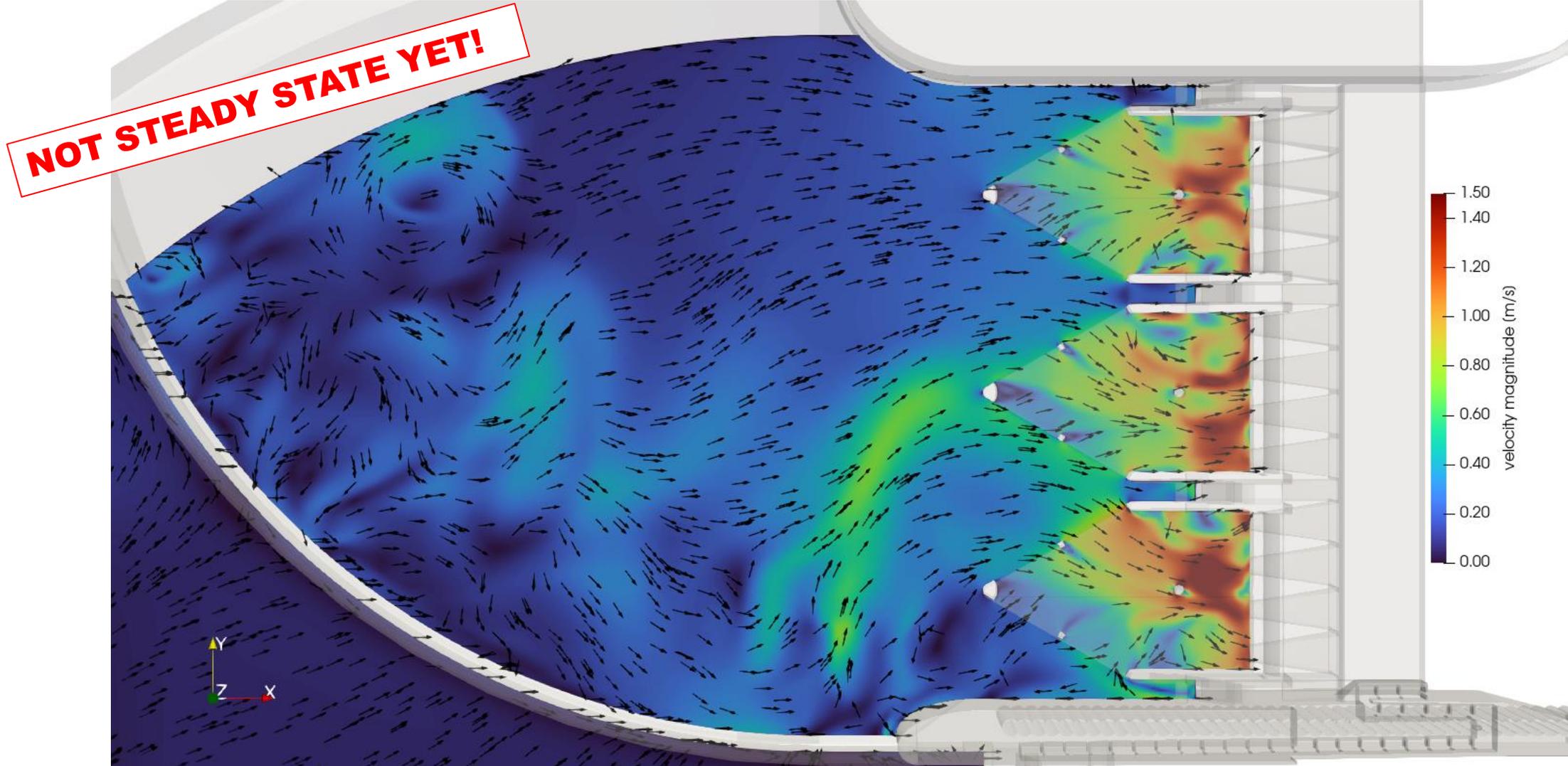


**Migrationsplatte,**  
kein Verschluss (!), Druckausgleich, mit Antrieb (unten, ggfs. in Nische)  
(Fischaufstieg, Erhöhung der Fließgeschwindigkeit)

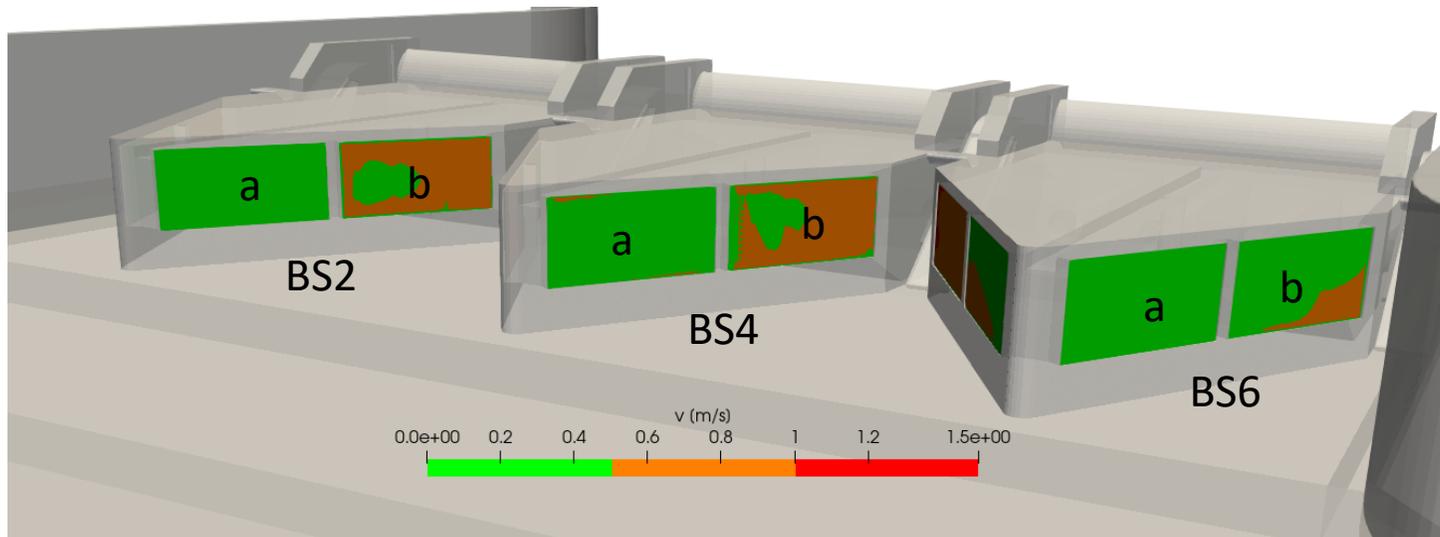
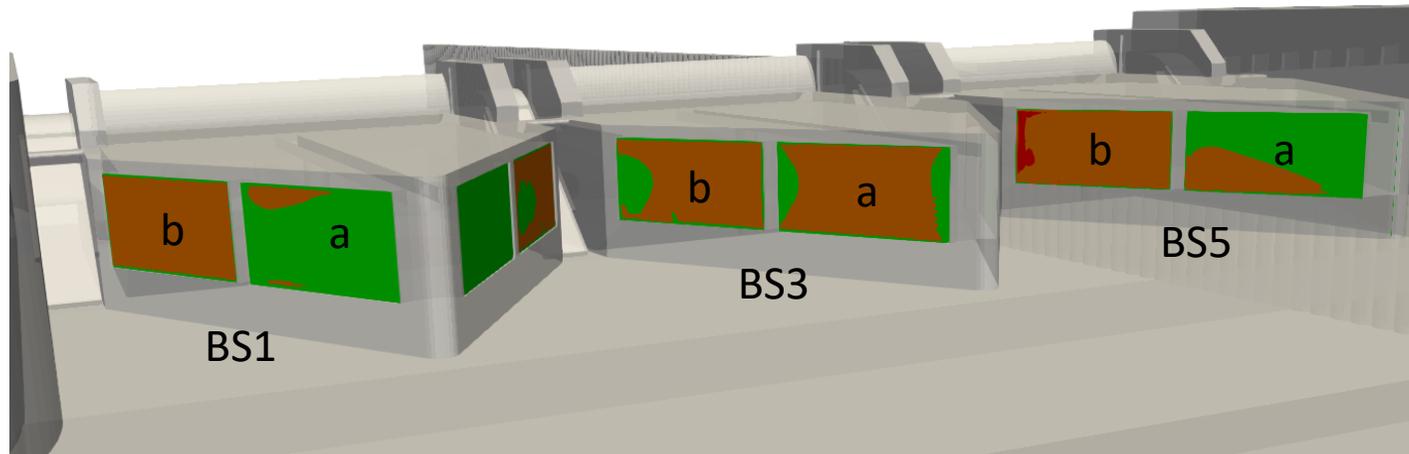
**Drucksegment,**  
oder anderer konventioneller Verschluss mit hoher Betriebssicherheit

# Fließgewässerkraftwerk

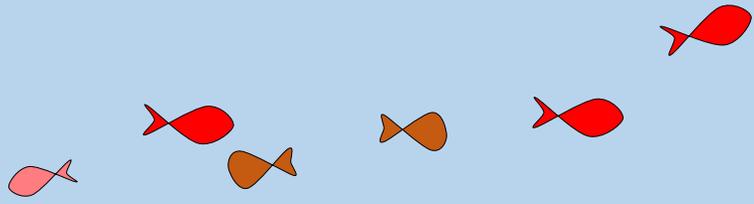
Optimierung Fischschutz



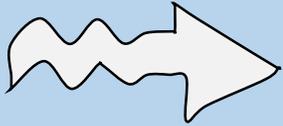
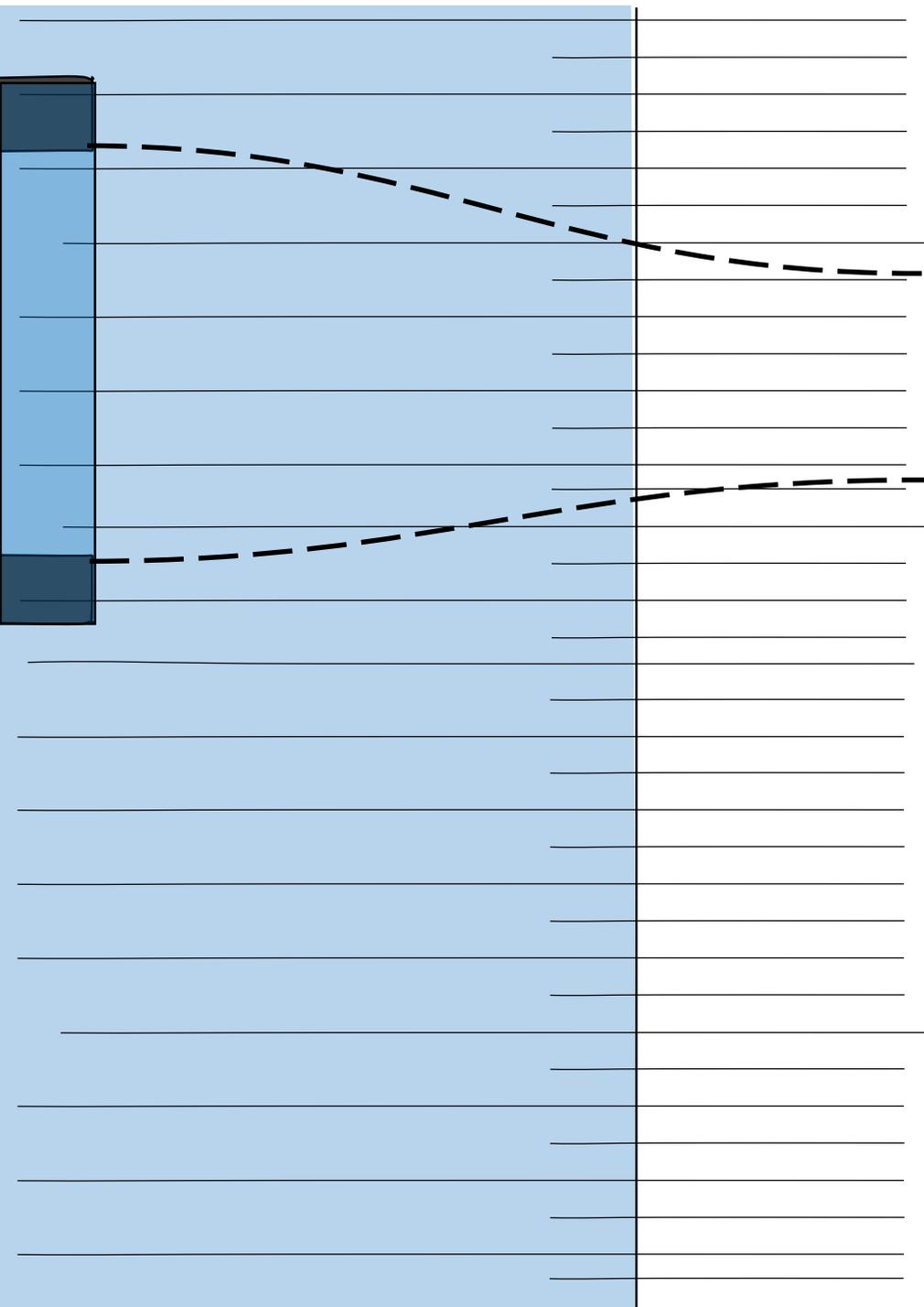
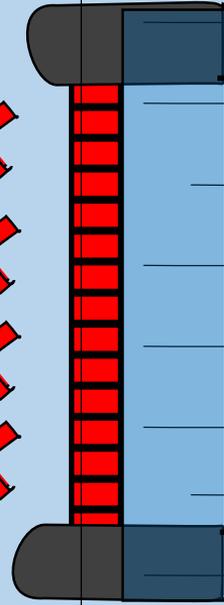
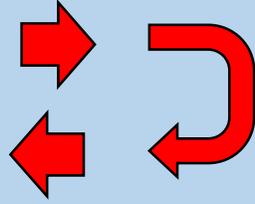
# Anströmung der Rechenfelder



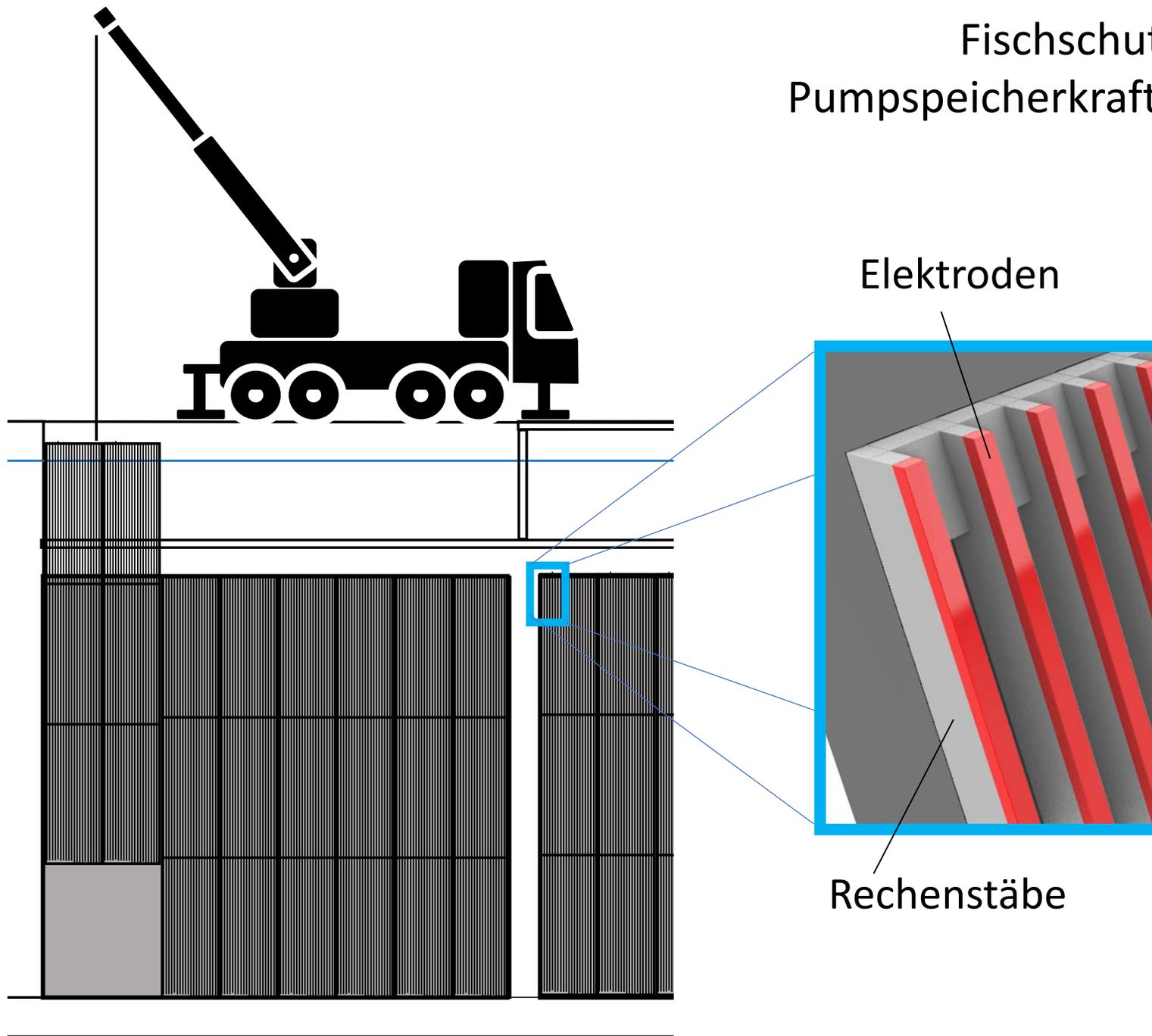
Var 0		Q [m <sup>3</sup> /s]		Turbine-Unit
1	a	10.7	26.4	I
	b	15.7		
2	a	8.3	22.3	
	b	14.0		
3	a	13.5	28.3	II
	b	14.8		
4	a	10.4	24.1	
	b	13.7		
5	a	11.2	32.5	III
	b	21.3		
6	a	6.5	16.1	
	b	9.6		



