

# Wasserkraft & Ökologie

## Innovative Projekte der KWO



*KWO-Slogan:  
"Wasserkraft in Partnerschaft mit der Natur"*

**Steffen Schweizer,  
Fachstelle Ökologie KWO**

# Inhalt



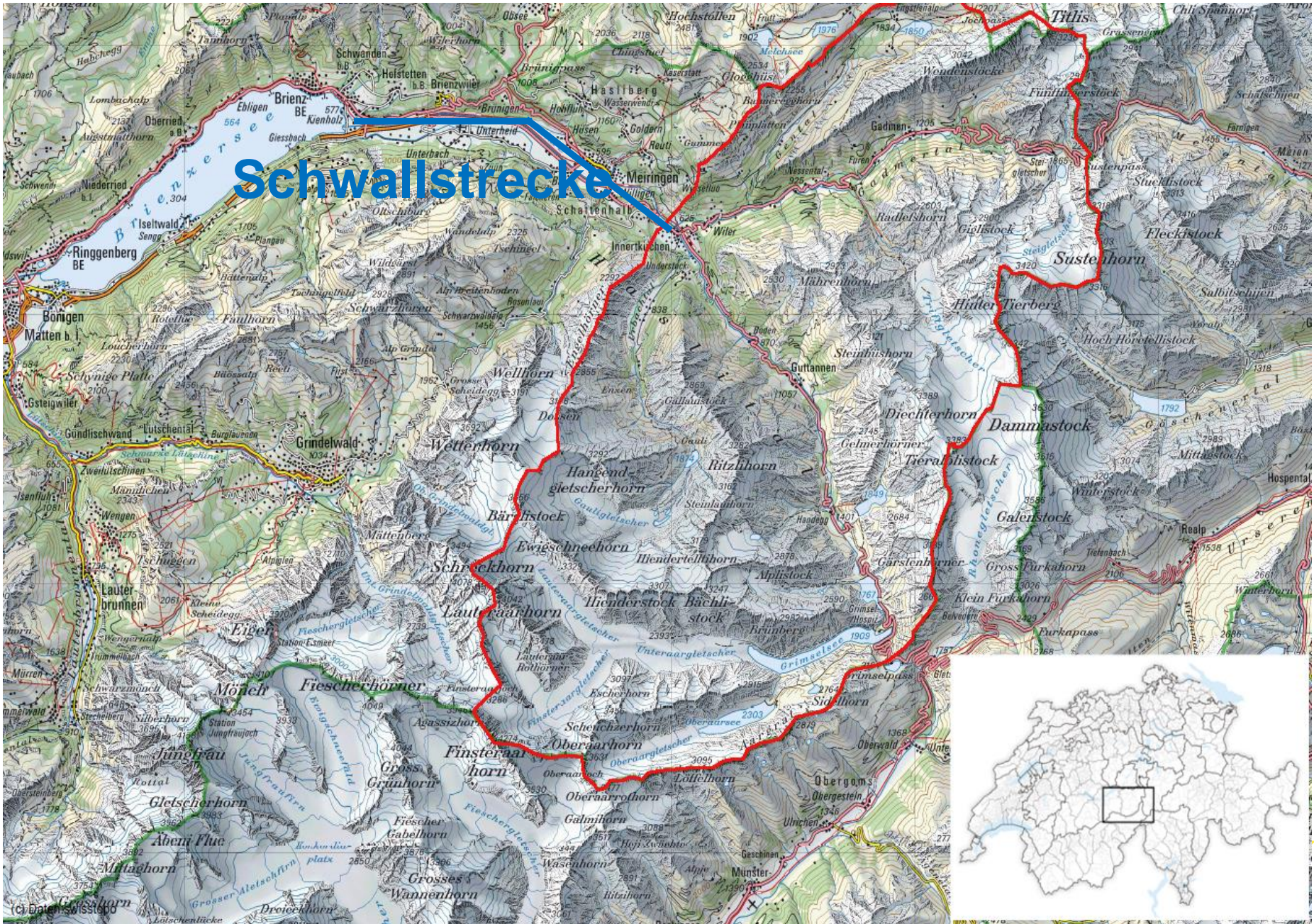
**1) Kurze Einleitung & Projekte**

**2) Thema Restwasser**

**3) Thema Schwall-Sunk**

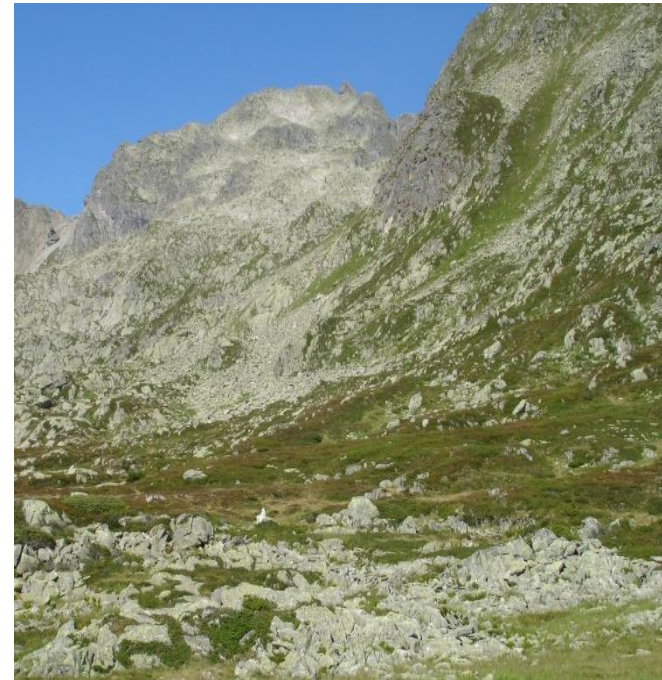
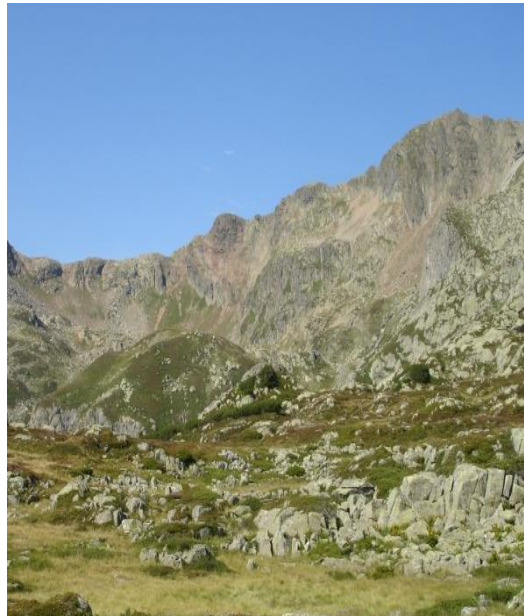
**4) Kurzes Fazit**

# 1. Einleitung



# Kraftwerke Oberhasli AG

- Einzugsgebiet 450 km<sup>2</sup> mit Aare- (Grimselgebiet) und Gadmental (Sustengebiet)
- 21% Vergletscherung, Jahresniederschlag  $\pm$  2'000mm
- MQ unterhalb der Wasserrückgabe 35 m<sup>3</sup>/s
- Jahresproduktion der KWO 2'700 GWh/a