Fischschutz

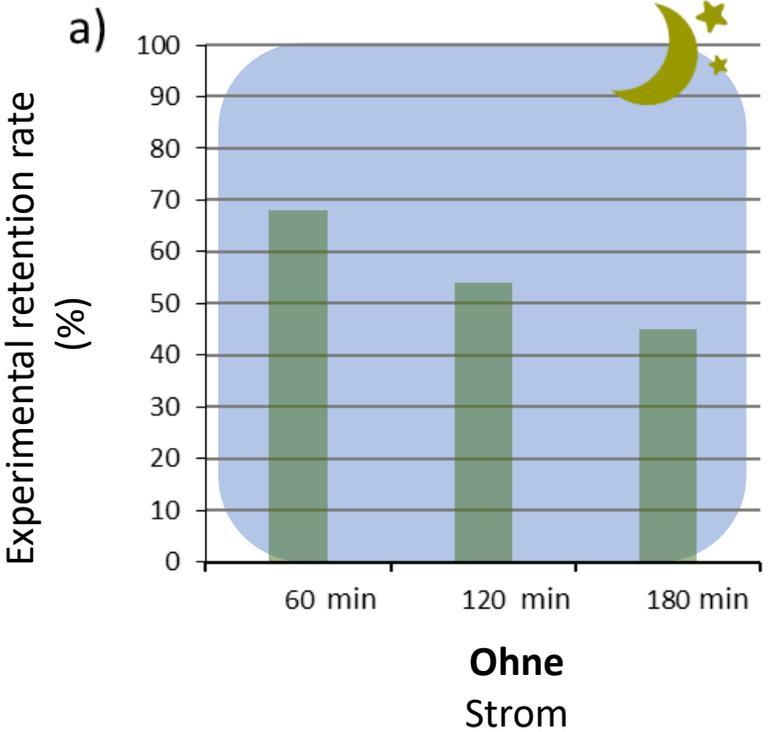


# Fischschutz an einem neuen Pumpspeicherkraftwerk (300 MW) in Deutschland

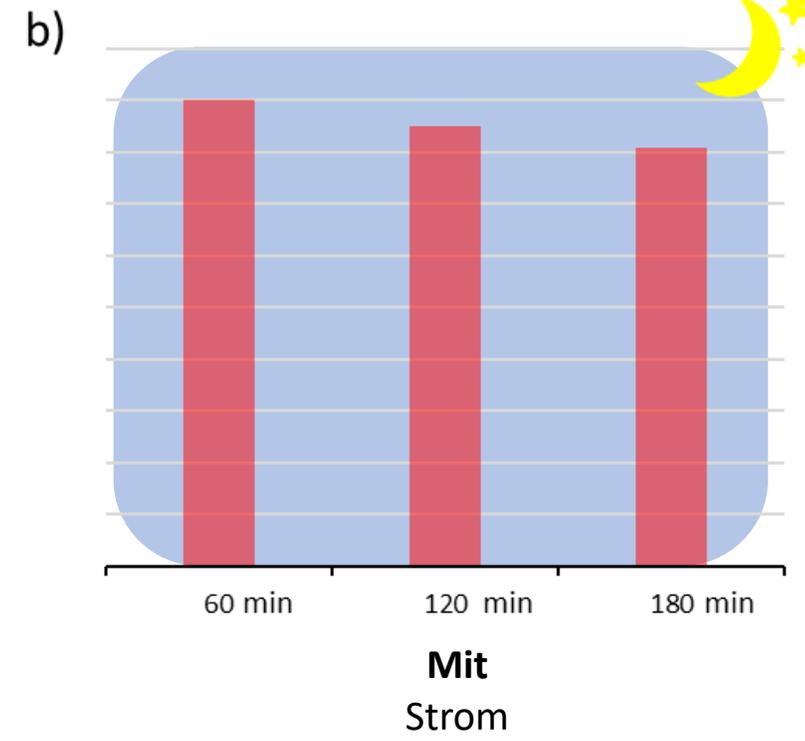
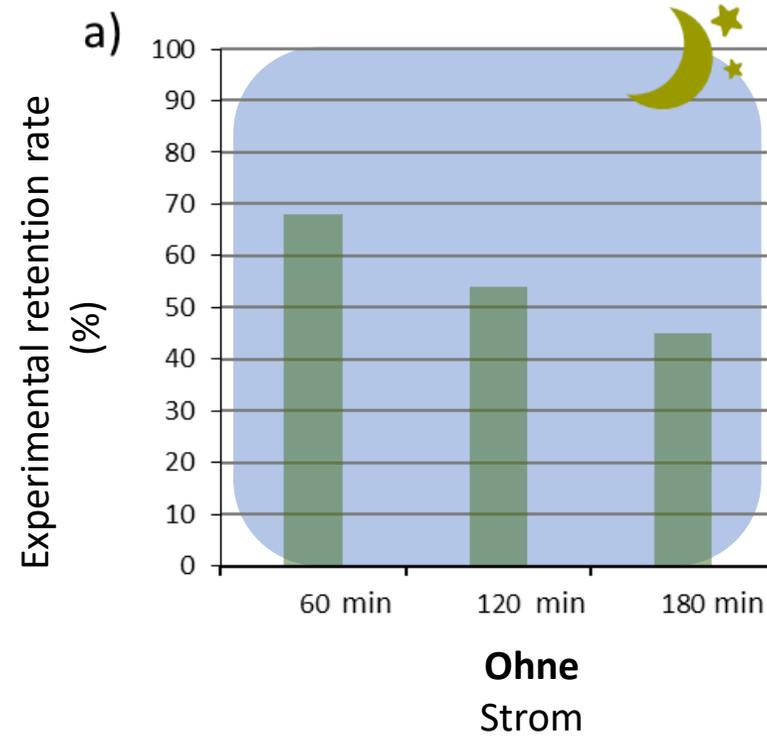




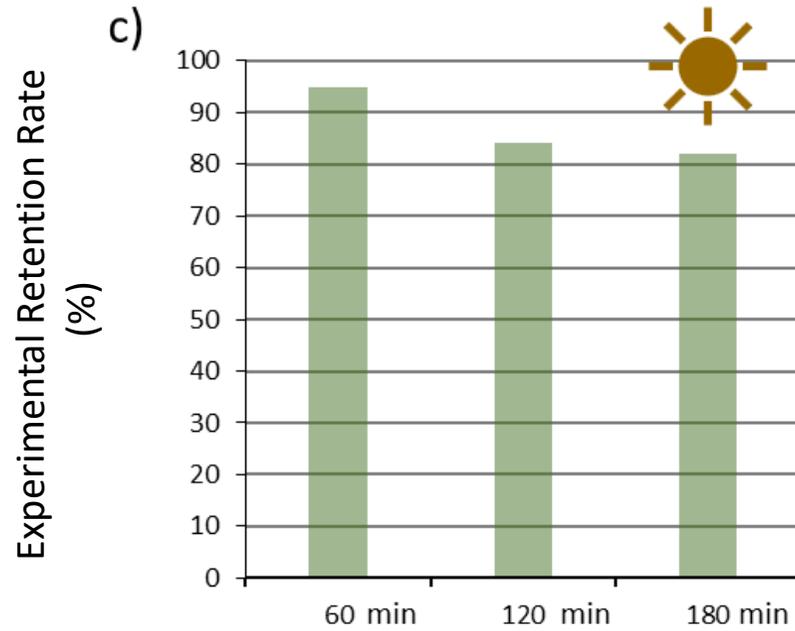
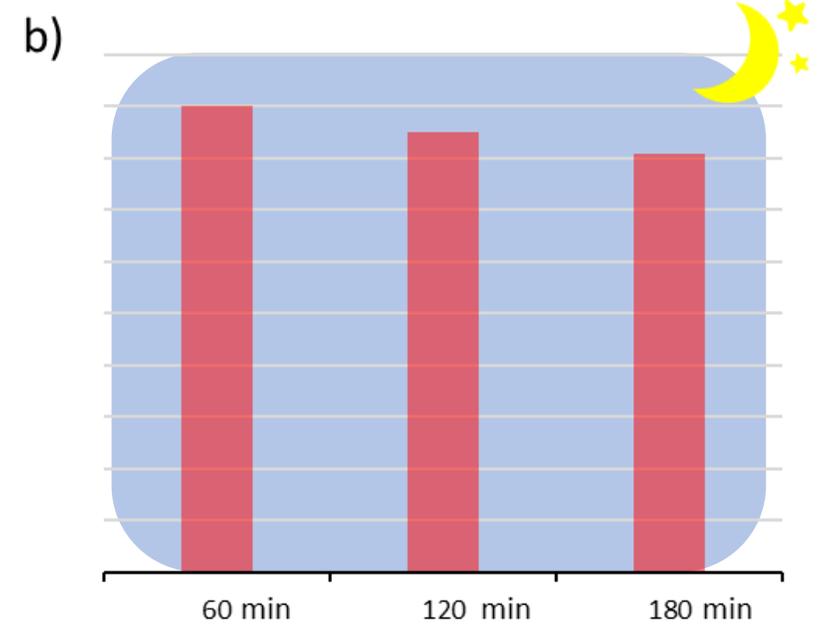
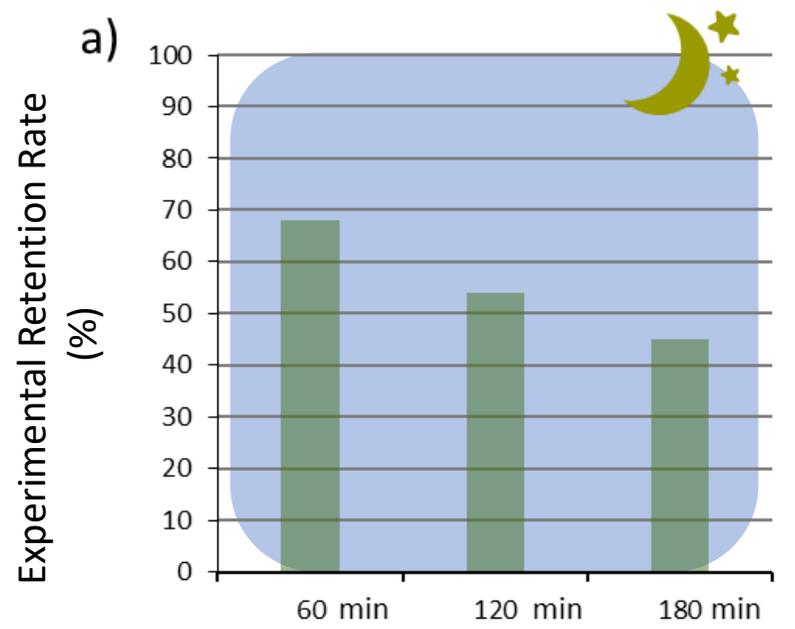
Ergebnisse eines  
Großversuchs  
(Au an der Donau)



Ergebnisse eines  
Großversuchs  
(Au an der Donau)



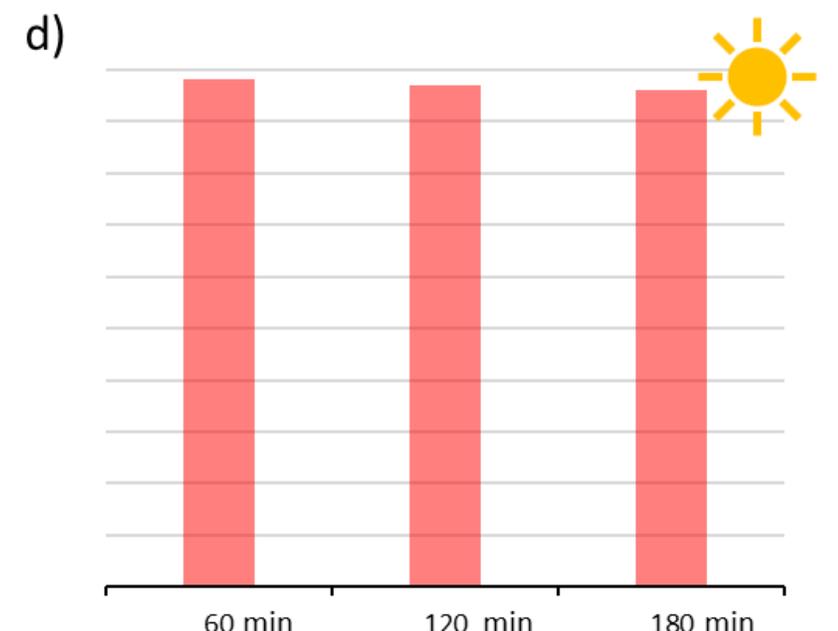
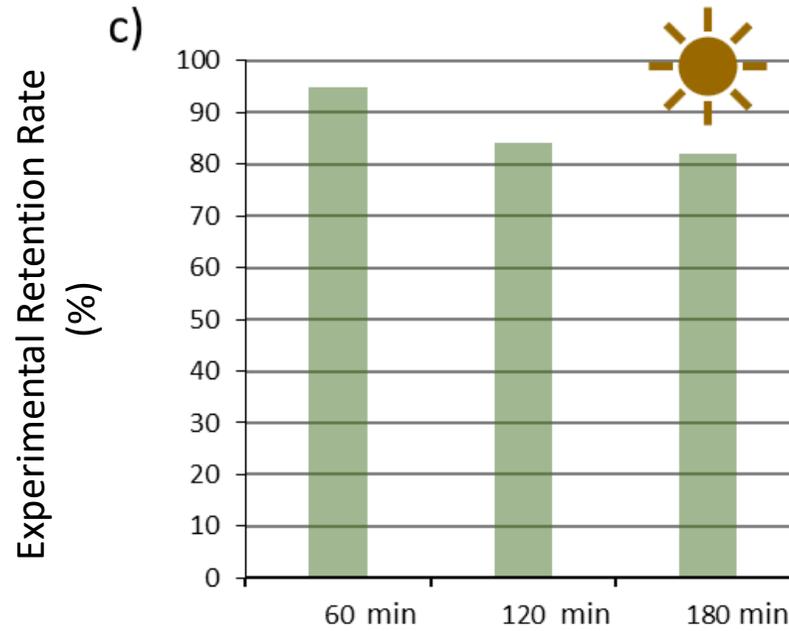
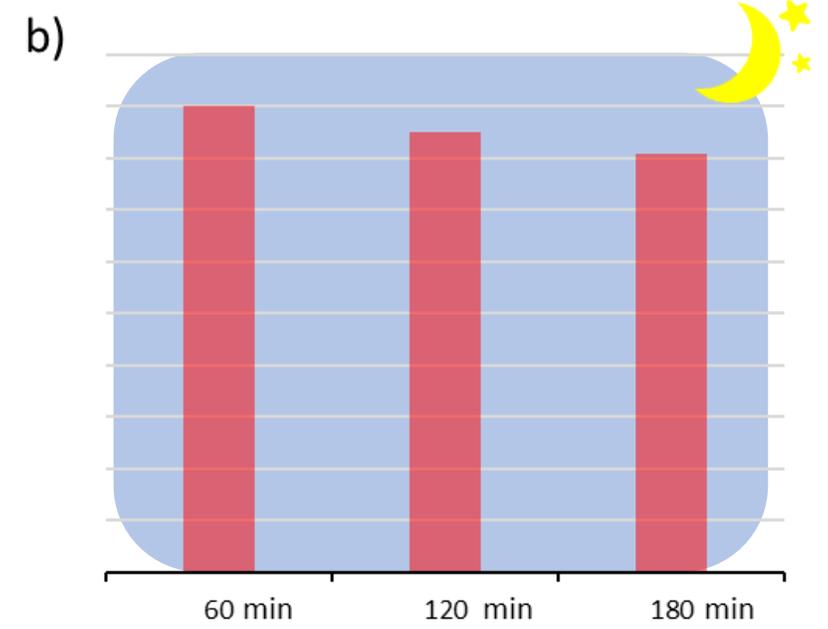
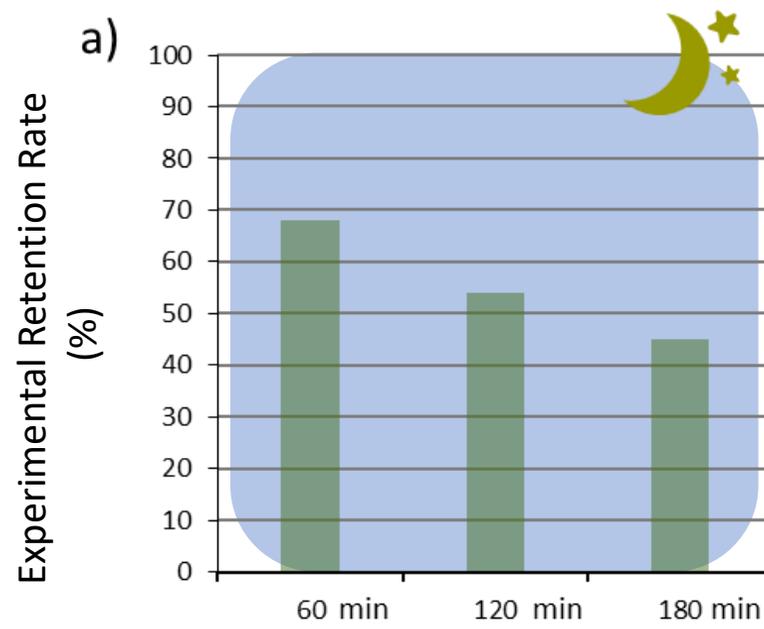
Ergebnisse eines  
Großversuchs  
(Au an der Donau)



**Ohne  
Strom**

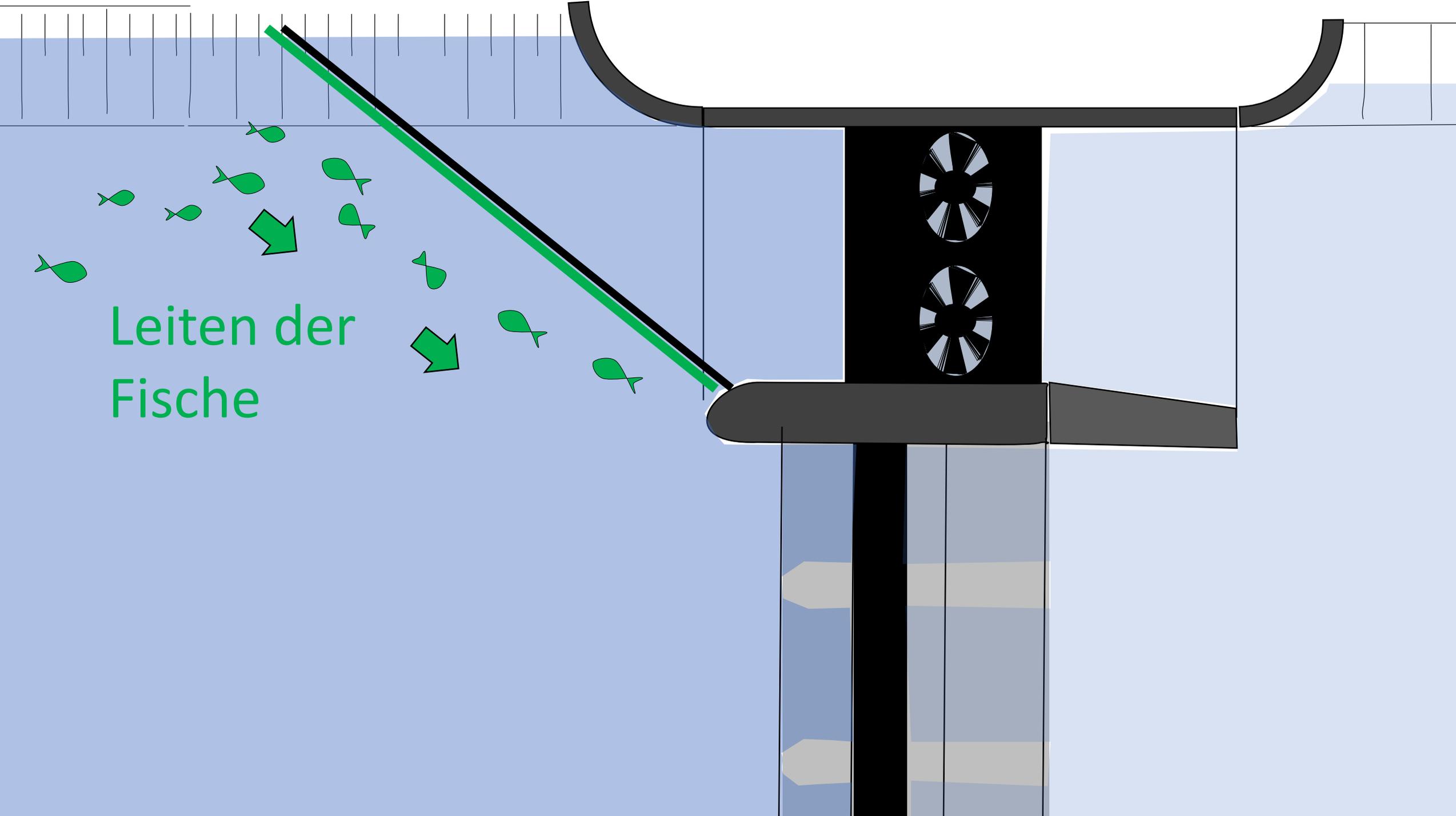
**Mit  
Strom**

Ergebnisse eines  
Großversuchs  
(Au an der Donau)

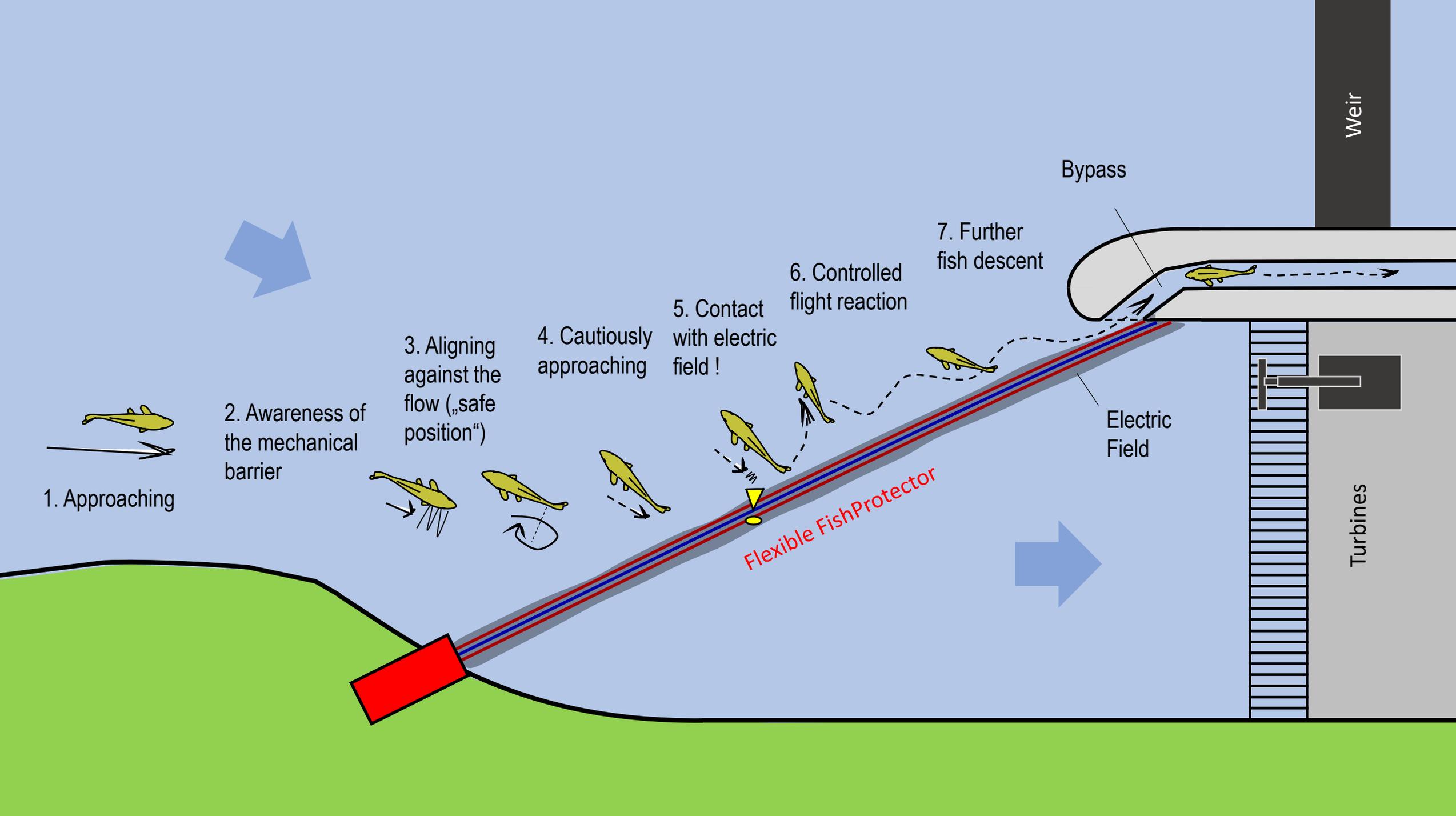


**Ohne  
Strom**

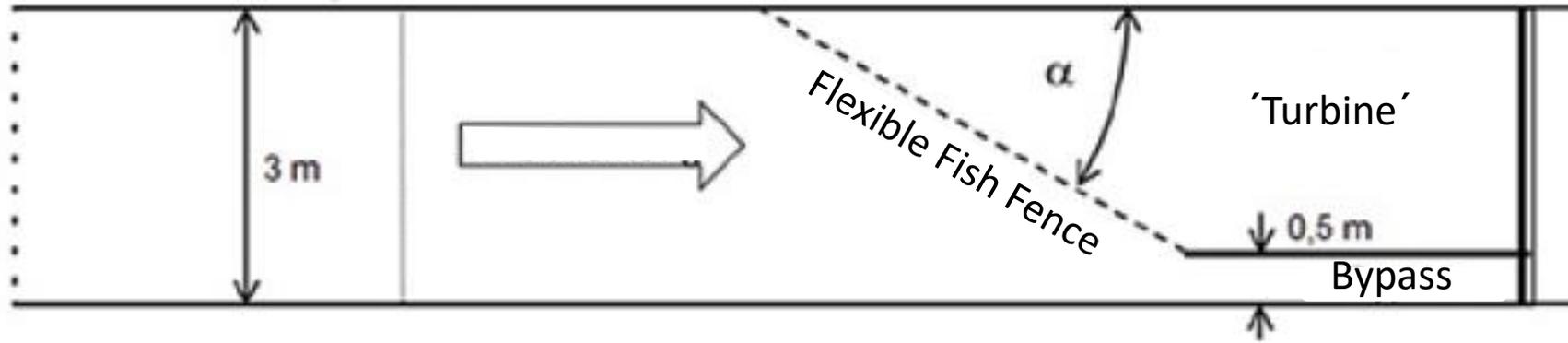
**Mit  
Strom**



Leiten der  
Fische



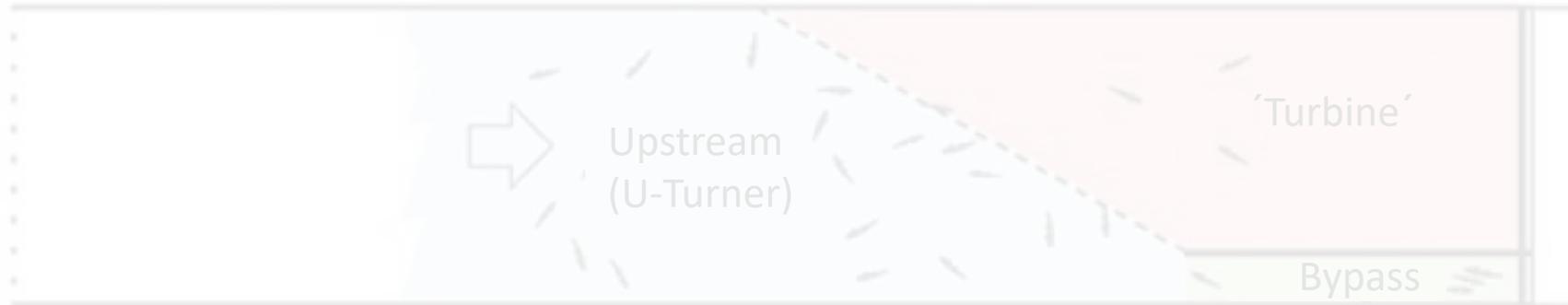
### Plan View (Sketch)



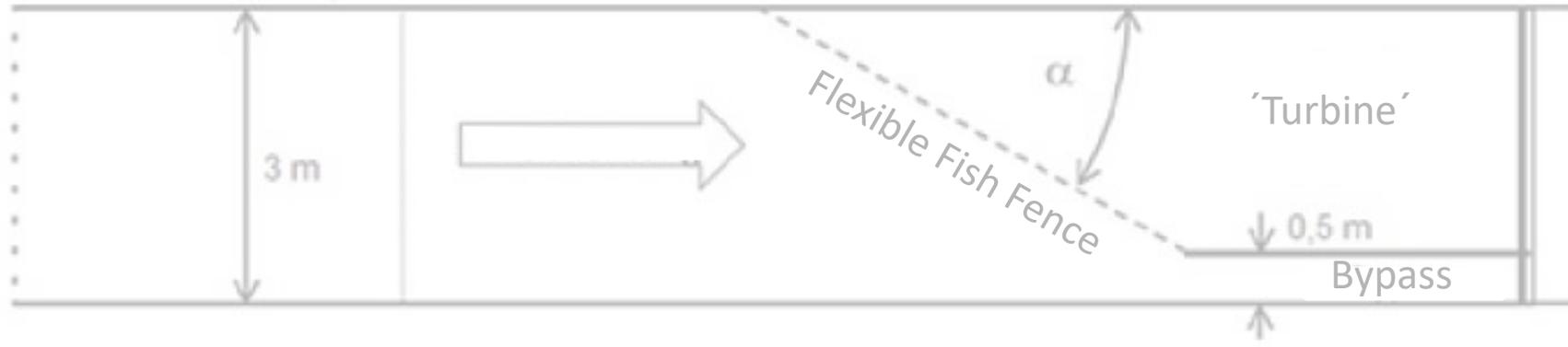
### Preparation Phase



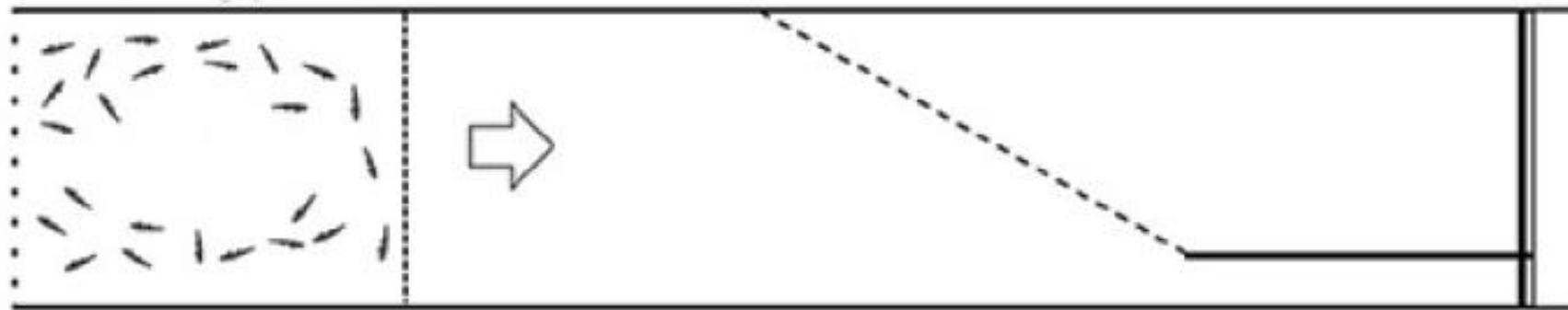
### Experiment (60 minutes)



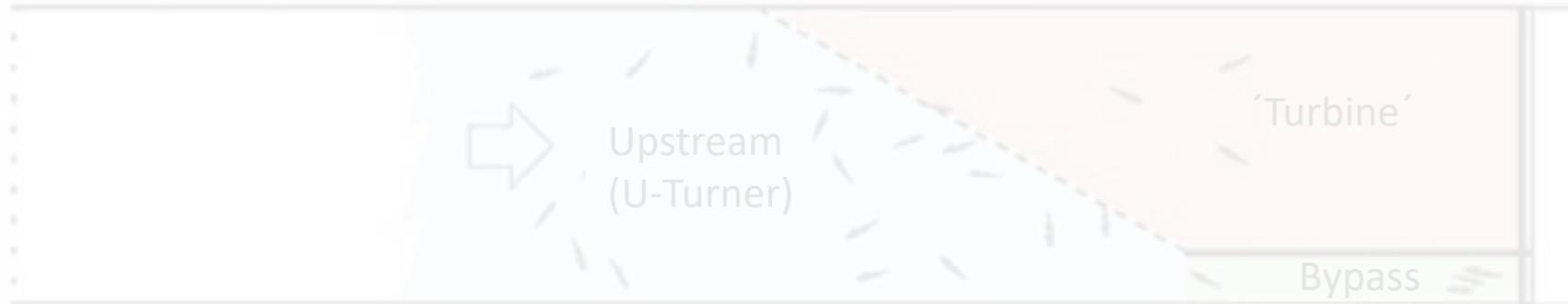
### Plan View (Sketch)



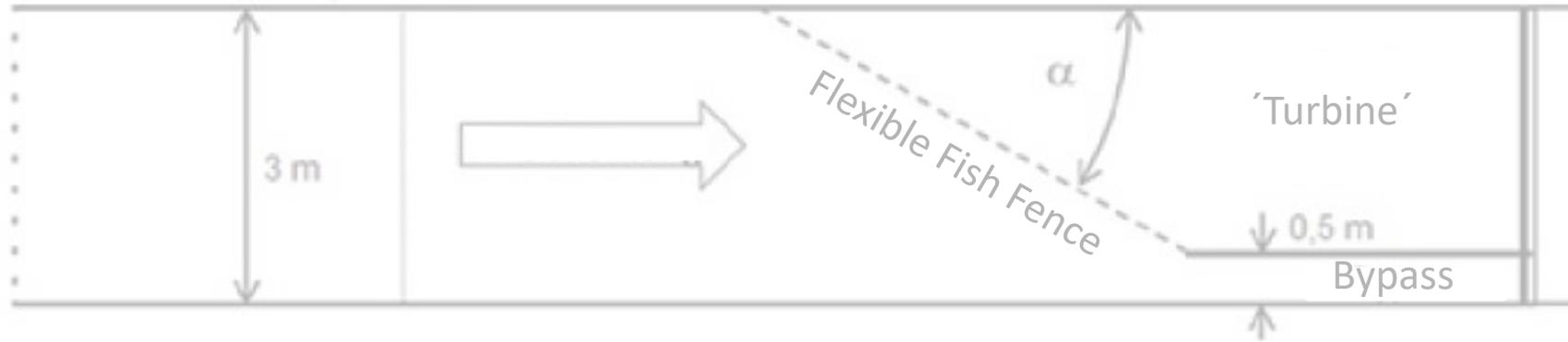
### Preparation Phase



### Experiment (60 minutes)



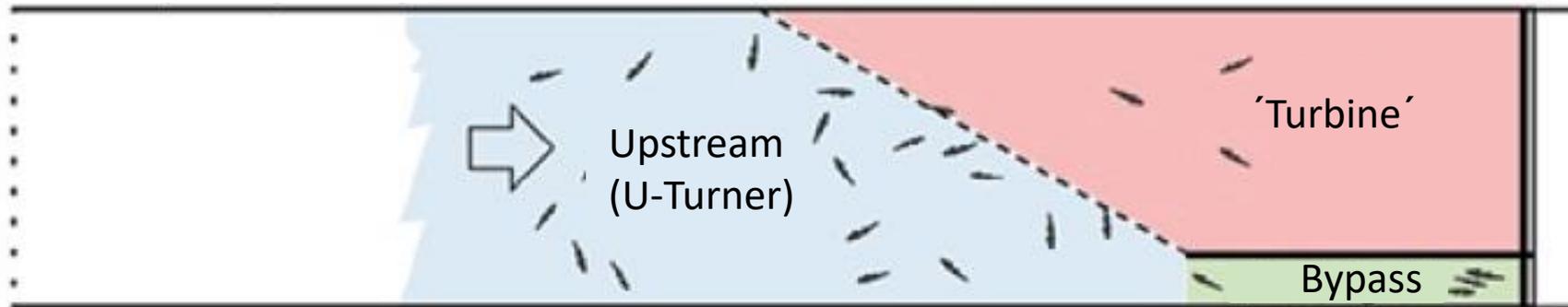
Plan View (Sketch)