# Runder Tisch Wasserkraft

- Bundesrat hat Problem erkannt und will bis 2040 **zusätzlich 2 TWh Winterstrom mit Wasserkraft erzeugen**
- Bundesrätin S. Sommaruga hat dazu im 2021 einen Runden Tisch einberufen, (Umweltverbände, Kantone, BFE, BAFU und SWV)



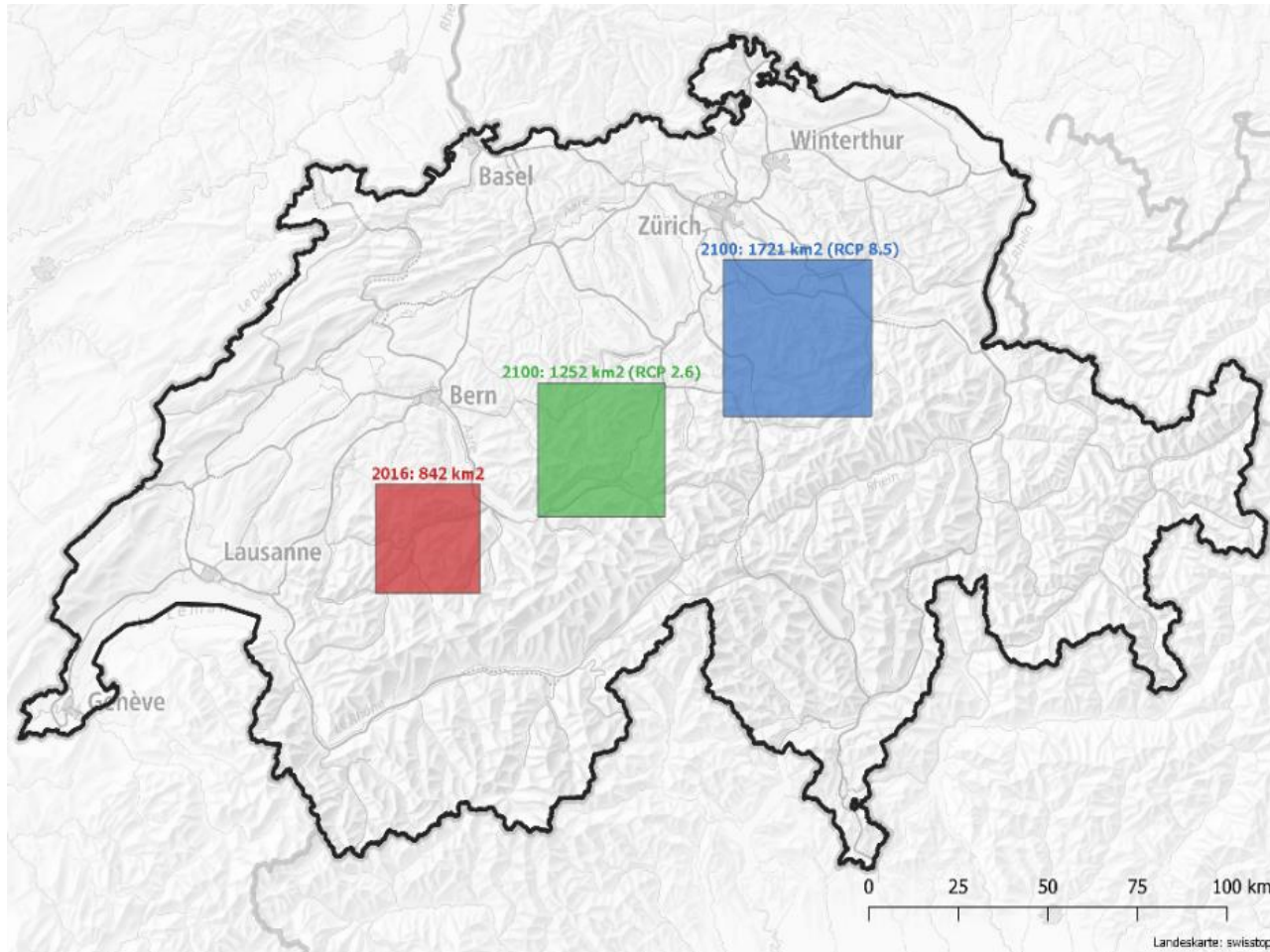
# Runder Tisch Wasserkraft

- Gemeinsame Entwicklung von **15 prioritären Projekten** mit bestem Verhältnis zwischen Nutzen und Beeinträchtigung
- Kraftwerke Oberhasli mit drei Projekten vertreten:
  - Trift (0.25 TWh)
  - Vergrößerung Grimsensee (0.2 TWh)
  - Vergrößerung Oberaarsee (0.1 TWh)