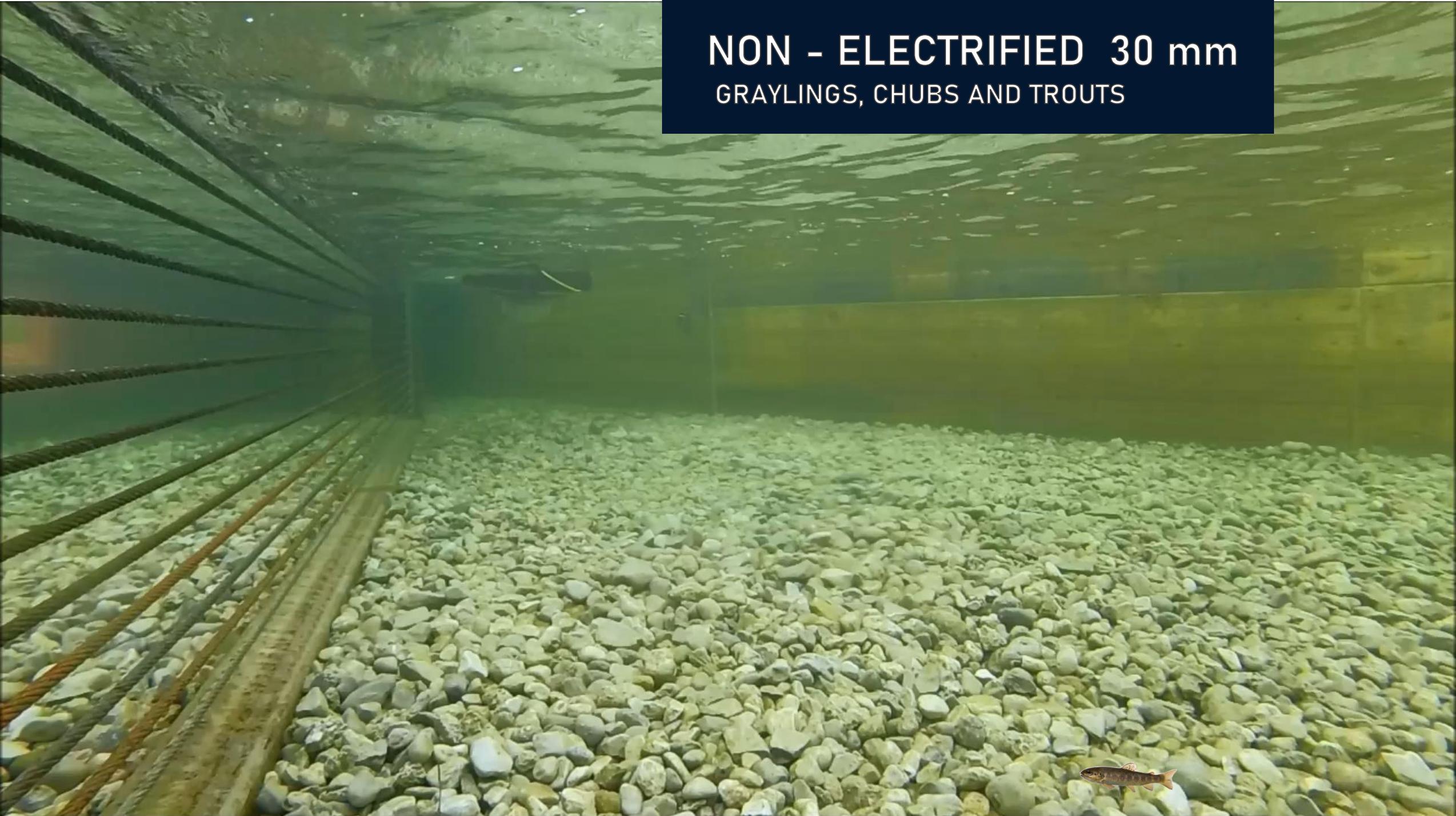
Preparation Phase



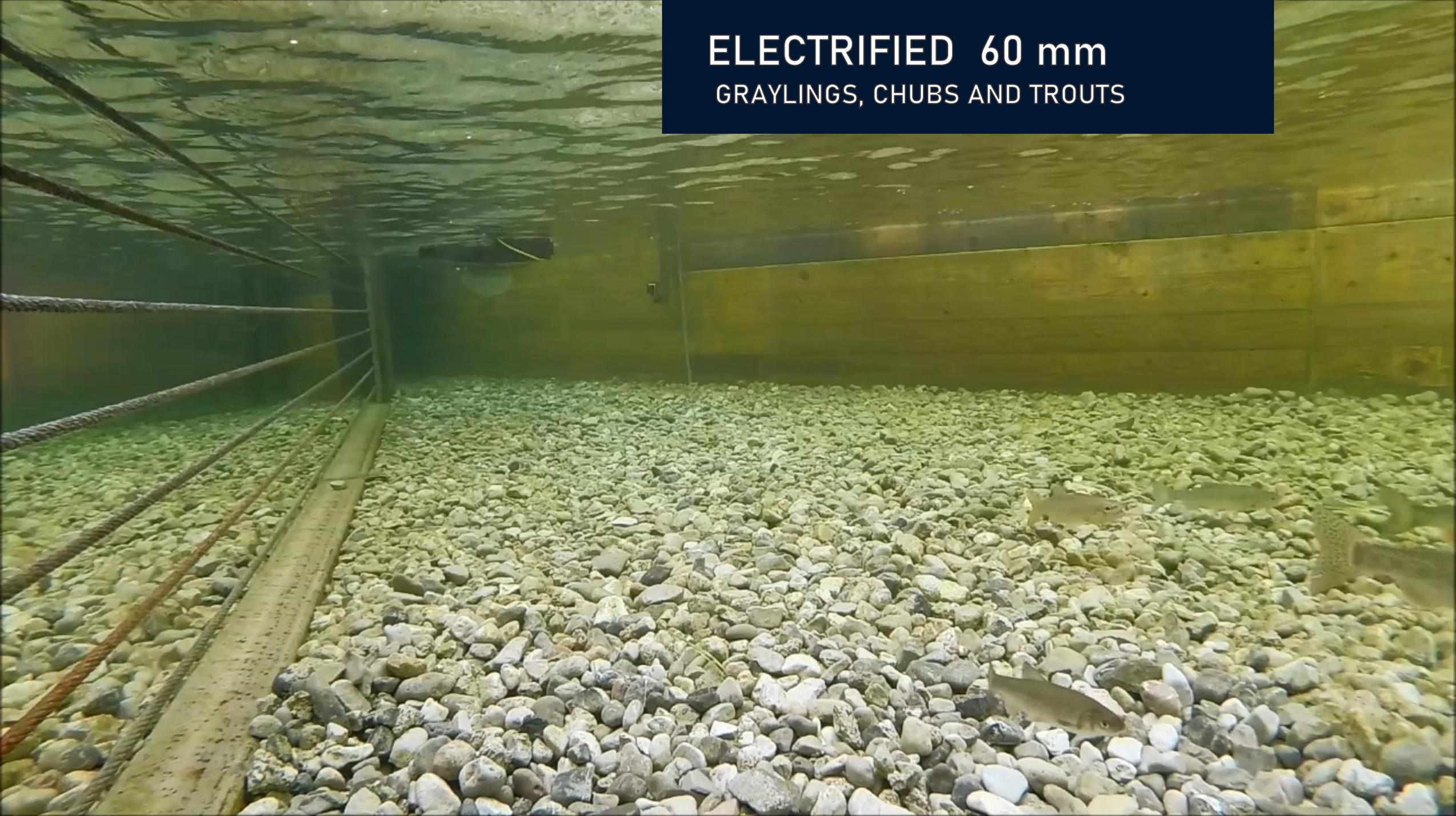
Experiment (60 minutes)

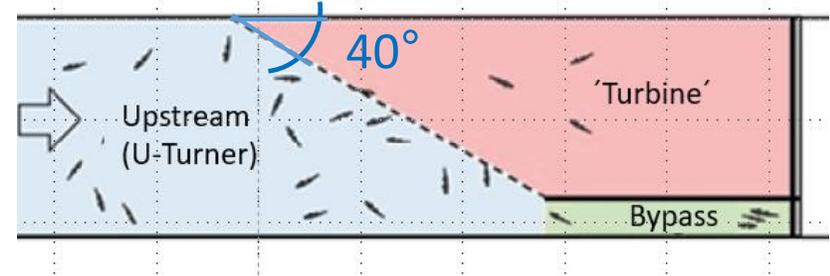
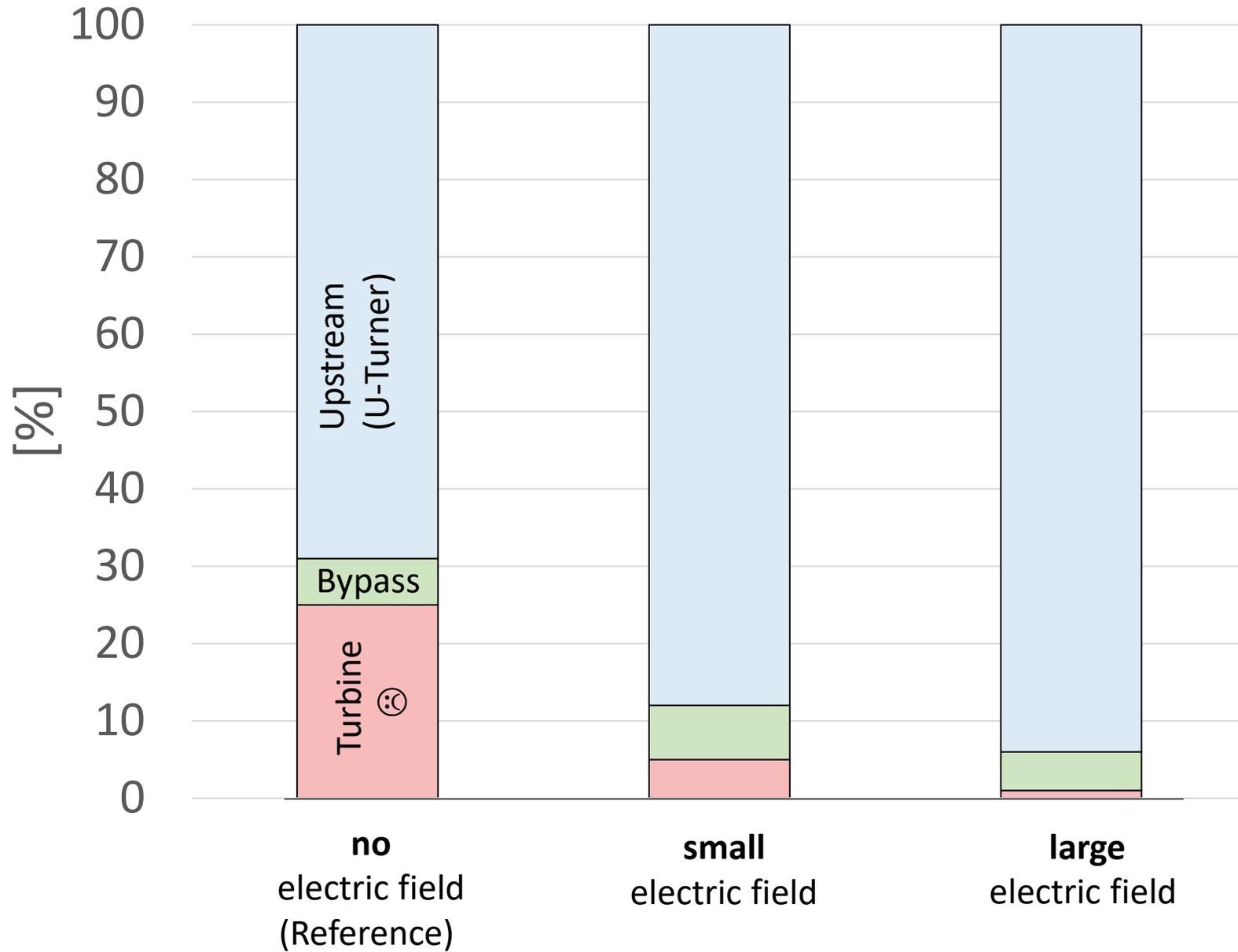


**NON - ELECTRIFIED 30 mm**  
GRAYLINGS, CHUBS AND TROUTS



**ELECTRIFIED 60 mm**  
GRAYLINGS, CHUBS AND TROUTS





Rope clearance 60 mm

# Pilot Project Leinau

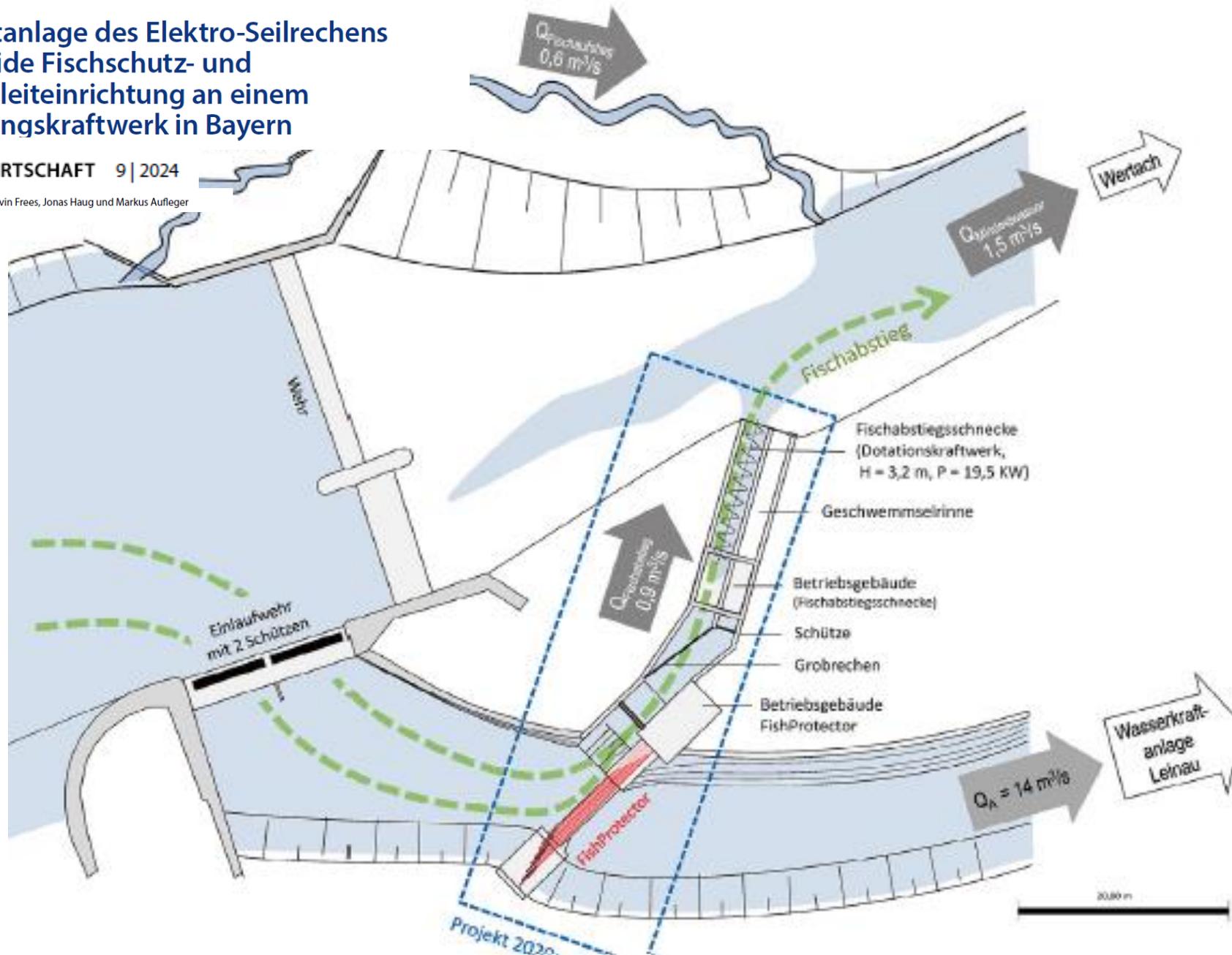
First Experiences

Flexible FishProtector

# Die Pilotanlage des Elektro-Seilrechens als hybride Fischschutz- und Fischleiteinrichtung an einem Ausleitungskraftwerk in Bayern

WASSERWIRTSCHAFT 9 | 2024

Barbara Brinkmeier, Calvin Frees, Jonas Haug und Markus Aufleger



**Bild 1:** Lageskizze des Ausleitungswehres und der Pilotanlage des Flexiblen FishProtector in Leinau

Oktober 2020

Flexible FishProtector:

Länge: 20 m

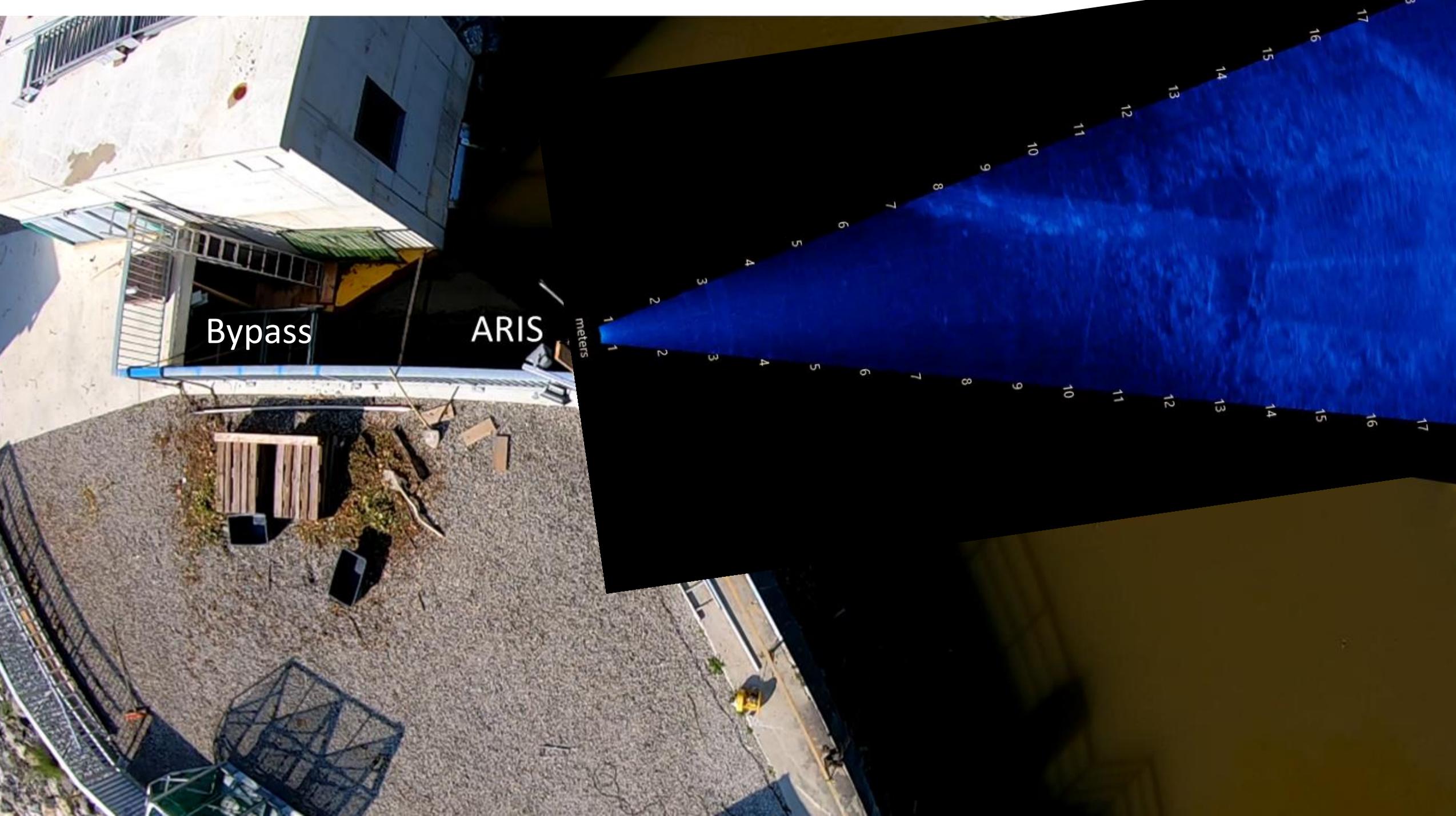
Höhe: 2,55 m

Stahlseile: 40 x D = 8 mm

Abstand: 60 mm

Januar 2021





Bypass

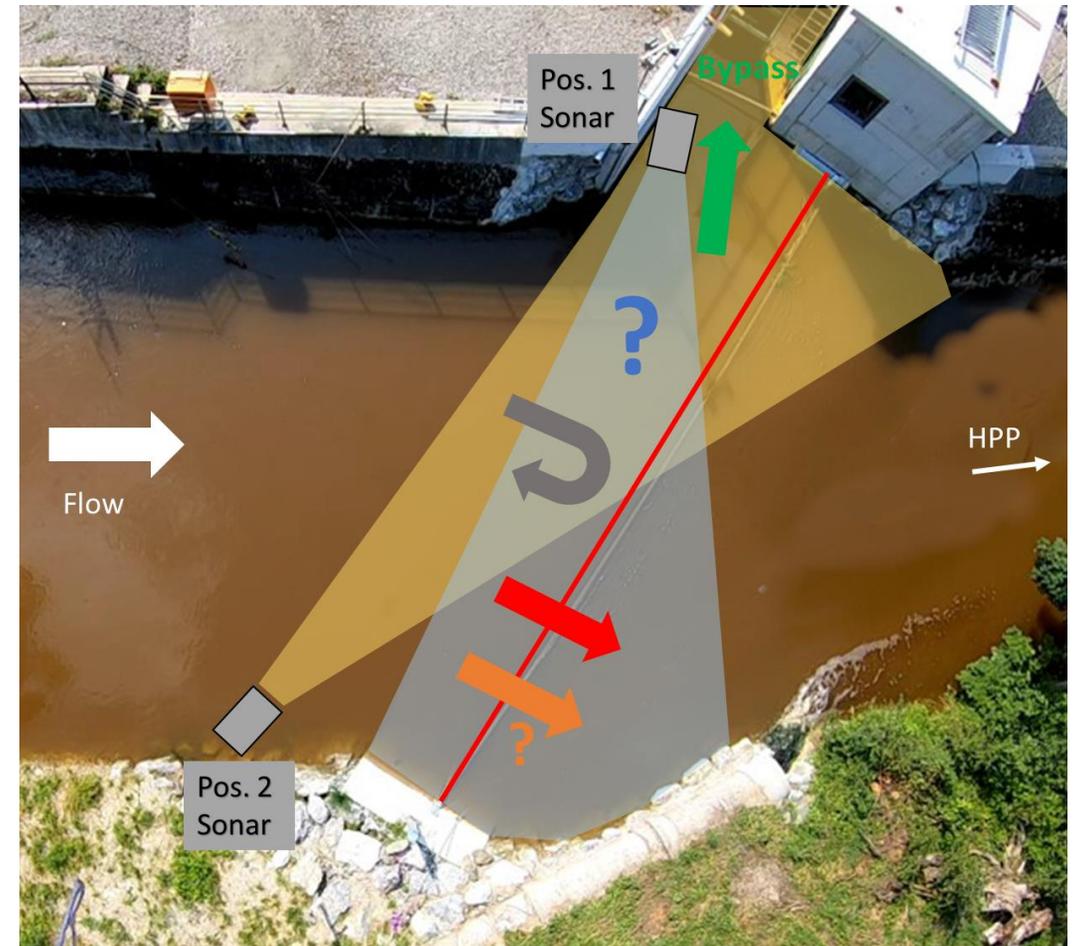
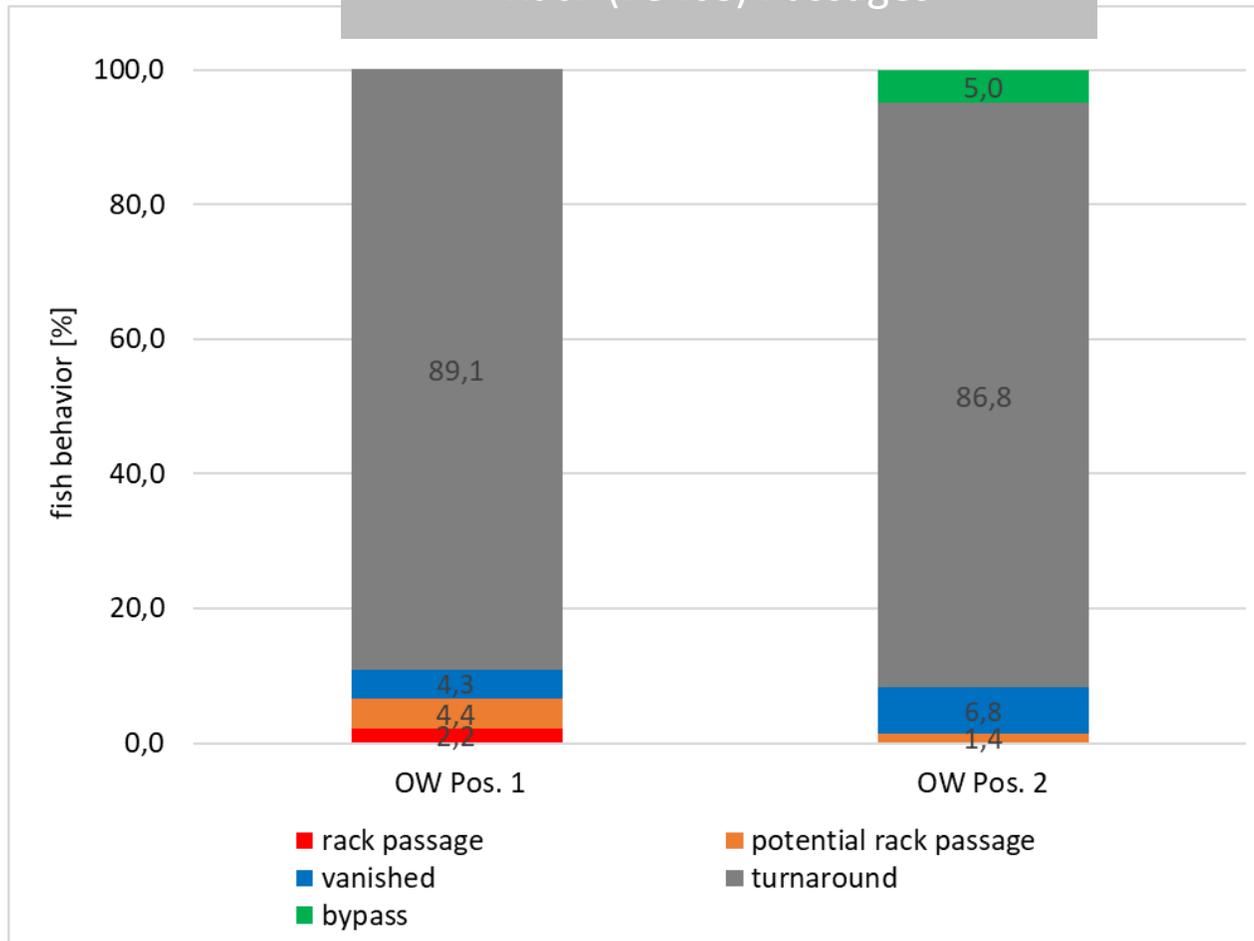
ARIS

meters

# Pilotanlage Leinau

## Sonar Survey

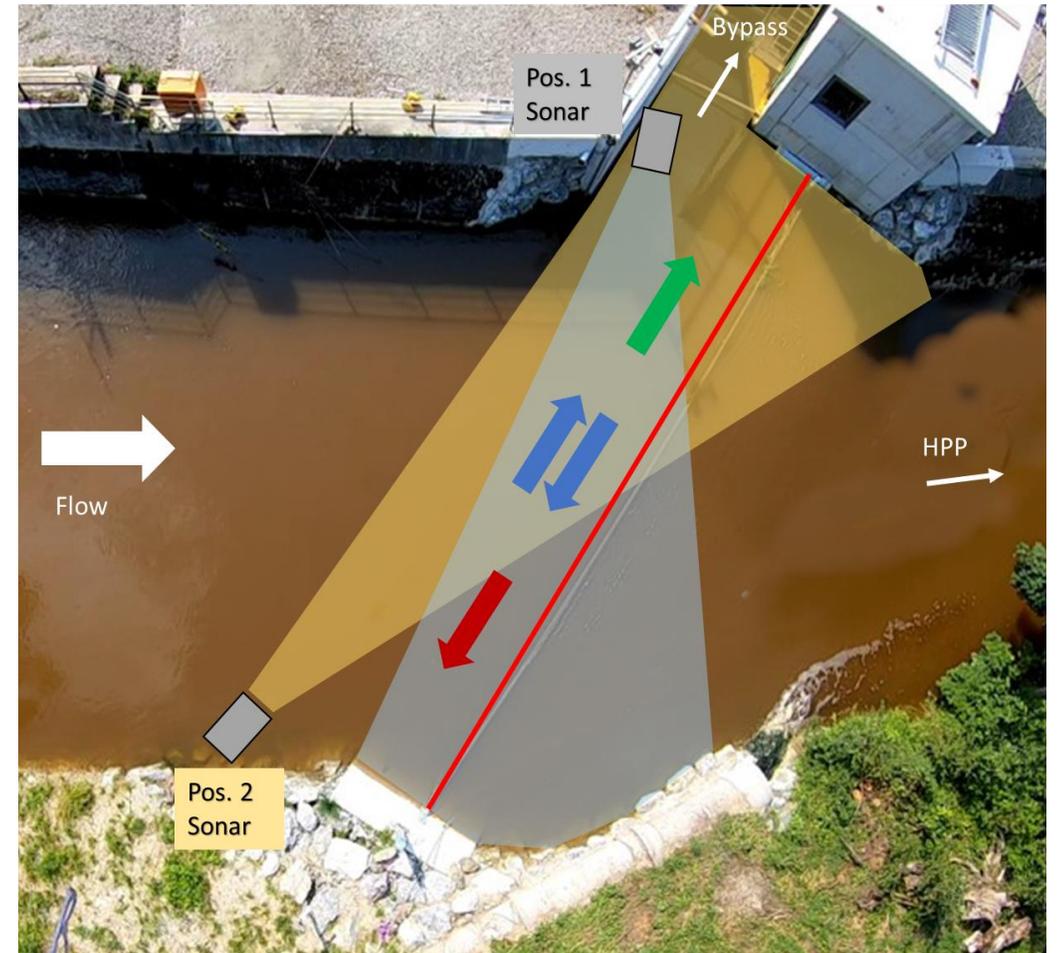
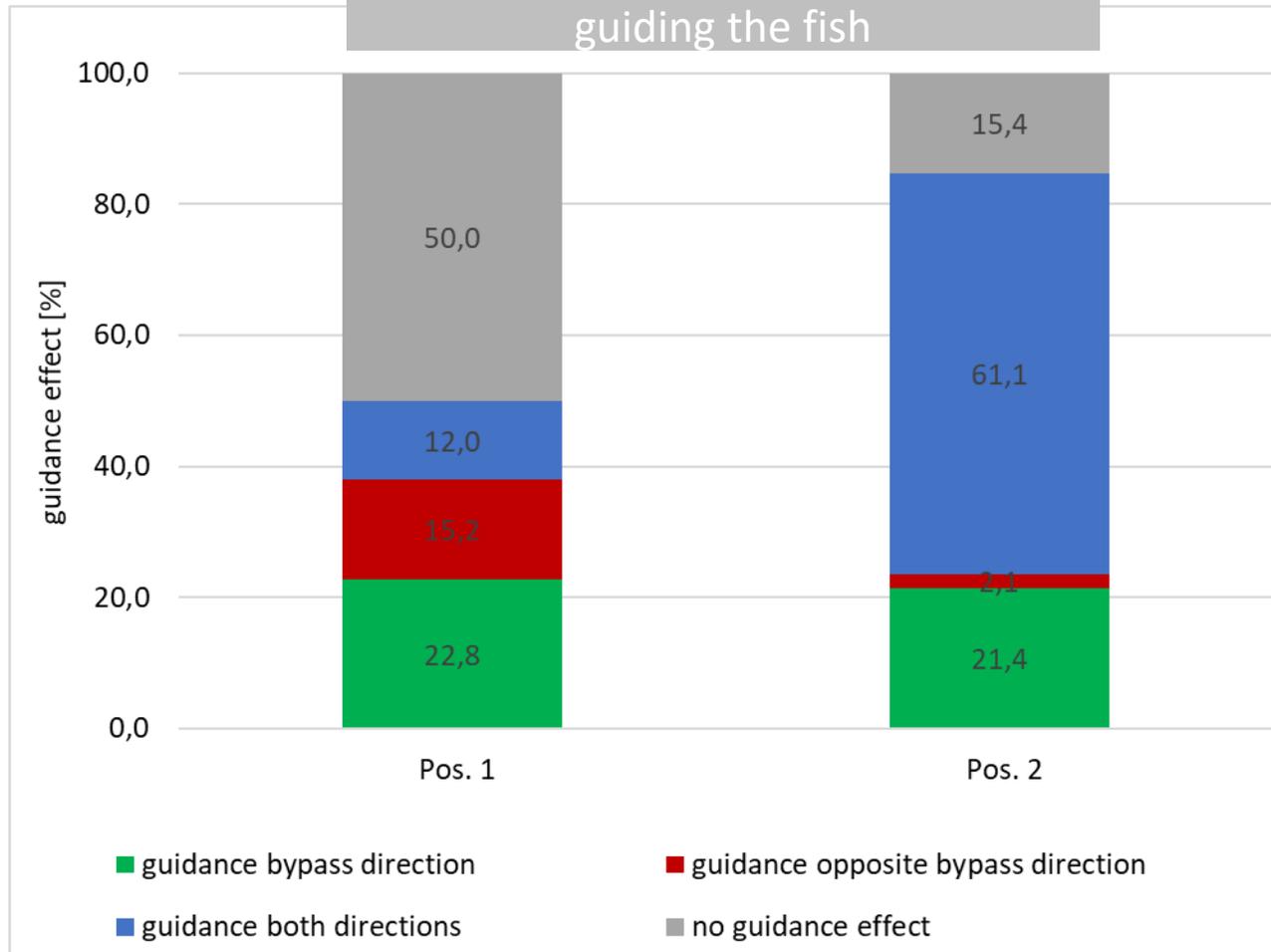
### Rack (Fence) Passages