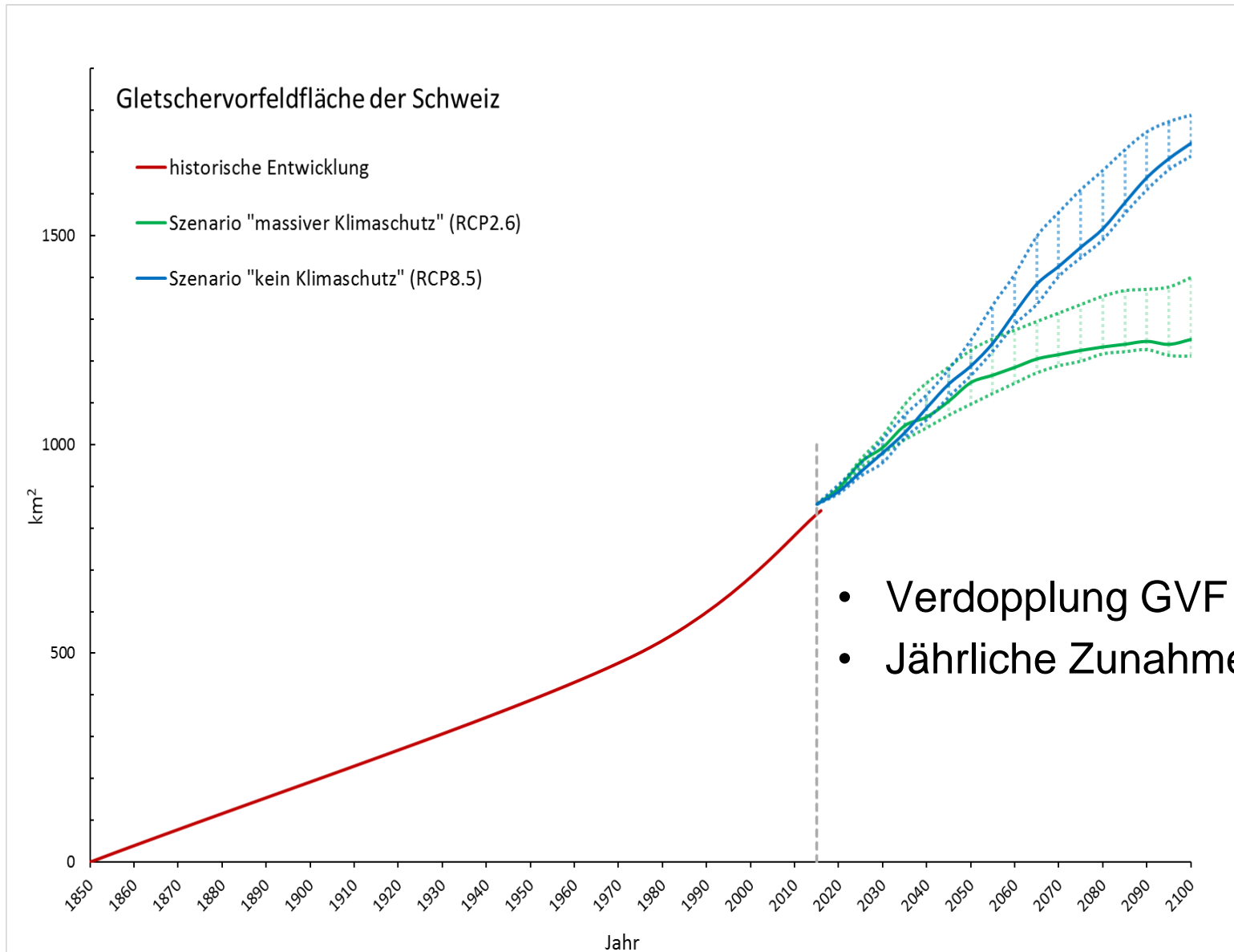


# Gletschervorfelder

- Bei vielen Projekten sind Gletschervorfelder betroffen
- Die Hälfte der heutigen GVF sind geschützt (430 km<sup>2</sup> von 842 km<sup>2</sup>)
- Heute werden von der Wasserkraft 4 km<sup>2</sup> = 0.9% beeinträchtigt



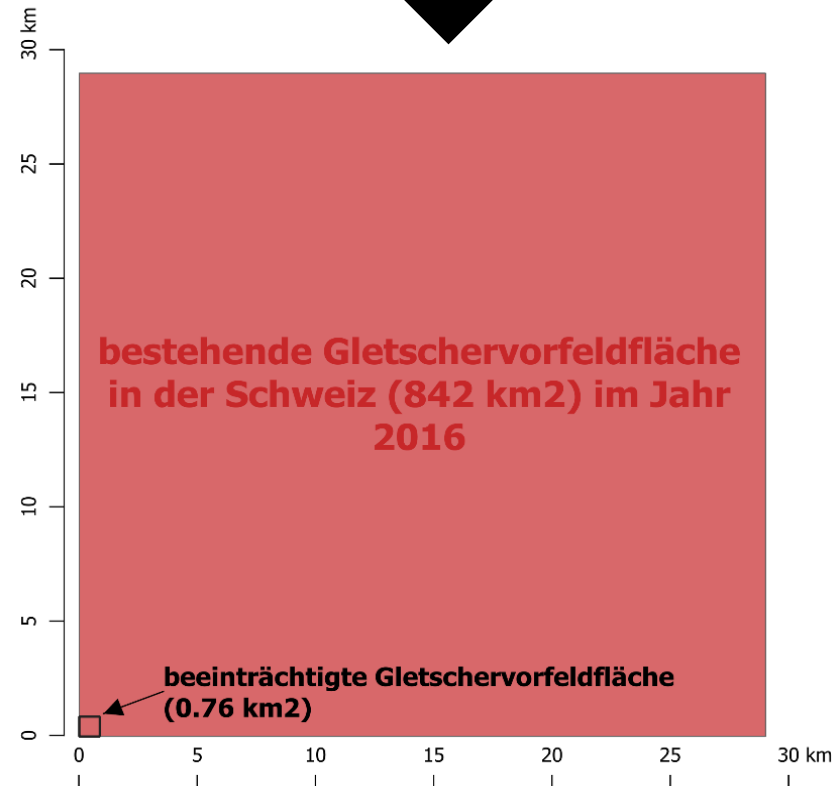
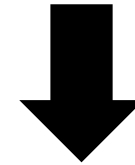
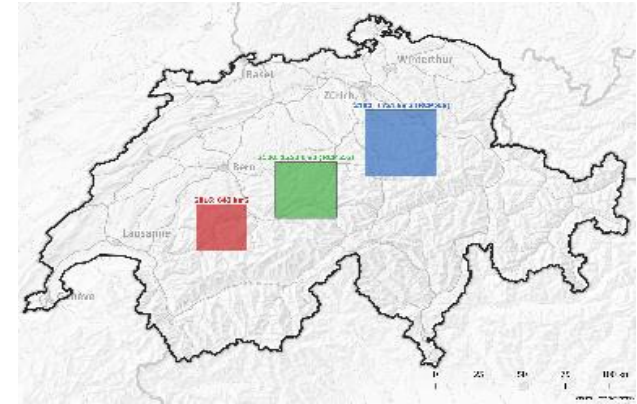
# Entwicklung Gletschervorfelder in der Schweiz





# GVF Projekt Trift

- Einstafläche 0.8 km<sup>2</sup>
- 0.09% der GVF in der Schweiz
- Schweizweit innerhalb eines Monats neu gebildet (durchschnittlich)
- An der Trift innerhalb von 2 Jahren neu gebildet



# GVF Projekt Trift

- Baubeginn 2024 → KWO sofort einverstanden 😊
- Inbetriebnahme 2036 → ganz so langsam sind wir Berner dann doch nicht 😊



# Wo drückt der Schuh sonst noch ...

- Realisierung von Projekten
  - Sehr **langwierig**
  - Grosse **Planungsunsicherheit** hinsichtlich Schutzgebieten und Einsprachen
  - Ökonomische Perspektive häufig nicht langfristig
- Ablauf von rund **90%** der Konzessionen bis 2050
  - Hohe ökologische Anforderungen bei künftiger Restwasserabgabe → **Produktionseinbussen von > 10%** zu erwarten
  - Bei abzusehendem Heimfall **geringe Investitionsbereitschaft** bisheriger Aktionäre



## 2. Restwassersanierung Massnahmen (Umsetzung ab 2013)

- Restwasserabgabe an 12 Fassungen
- Nutzungsverzicht eines Gewässers
- Sanierung Fischgängigkeit (→ Fischlift)
- Dotierung Geschiebe



# Restwassersanierung

## Zusammenfassende Ergebnisse Fischökologie

Fassung	Fisch-dichte	Populations- struktur	Reproduktion
Wenden+Stein	++	+	+
Furen	++	0	0
Hopflauenen	Seeforelle neu im unteren Gadmerwasser		
Engstlenbach	0	0	+
Leimboden	0	0	0
Räterichsbodensee	++	+	+
Handeck	+	+	++