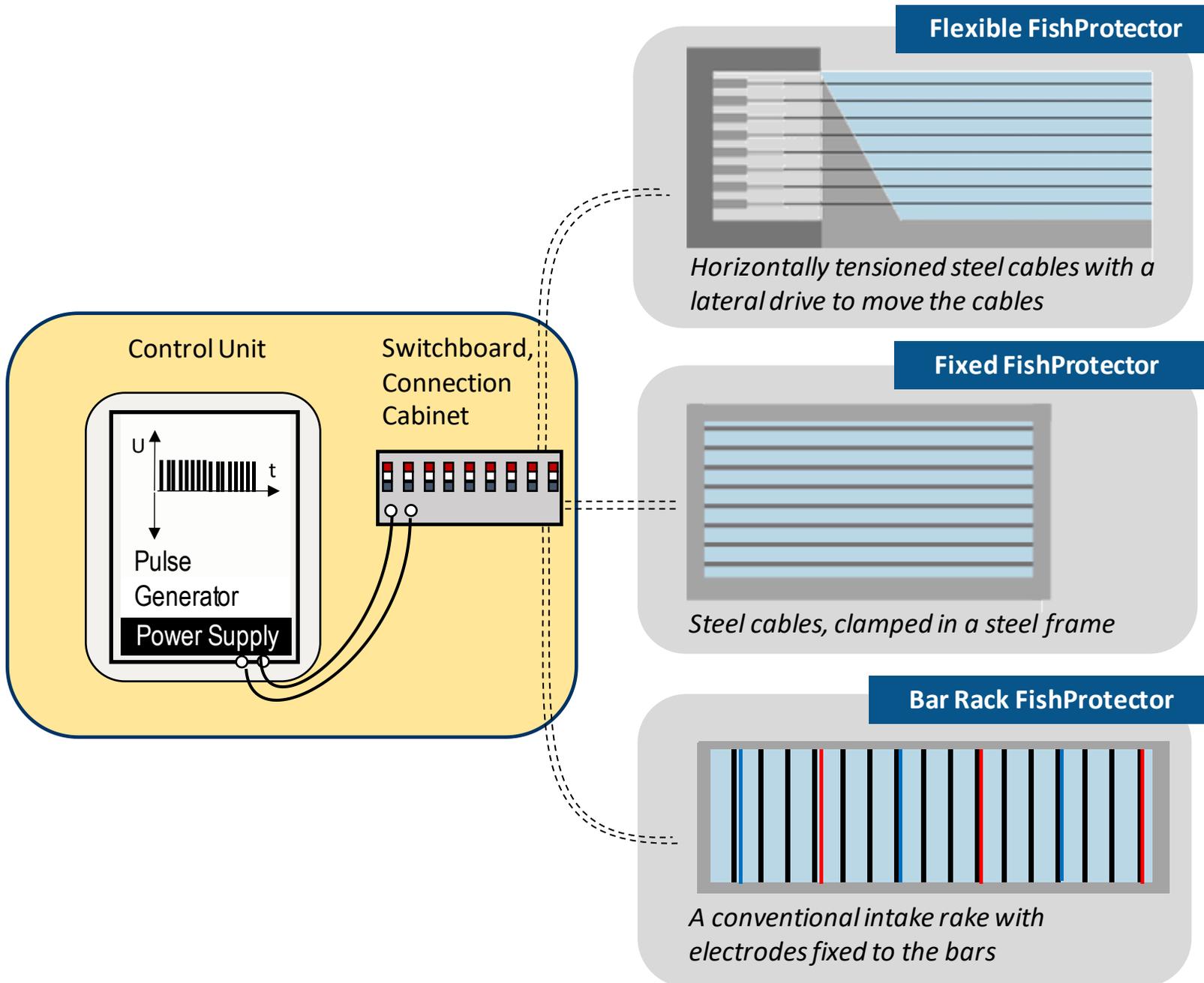


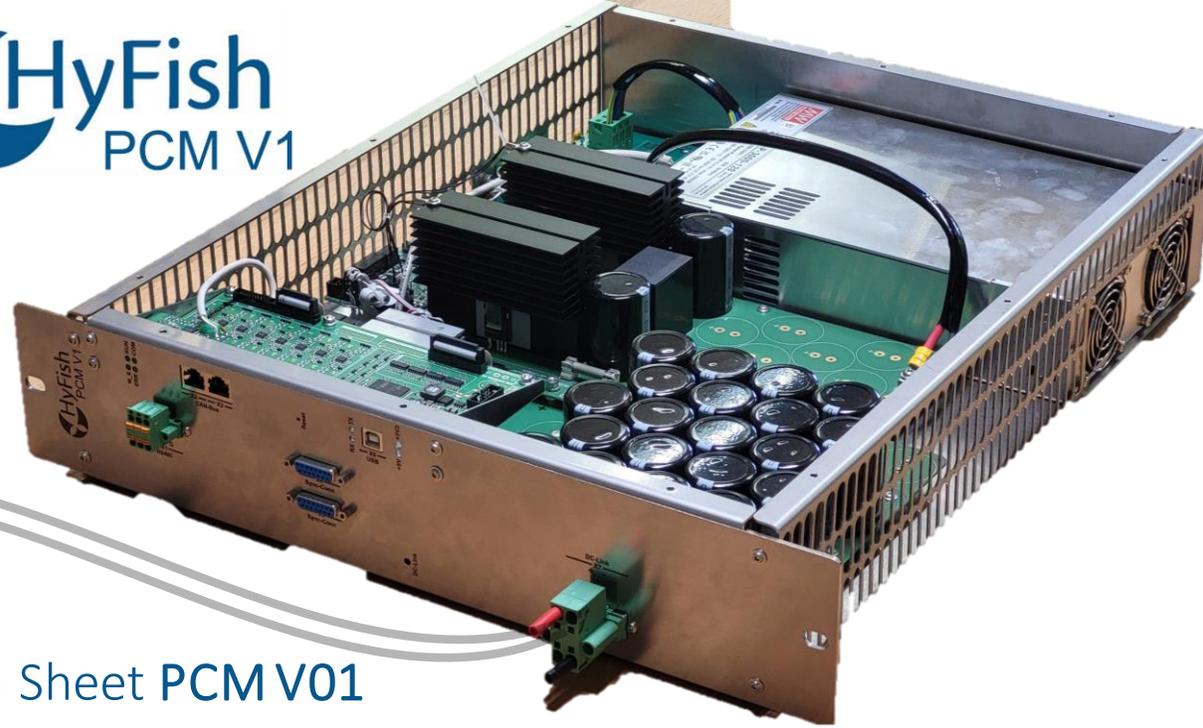
# Pilotanlage Leinau

## Sonar Survey

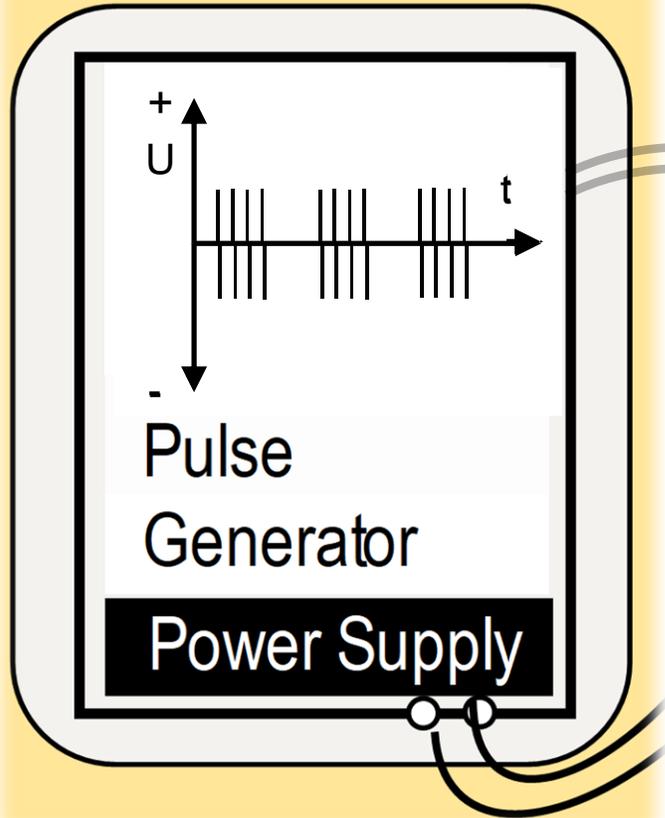
Efficiency of the system in terms of guiding the fish







## Control Unit



### Data Sheet PCM V01

- Output Peak Voltage 80 V
- Max. Peak Current 200 A
- Pulse Duration 100-2000 $\mu$ s
- Pulse Frequency 2-250 Hz
- Max. Duty Cycle 4 %
- Pulse Patterns pDC, pAC
  
- Protection IP20
- Weight 14 kg



# HyFish PCM V1

- ETH Zürich
- Kühlwassereinlauf (CH)
- VWEW Iller

## Data Sheet PCM V01

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| • Output Peak Voltage | 80 V             |
| • Max. Peak Current   | 200 A            |
| • Pulse Duration      | 100-2000 $\mu$ s |
| • Pulse Frequency     | 2-250 Hz         |
| • Max. Duty Cycle     | 4 %              |
| • Pulse Patterns      | pDC, pAC         |
| • Protection          | IP20             |
| • Weight              | 14 kg            |

# Fließgewässerkraftwerk Salzach

## Ökologische Vorteile

# A: Klimawandel / Erneuerbare Energie

**Nur Größenordnungen!!!**

**CO<sub>2</sub>-Emissionen**

**Sanierung E1+ „Mehr Fluss“**

Fließgewässerkraftwerk

Beton: ~ 1000 t CO<sub>2</sub>

Stahl: ~ 1000 t CO<sub>2</sub>

Aufweitungsgewässer etc.

Erdbau: ~ 3000 t CO<sub>2</sub>

→ **wenige 1000 t CO<sub>2</sub>**

- 
- 1) sehr kurzer Kompensationszeitraum  $T_K$  für CO<sub>2</sub> – Emissionen ( $T_K < 1$  Jahr)
  - 2) signifikant positiver Beitrag für ein zukunftsfähiges erneuerbares Energiesystem

└ **nur mit E1+ „mehr Fluss“ (!)**

**Nur Größenordnungen!!!**

**CO<sub>2</sub>-Einsparung**

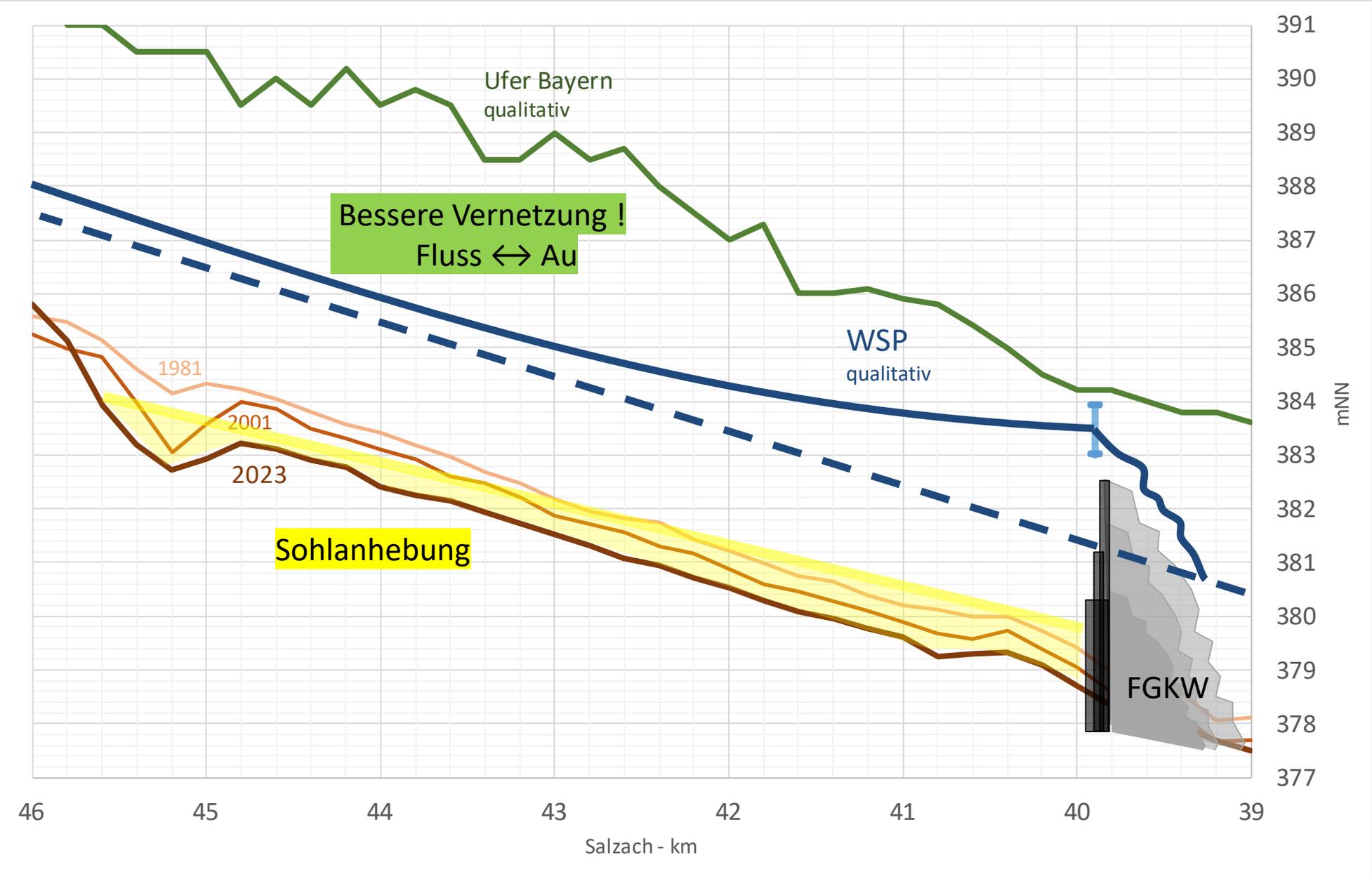
(bei 30 GWh/a bis 35 GWh/a)

im Vergleich zu Kohlekraftwerken  
27.000 t/a bis 31.500 t/a

im Vergleich zu Gaskraftwerken  
13.500 t/a bis 16.000 t/a

→ **wenige „zig“ 1000 t CO<sub>2</sub> /a**

# B: Zuverlässige und zeitnahe Sohlstabilisierung - Anbindung der Au



# C: Eigendynamische Aufweitung / Leitbild / Gewässerökologie



# C: Eigendynamische Aufweitung / Leitbild / Gewässerökologie



Herstellungszustand

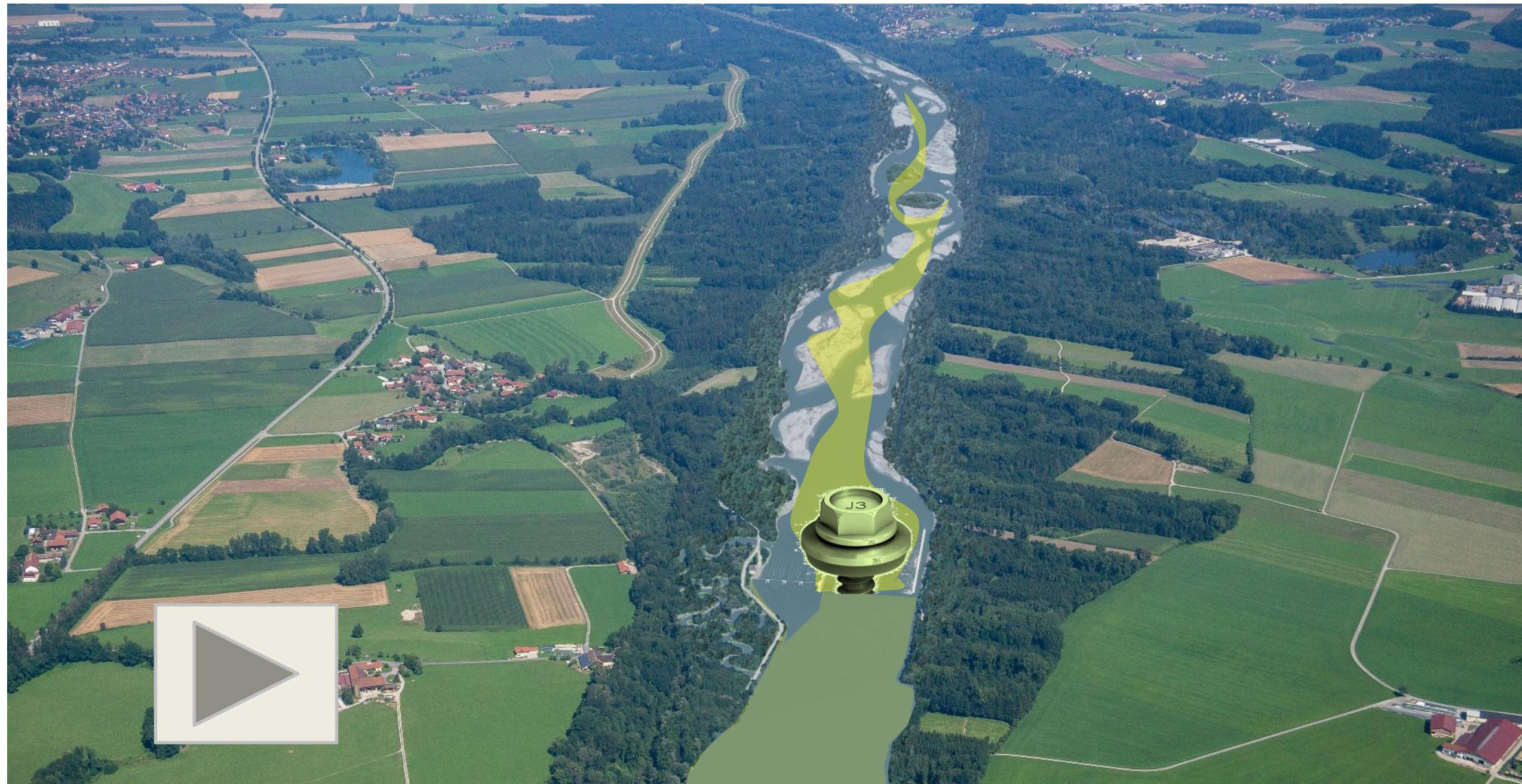
# D: „Steuerung“ der morphologischen Entwicklung