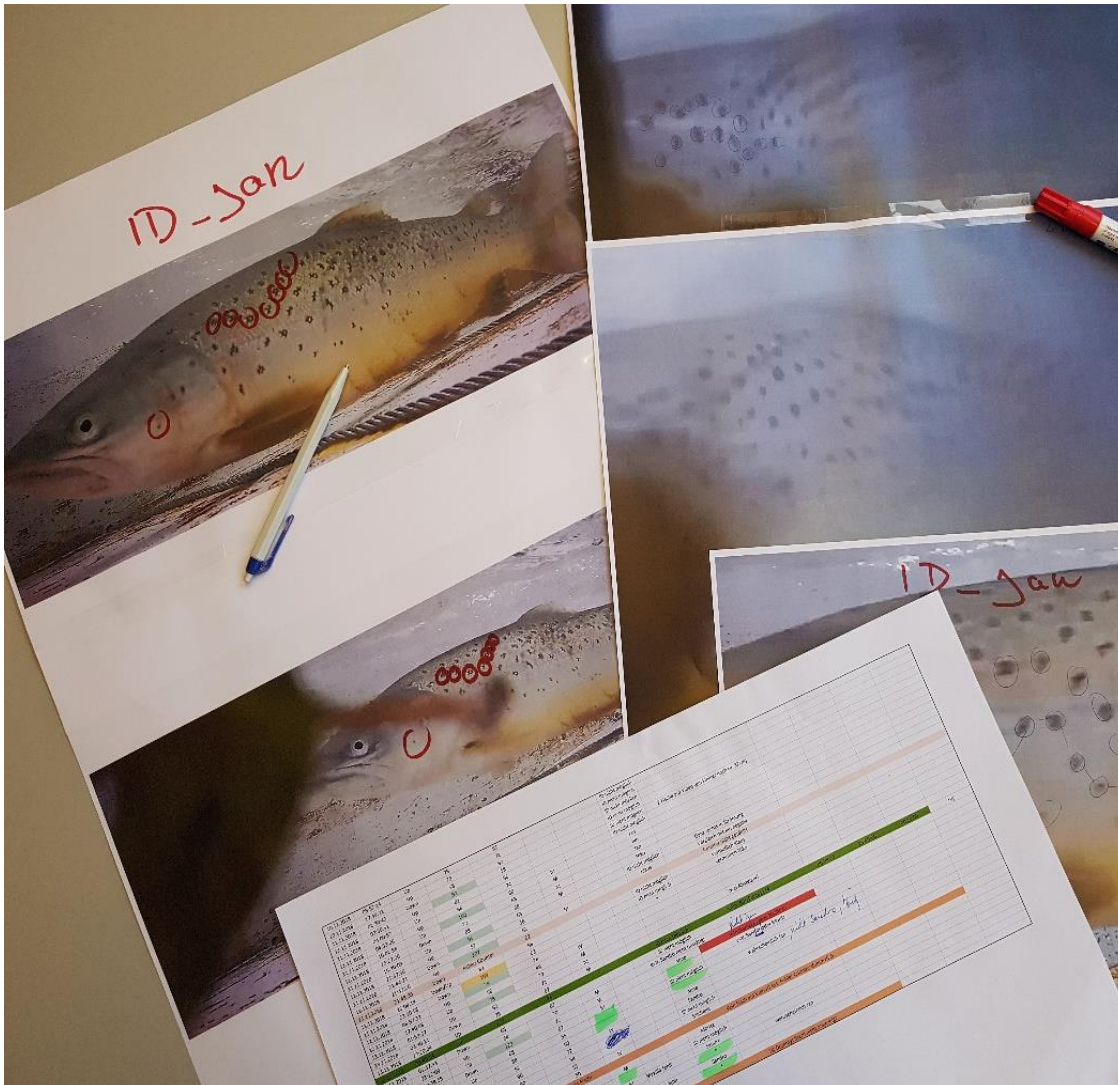
# Zwei Seeforellenzählanlagen in der Hasliaare (Restwasserstrecke, Distanz 300 m)

*Masterarbeiten Greter (2021) und Reuther (2022)*  
**BOKU + ZHAW**

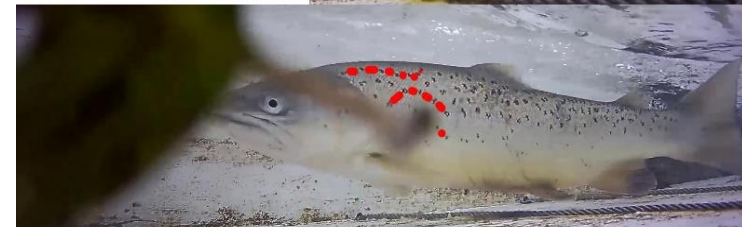


# Restwassersanierung

Individuenscharfes Monitoring  
(inkl. Namensgebung)



ID\_Jan, 04.11.18 (13:28:21)



ID\_Jan, 04.11.18 (13:31:35)

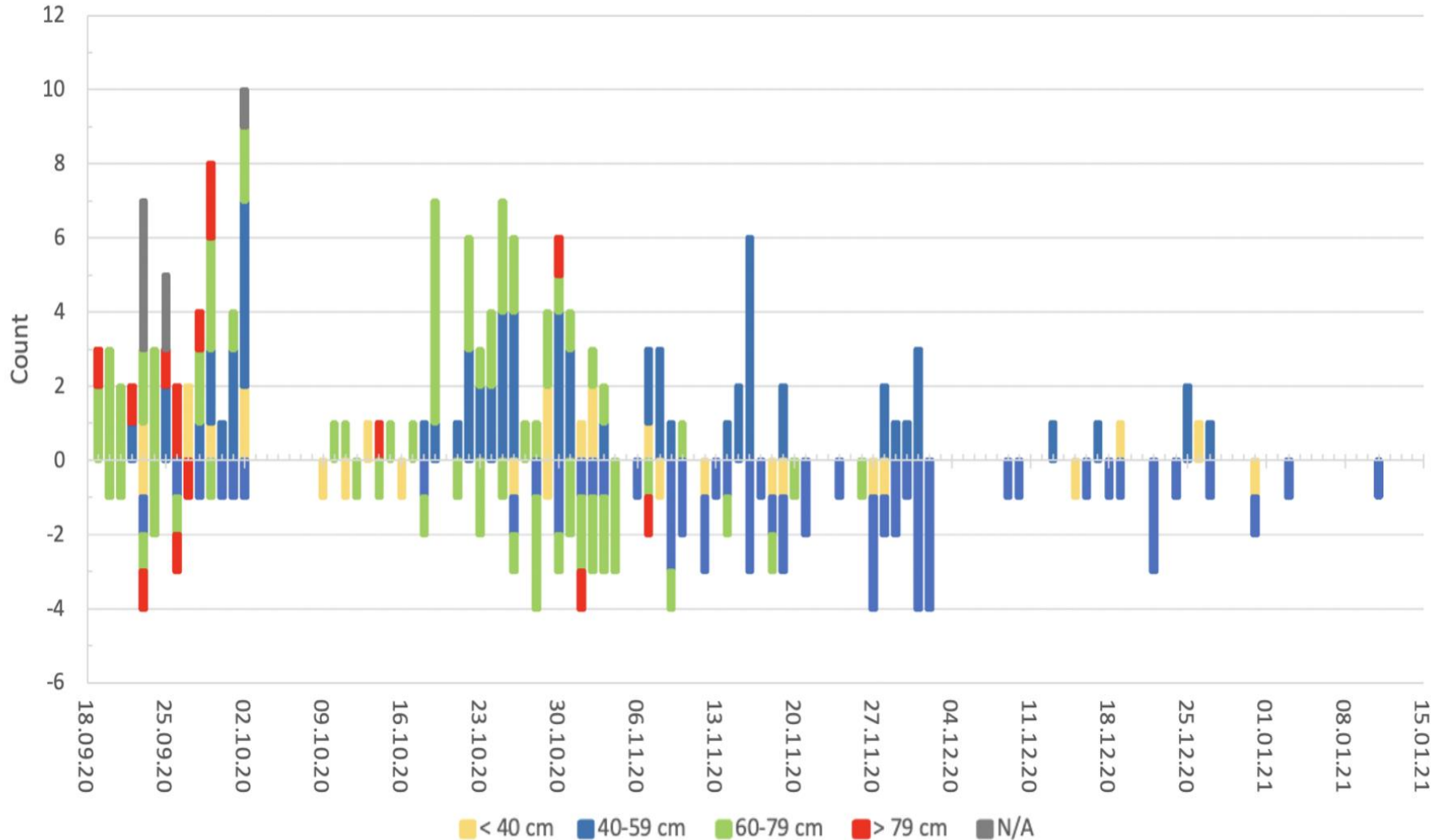


ID\_Jan, 07.11.18 (14:18:08)