# D: „Steuerung“ der morphologischen Entwicklung



# D: „Steuerung“ der morphologischen Entwicklung

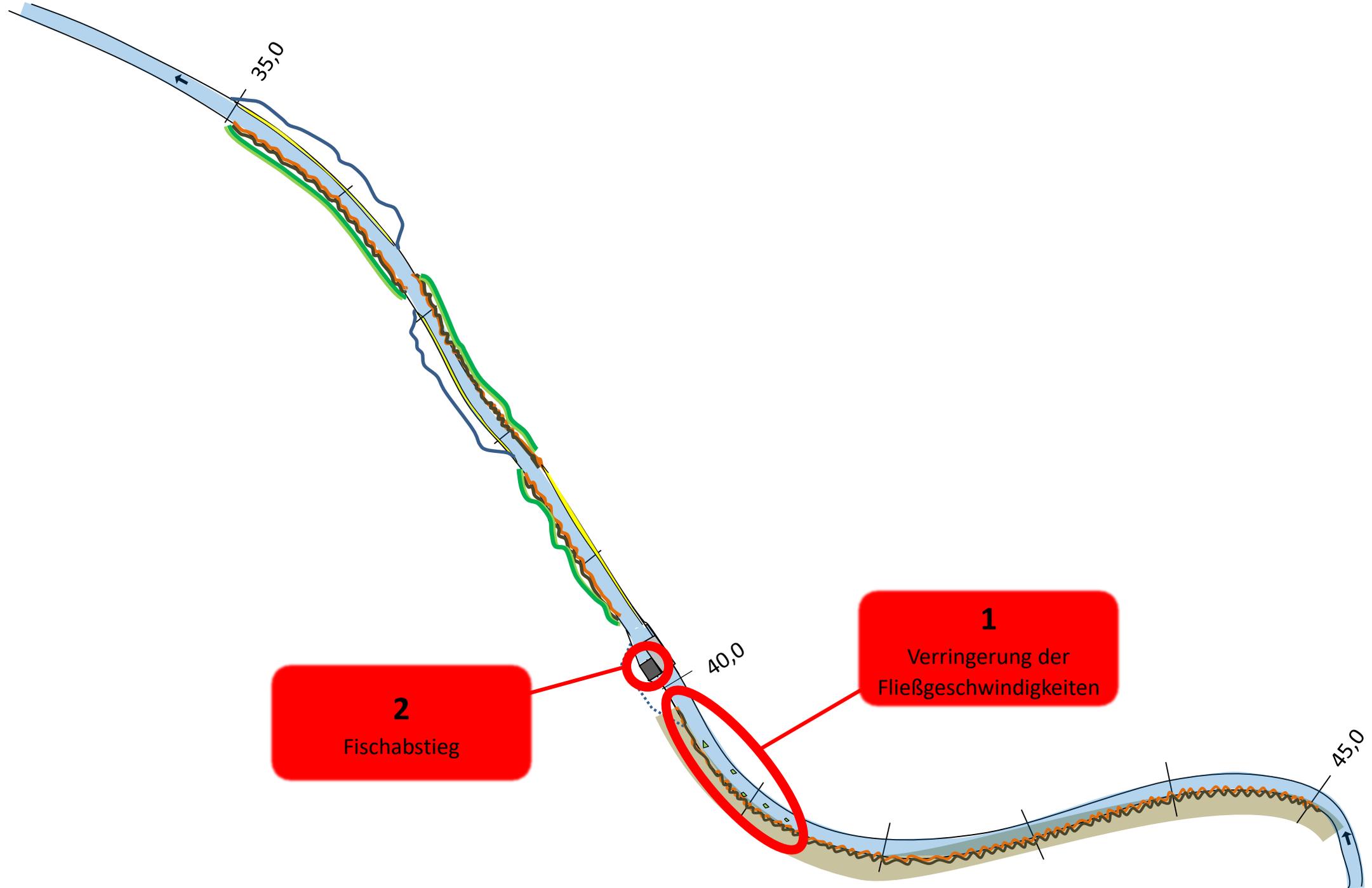


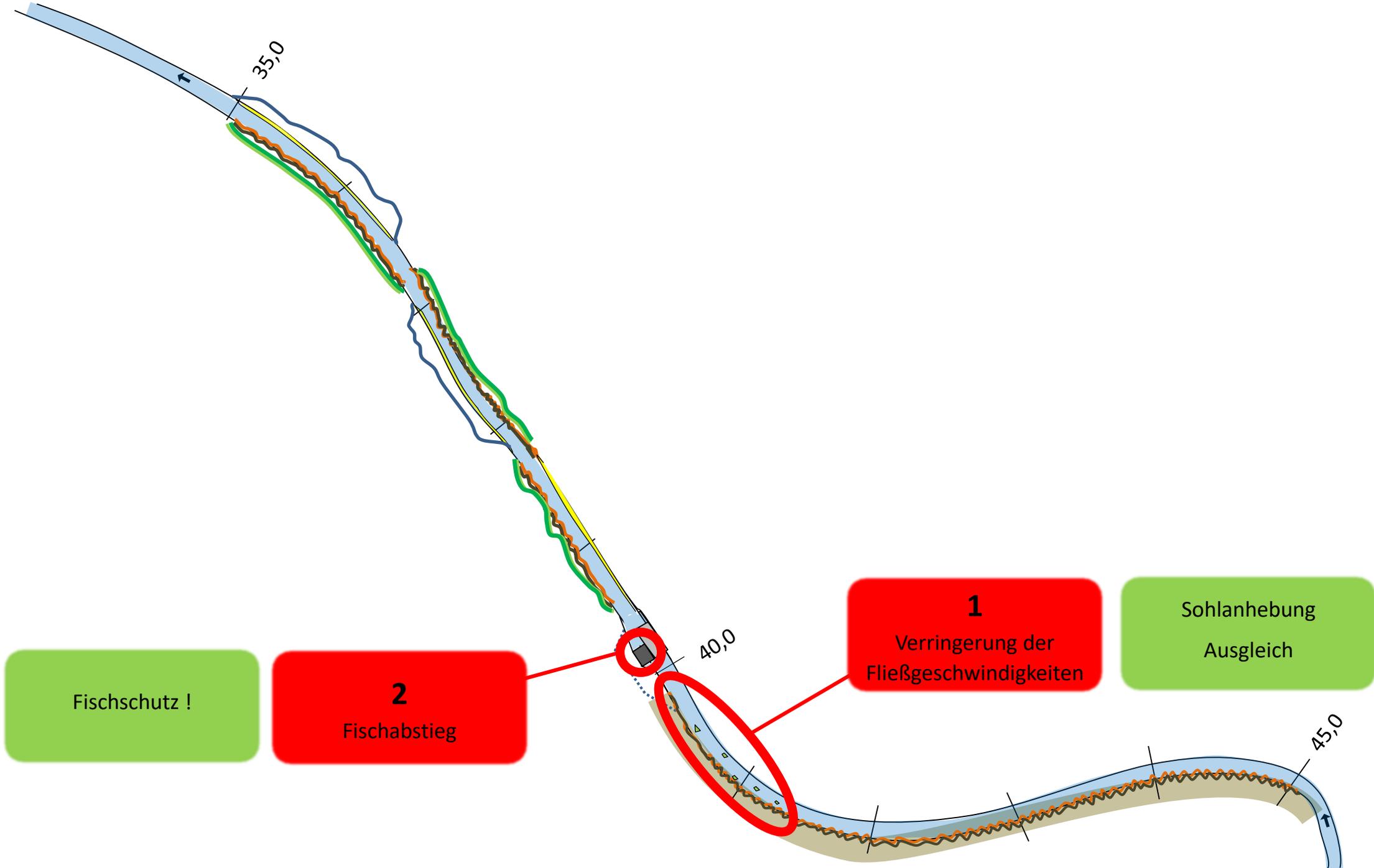
# Fließgewässerkraftwerk Salzach

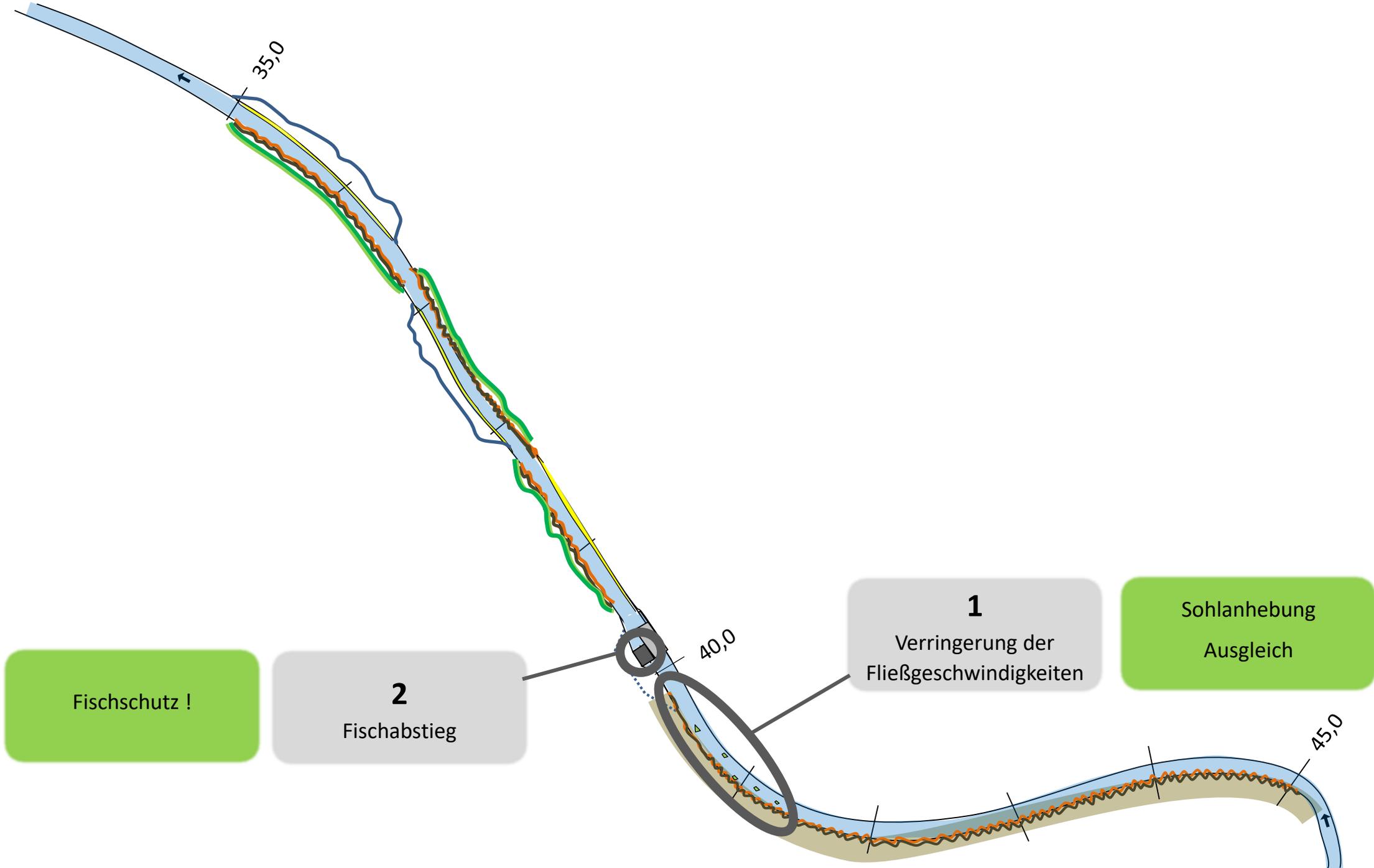
## Die kritischen Punkte

hinsichtlich eines negativen Eingriffes in das Gewässersystem









Fischschutz !