ID\_Jan, 04.11.18 (15:39:12)

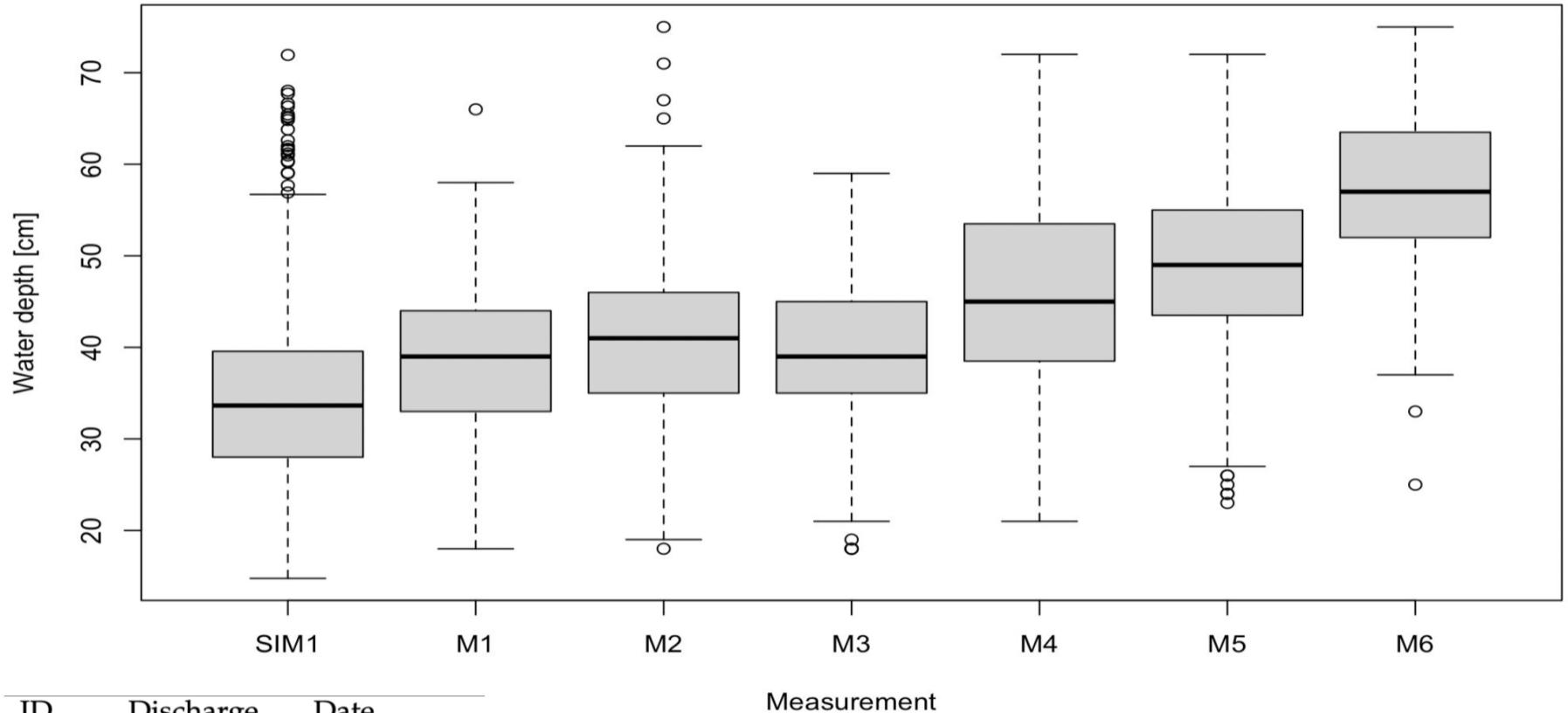
# Ergebnisse Auf- und Abstieg Laichsaison 2021/22





# Ergebnisse Auf- und Abstieg

Water depths between RFC 1 and 2  
along the measured migration corridor



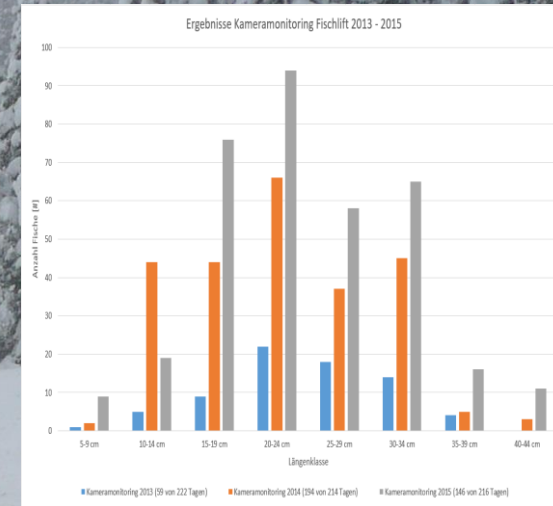
ID	Discharge [m <sup>3</sup> /s]	Date
SIM1	1.00	
M1	1.99	19.12.2020
M2	2.16	30.11.2020
M3	2.41	24.11.2020
M4	3.20	10.11.2020
M5	3.72	20.10.2020
M6	5.38	30.10.2020

# Schlussfolgerungen des Seeforellen-Monitorings

- Stabile Population
  - Jeweils rund 130 Individuen eindeutig bestimmt
  - 2/3 Rogner, 1/3 Milchner
- Abfluss und Wassertiefen nicht limitierend für Wanderung
- Wandergeschwindigkeit: 1.5 h je 100 m für Aufstieg und 0.8 h je 100 m für Abstieg
- Wanderung fast nur in der Nacht + Dämmerung
- Wichtige Grundlagen zur Bestimmung von **angemessenen Restwassermengen** (in Anwendung bereits für Kander, Simme, Chirel)



# Fischlift Führen



- Vernetzung Bachforellengewässer 1.5 km & 3 km
- Kameramonitoring bei jeder Liftfahrt
- Alle Grössenklassen vertreten
- Anzahl beförderte Bachforellen = Population unterer Abschnitt

# 3. Ein-Jahres-Monitoring Schwallenanierung



Bild: Markus Zeh



Bild: Andrea  
Bernhardt

Zwischenspeicher  $V = 80'000 \text{ m}^3$   
zwischen Turbinen und Wasserrückgabe

# Ersatzmassnahme "Musterstrecke" unterhalb Wasserrückgabe



Belebtsteingruppen

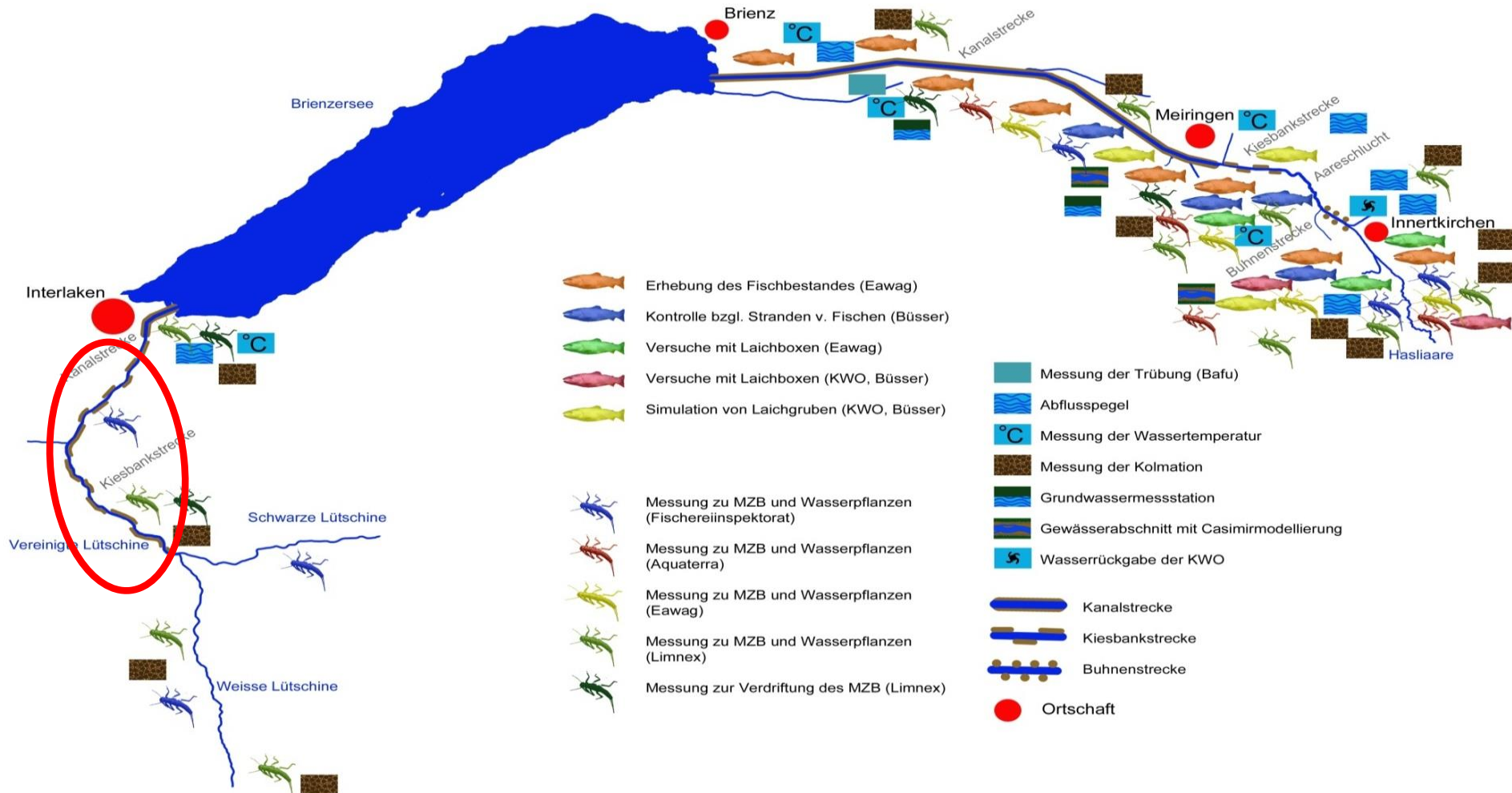
Hakenbühne

Wurzelstöcke

Baumstämme

# Monitoring Schwallisanierung

## Datengrundlage



# Monitoring Schwallsanierung

## Makrozoobenthos, Kolmation, Wassertemperatur

Indikator	Vor Sanierung	Nach Sanierung
MZB Biomasse	Yellow	Blue
MZB Artenvielfalt	Green	Green
MZB Standortgerecht	Green	Blue
Kolmation	Green	Green
Wassertemperatur	Green	Green

- Sehr gut
- Gut
- Mässig
- Unbefriedigend
- Schlecht



# Monitoring Schwallsanierung

## Fische

Indikator	Vor Sanierung	Nach Sanierung
Stranden		Mit optimierter Steuerung
Verlaichung		
Jungfische		Nächste Folie

Lütschine naturnah
Nicht erhoben
Referenz



# Jungfische

- Bei bestehender Morphologie keine Habitate bei  $Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$
- Natürlicher Abfluss im Mai  $> 70 \text{ m}^3/\text{s}$
- Bewertung anhand von mehreren E-Befischungskampagnen
- Lütschine naturnah = sehr gut

Lütschine naturnah		Lütschine Kanal	
Sö	1+	Sö	1+

Aare Instream		Aare Kanal	
Sö	1+	Sö	1+

Sö = Sömmerling, 1+ = einjährig

# Monitoring Schwallsanierung PLUS

## Emergenzversuche

→ Wann & Wie schlüpfen die Bachforellen?



Erste Seeforellen-Laichgrube 27.10.17



Letzte Laichgrube 25.11.2017.