**2**  
Fischabstieg

**1**  
Verringerung der  
Fließgeschwindigkeiten

Sohlanhebung  
Ausgleich

35,0

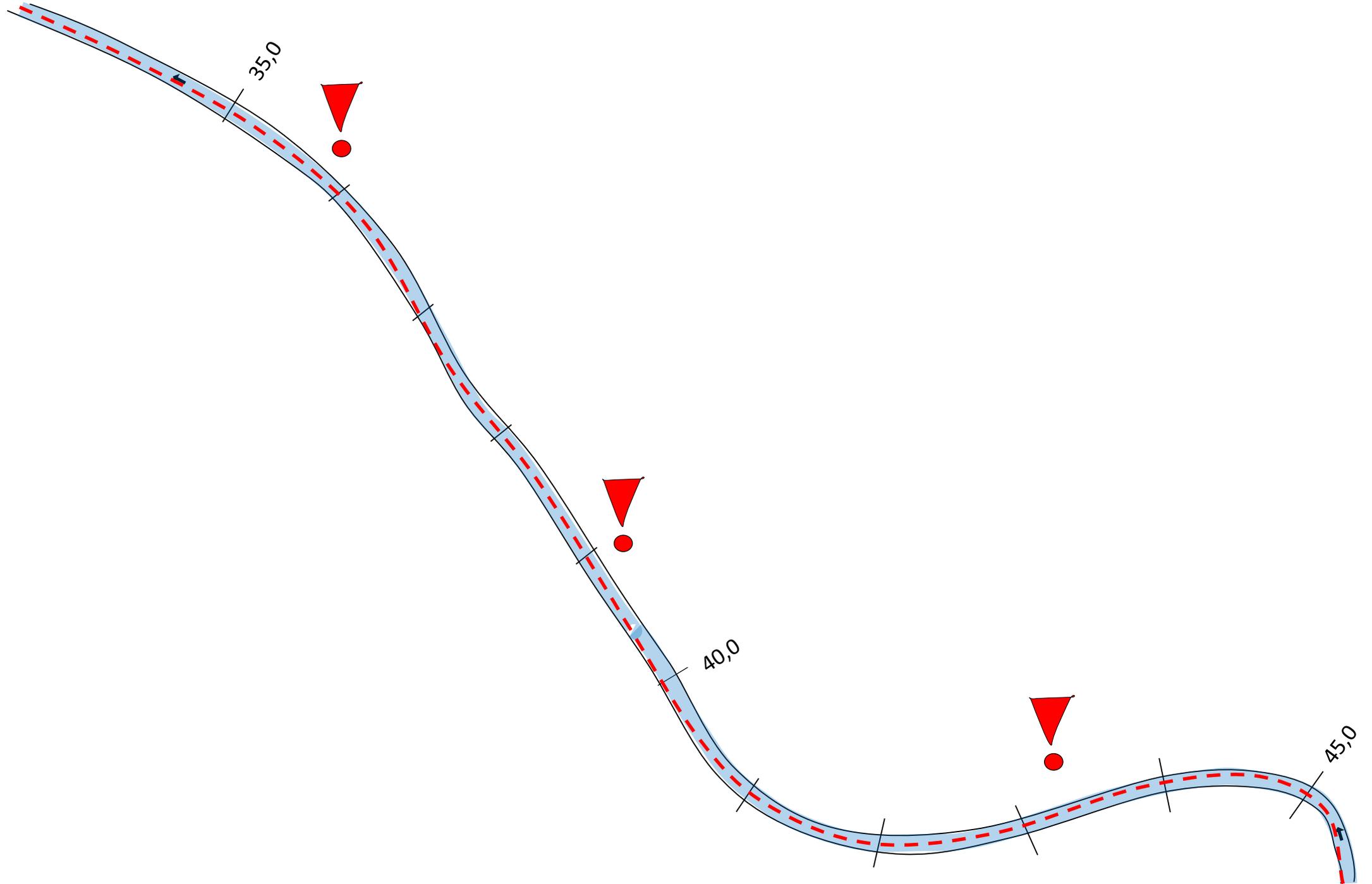
40,0

45,0

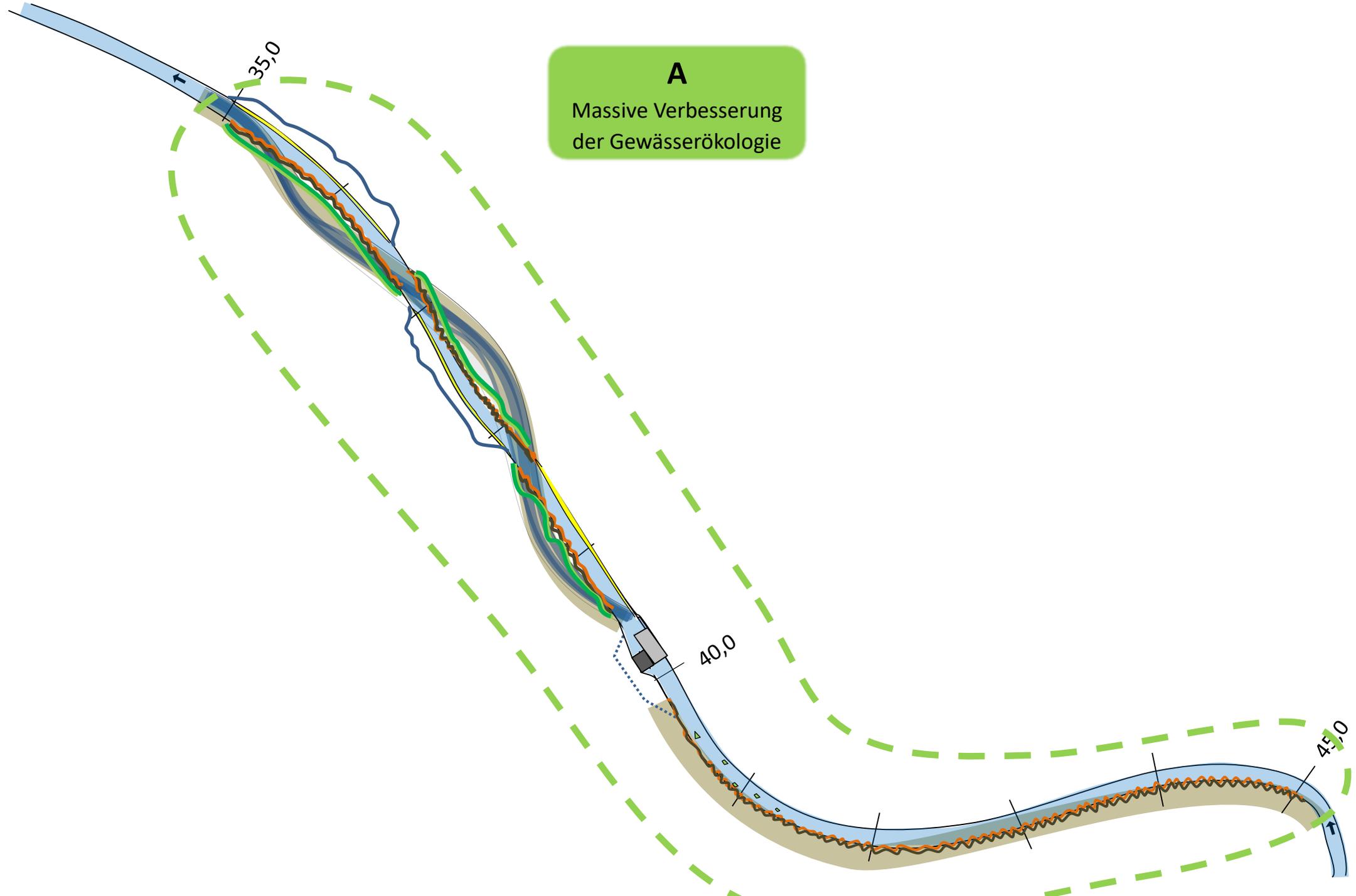
Das Wichtigste in Kürze

Die wesentliche Merkmale



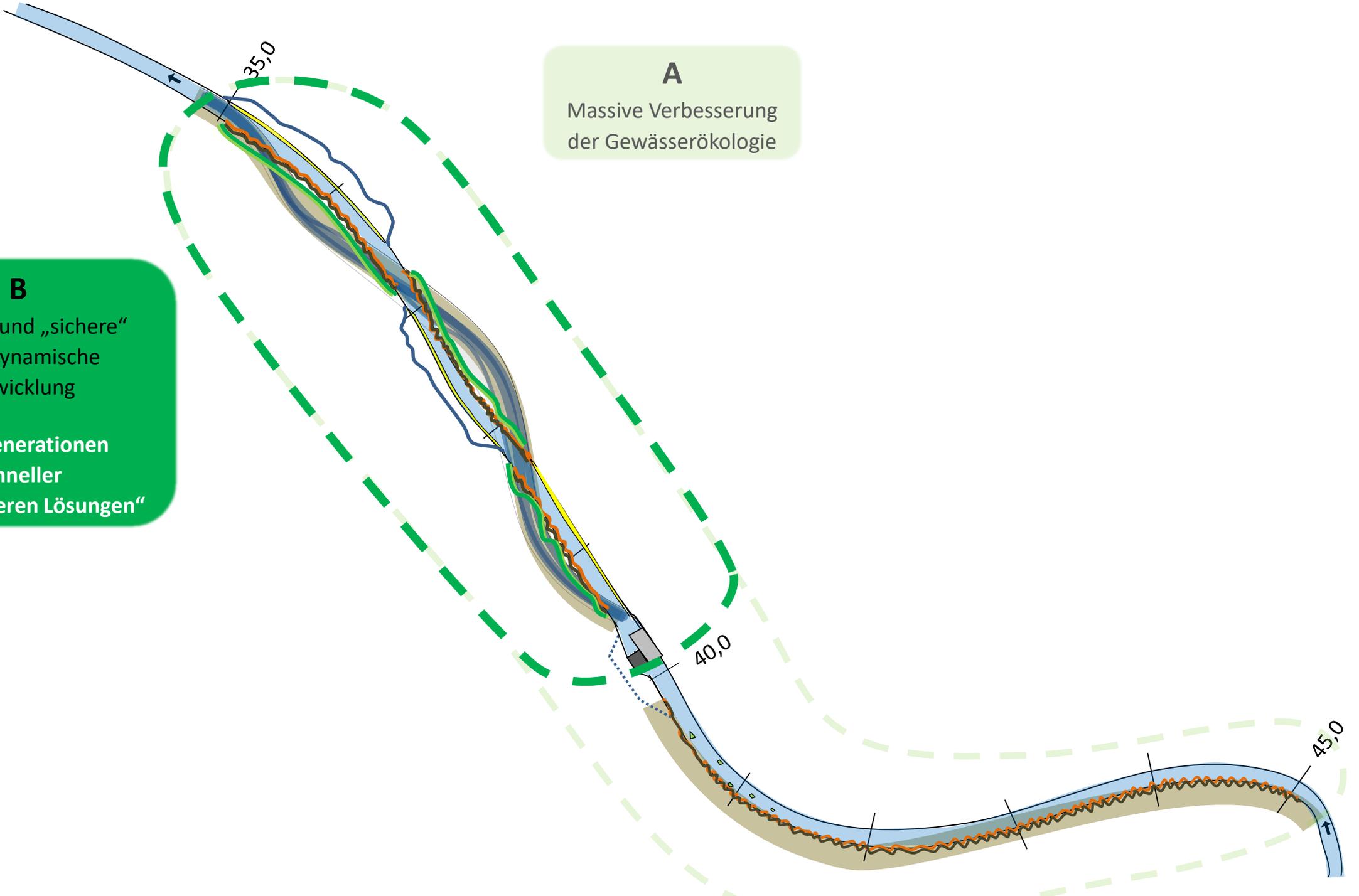


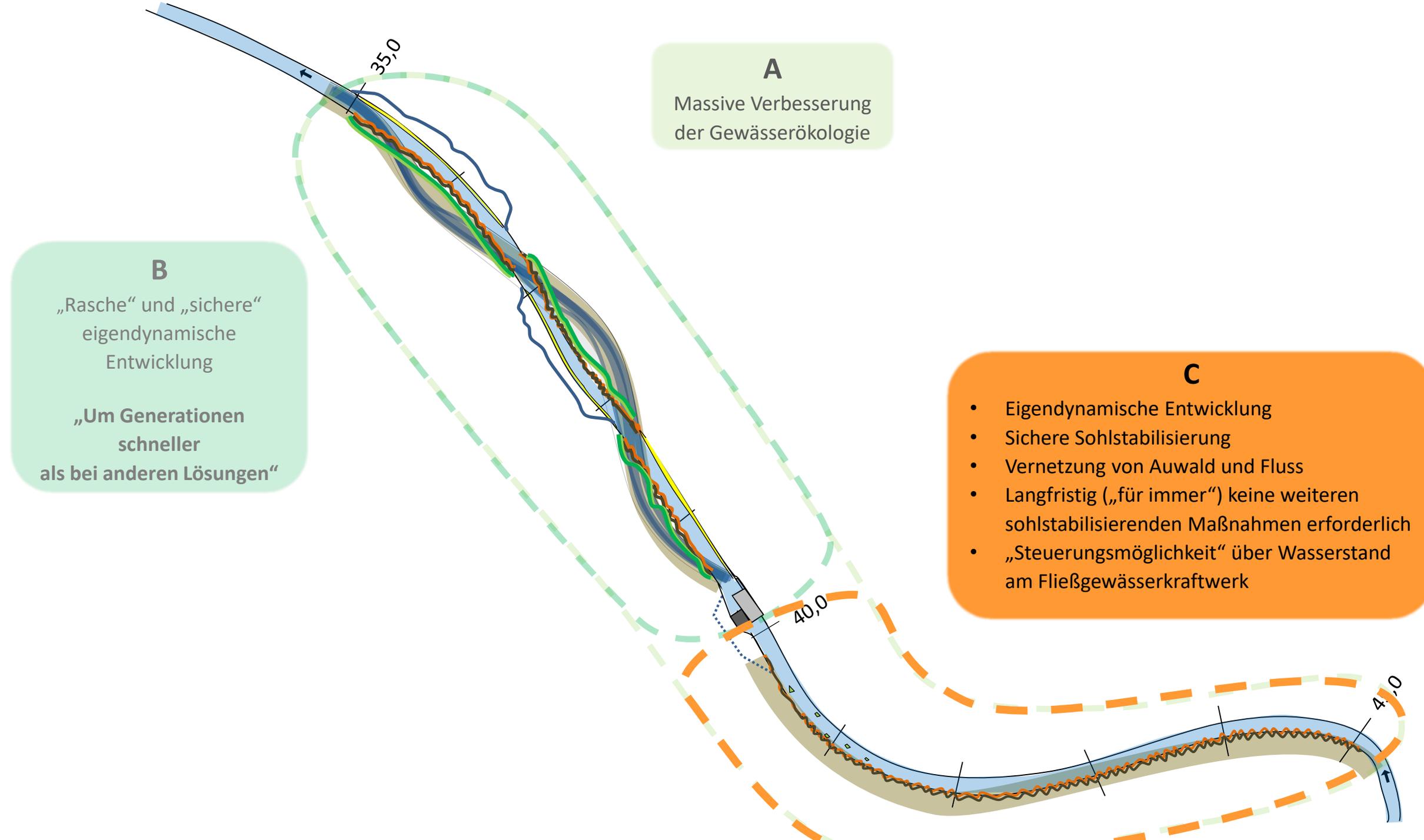
**A**  
Massive Verbesserung  
der Gewässerökologie



**A**  
Massive Verbesserung  
der Gewässerökologie

**B**  
„Rasche“ und „sichere“  
eigendynamische  
Entwicklung  
  
„Um Generationen  
schneller  
als bei anderen Lösungen“



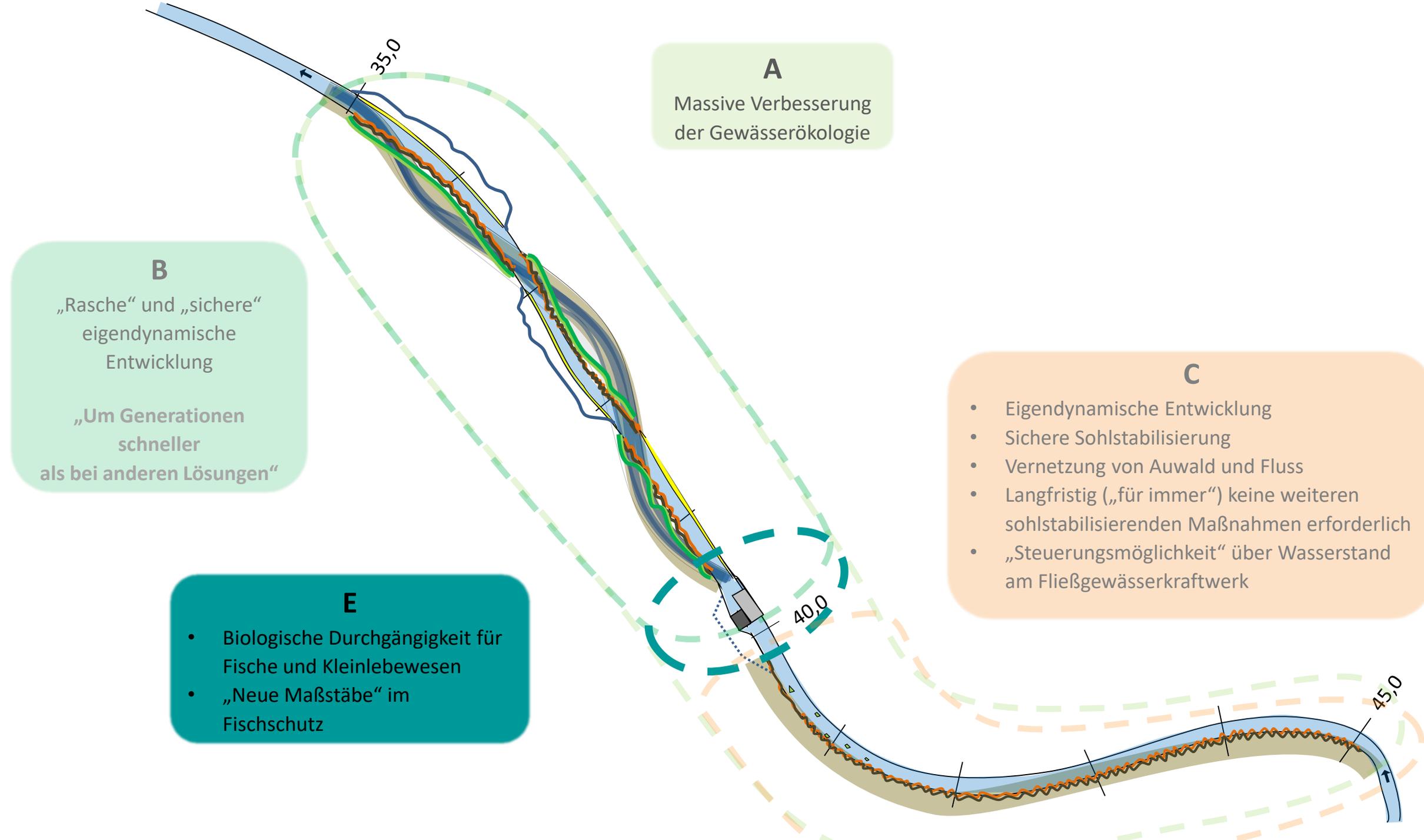


**A**  
 Massive Verbesserung  
 der Gewässerökologie

**B**  
 „Rasche“ und „sichere“  
 eigendynamische  
 Entwicklung  
 „Um Generationen  
 schneller  
 als bei anderen Lösungen“

**C**

- Eigendynamische Entwicklung
- Sichere Sohlstabilisierung
- Vernetzung von Auwald und Fluss
- Langfristig („für immer“) keine weiteren sohlstabilisierenden Maßnahmen erforderlich
- „Steuerungsmöglichkeit“ über Wasserstand am Fließgewässerkraftwerk



**A**  
 Massive Verbesserung  
 der Gewässerökologie

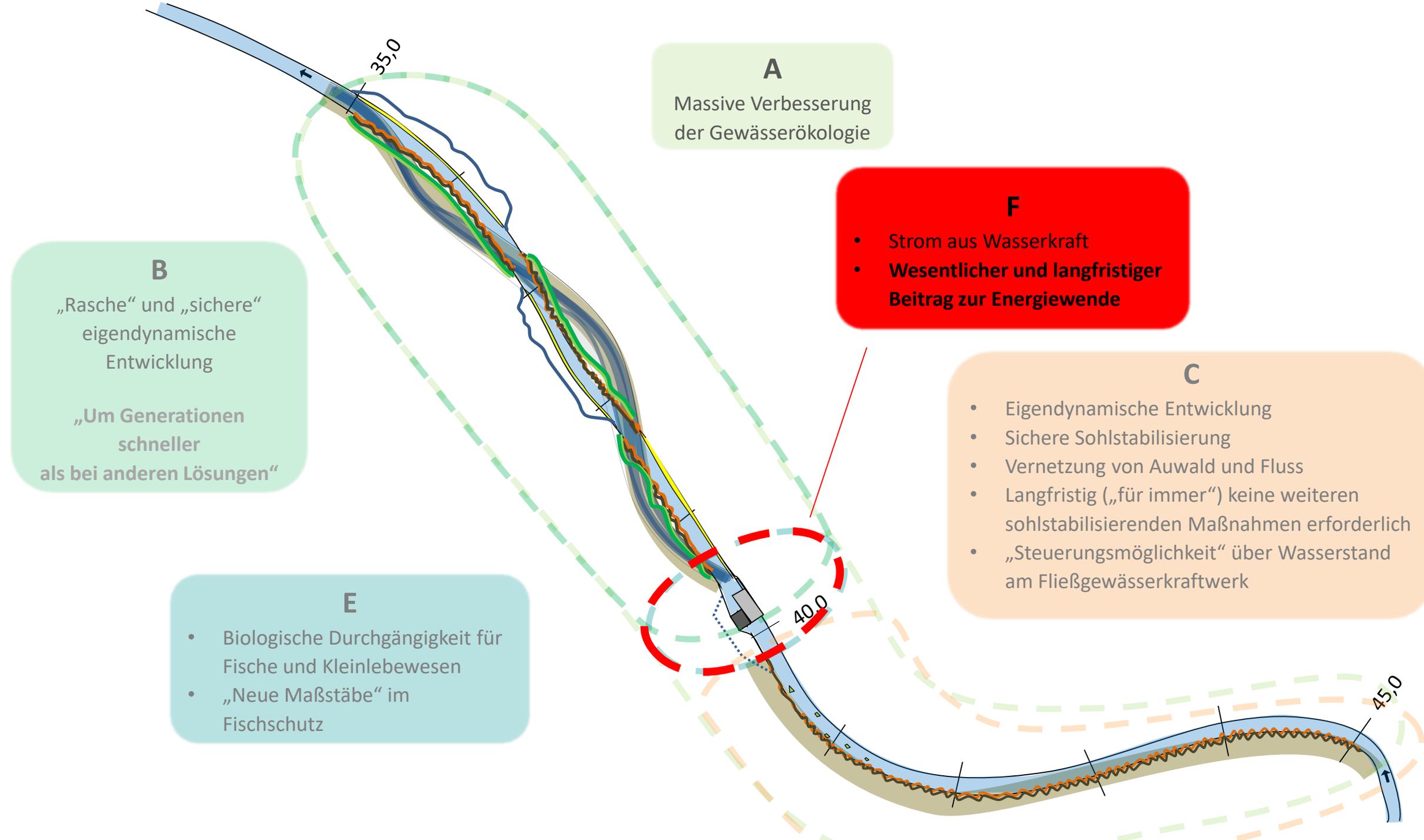
**B**  
 „Rasche“ und „sichere“  
 eigendynamische  
 Entwicklung  
 „Um Generationen  
 schneller  
 als bei anderen Lösungen“

**C**

- Eigendynamische Entwicklung
- Sichere Sohlstabilisierung
- Vernetzung von Auwald und Fluss
- Langfristig („für immer“) keine weiteren sohlstabilisierenden Maßnahmen erforderlich
- „Steuerungsmöglichkeit“ über Wasserstand am Fließgewässerkraftwerk

**E**

- Biologische Durchgängigkeit für Fische und Kleinlebewesen
- „Neue Maßstäbe“ im Fischschutz



**A**  
Massive Verbesserung  
der Gewässerökologie

**F**

- Strom aus Wasserkraft
- **Wesentlicher und langfristiger Beitrag zur Energiewende**

**C**

- Eigendynamische Entwicklung
- Sichere Sohlstabilisierung
- Vernetzung von Auwald und Fluss
- Langfristig („für immer“) keine weiteren sohlstabilisierenden Maßnahmen erforderlich
- „Steuerungsmöglichkeit“ über Wasserstand am Fließgewässerkraftwerk

**B**  
„Rasche“ und „sichere“  
eigendynamische  
Entwicklung  
  
„Um Generationen  
schneller  
als bei anderen Lösungen“

**E**

- Biologische Durchgängigkeit für Fische und Kleinlebewesen
- „Neue Maßstäbe“ im Fischschutz

35,0

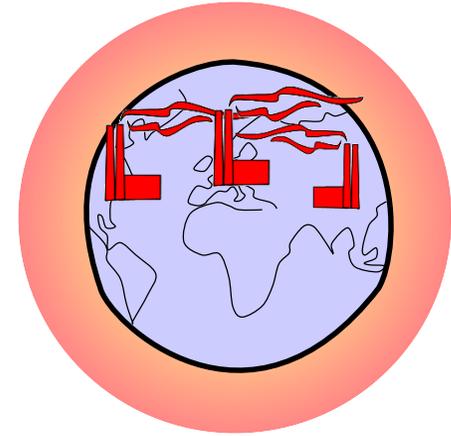
40,0

45,0

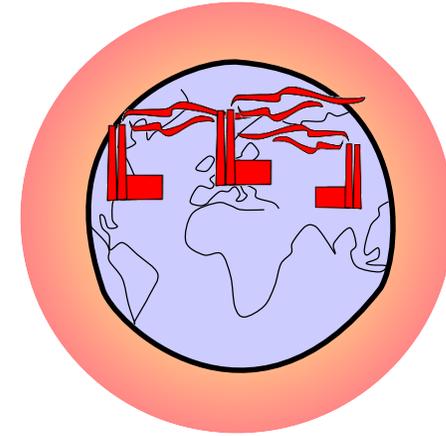
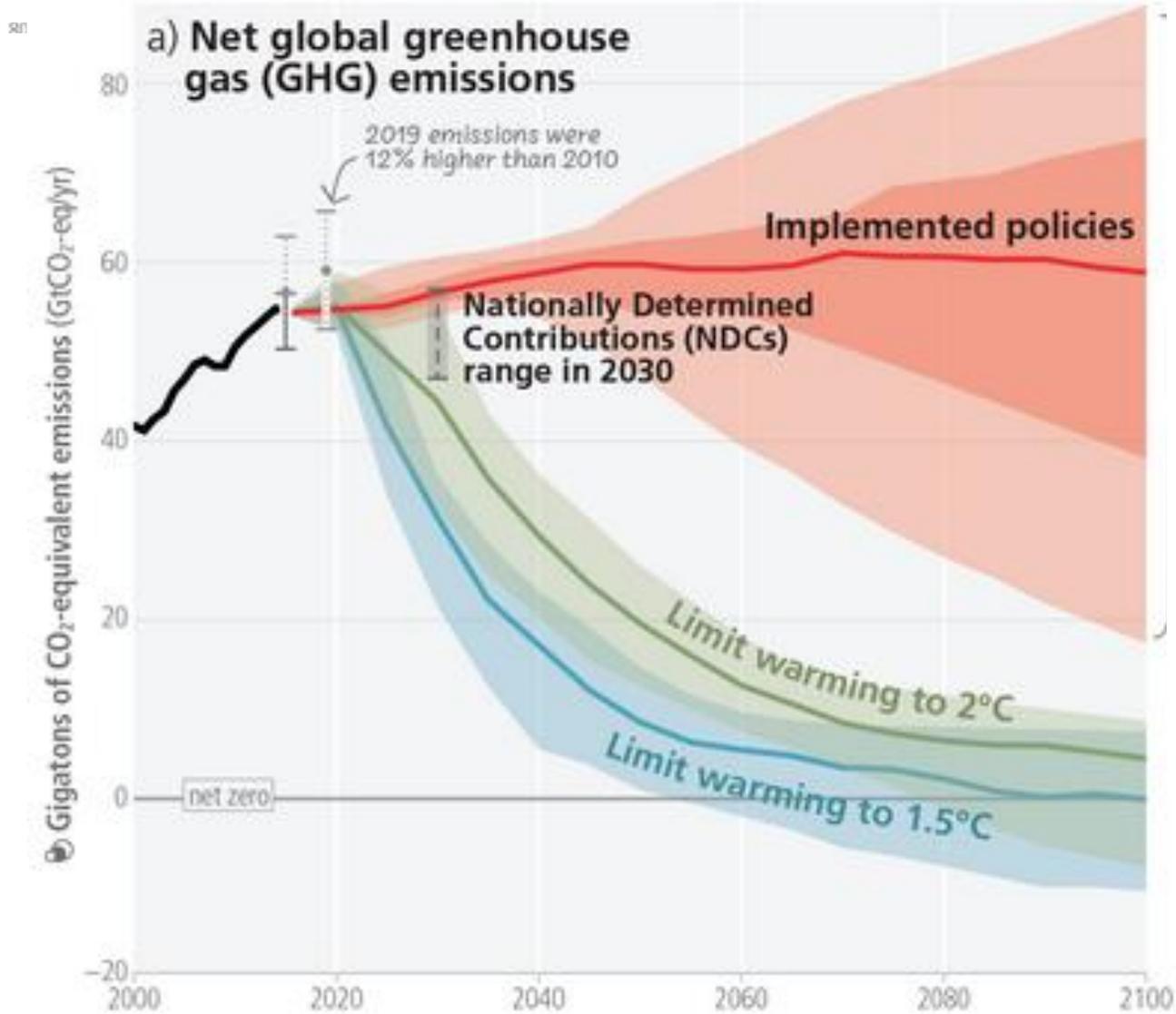




**Trigger Warning:** The following image contains extremely disturbing content. It is not recommended for viewing by individuals younger than the speaker. Viewer discretion is advised.



Limiting warming to 1.5°C and 2°C involves rapid, deep and in most cases immediate greenhouse gas emission reductions



KLIMAWANDEL

BIODIVERSITÄT



# Green Green Hydropower: Saubere Energie, lebendige Gewässer

Markus Aufleger

Mals, 24. Oktober 2024