# Monitoring Schwall-Sunk PLUS

## Emergenzbox – tägliche Kontrolle



# Monitoring Schwall-Sunk PLUS

## Einteilung der emergierten Brütlinge

**Grosser Dottersack**  
-> **klebten am Käfig**



**Kleiner Dottersack**  
-> "fangbar"



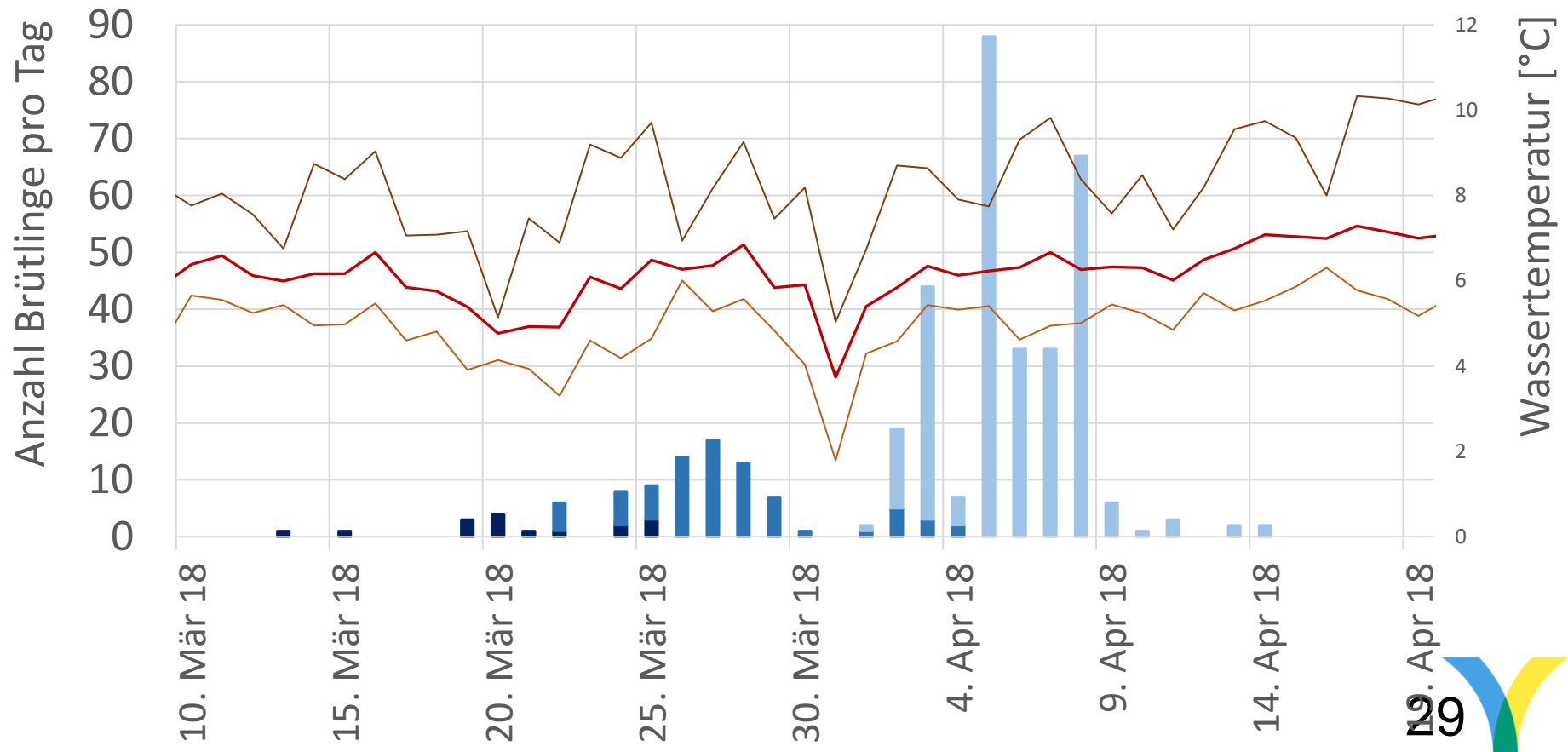
**Kein Dottersack**  
-> mit "List"  
fangbar



# Monitoring Schwall-Sunk PLUS

## Ergebnisse früheste Laichgrube

- Anzahl Brütlinge (grosser Dottersack)
- Anzahl Brütlinge (kleiner Dottersack)
- Anzahl Brütlinge (ohne Dottersack)



# Was passiert eigentlich in natürlichen Systemen ???

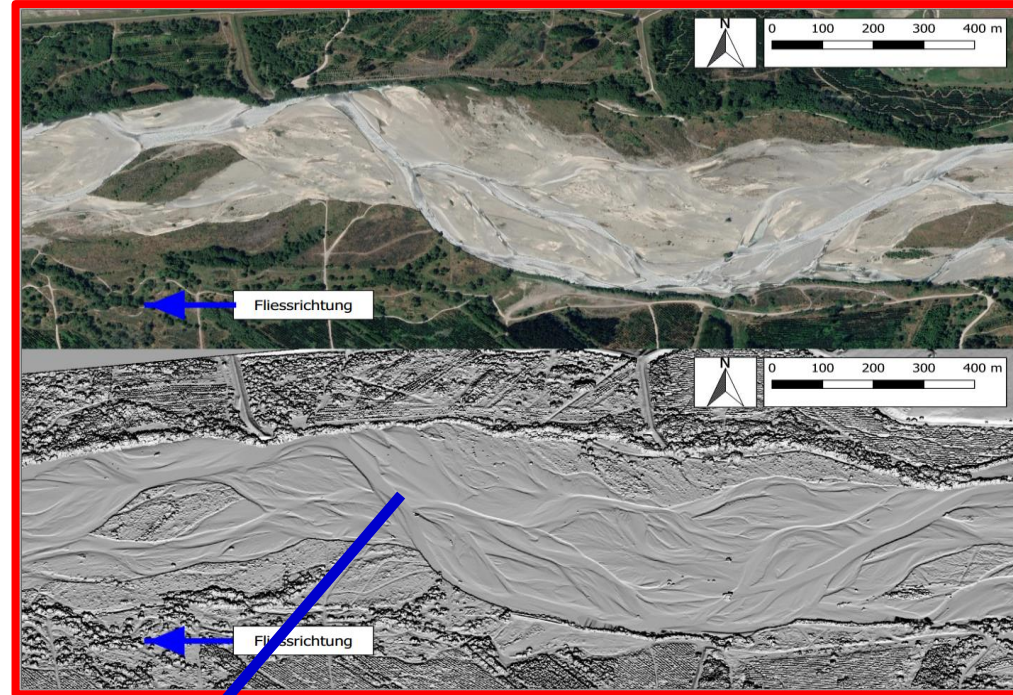
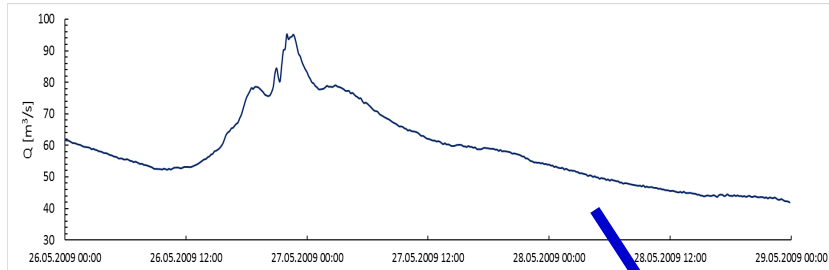
Herleitung Natürliches

Abflussregime mit Abflussdaten

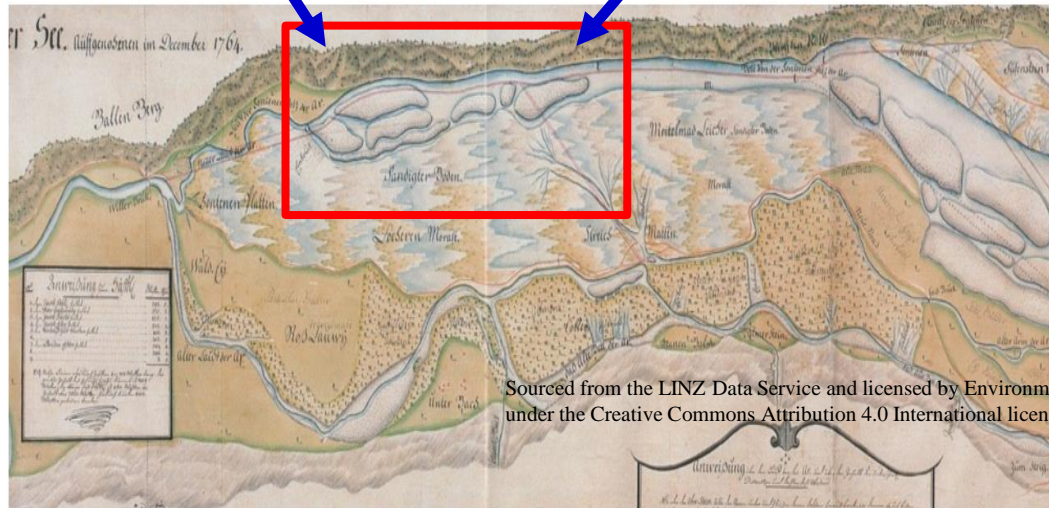
Lütschine (MQ  $\approx 20 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und

Hasliaare vor KWO

Ashley River (Neuseeland) MQ=28 m<sup>3</sup>/s



Hasliaare Anno  
"dazumal"  
MQ = 35 m<sup>3</sup>/s



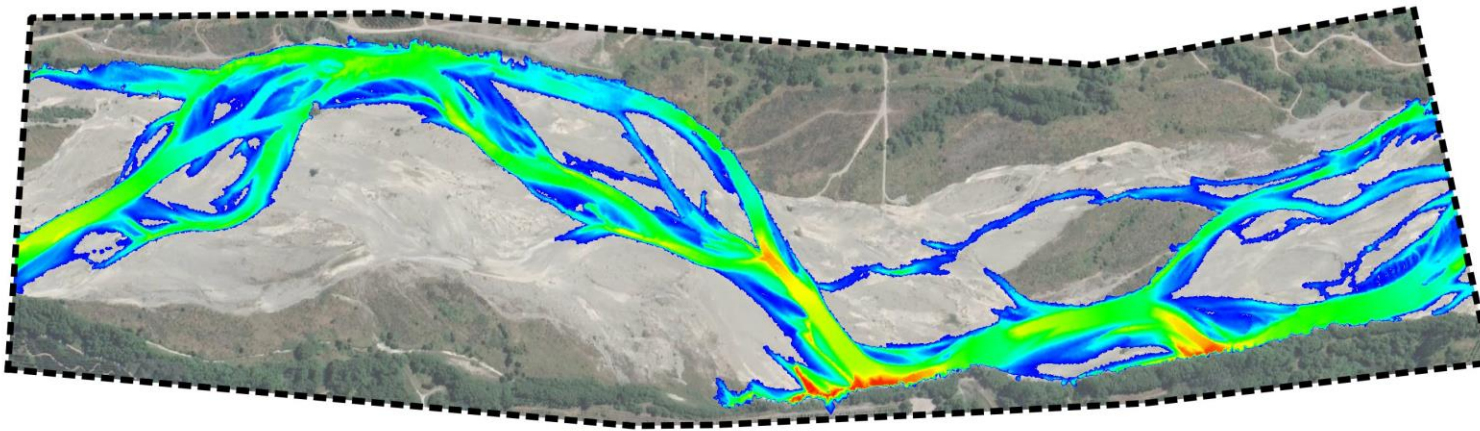
Sourced from the LINZ Data Service and licensed by Environment Canterbury Regional Council, for re-use under the Creative Commons Attribution 4.0 International licence



# Hydraulische Modellierung mit Basement

Simulation der Fliesstiefen bei 30 m<sup>3</sup>/s

0 500 1000 1500 2000 m

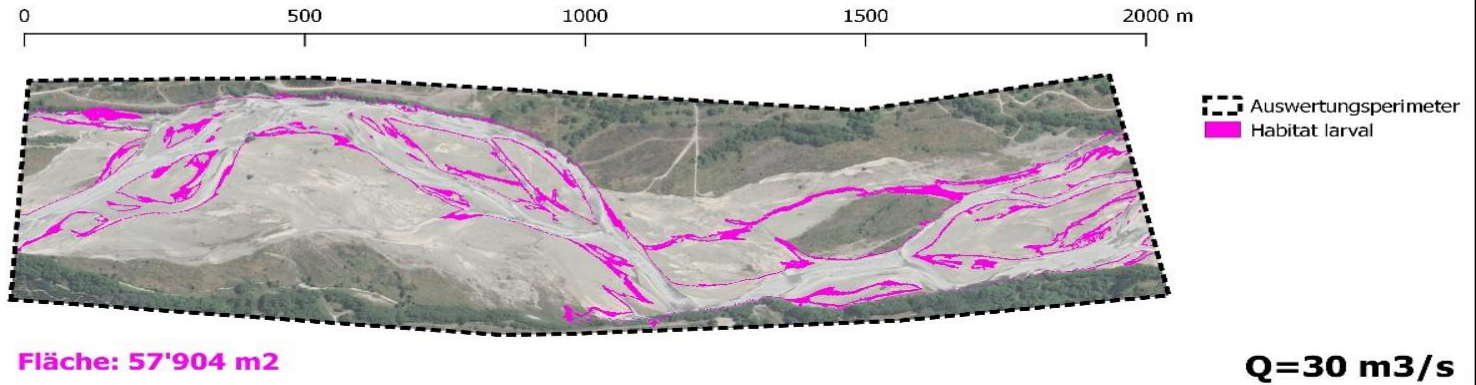


- ▣ Auswertungsperimeter  
Fliesstiefe [m]
- 0.001
  - 0.375
  - 0.750
  - 1.125
  - 1.500

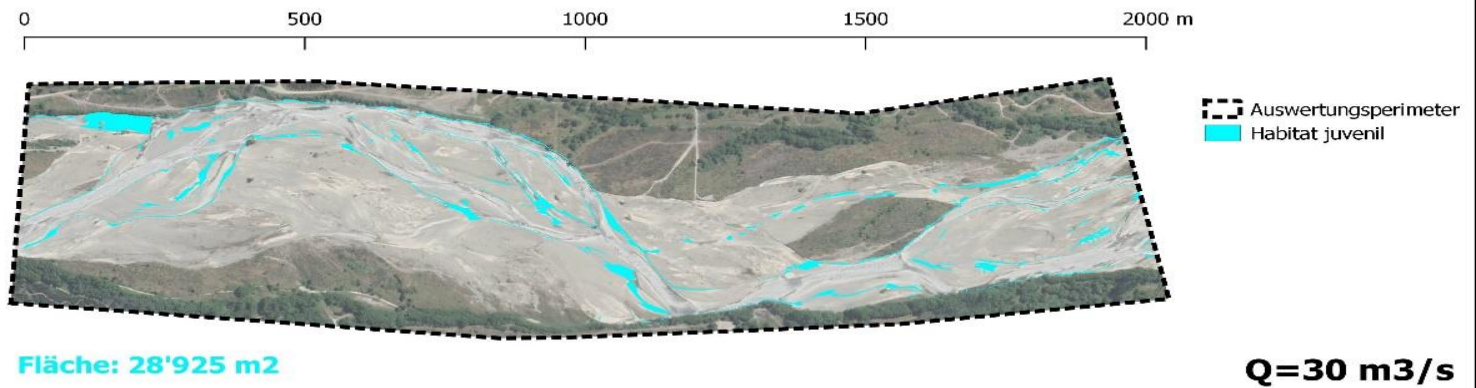
**Q=30 m<sup>3</sup>/s**

# Hydraulisches Modell + Präferenzkurven

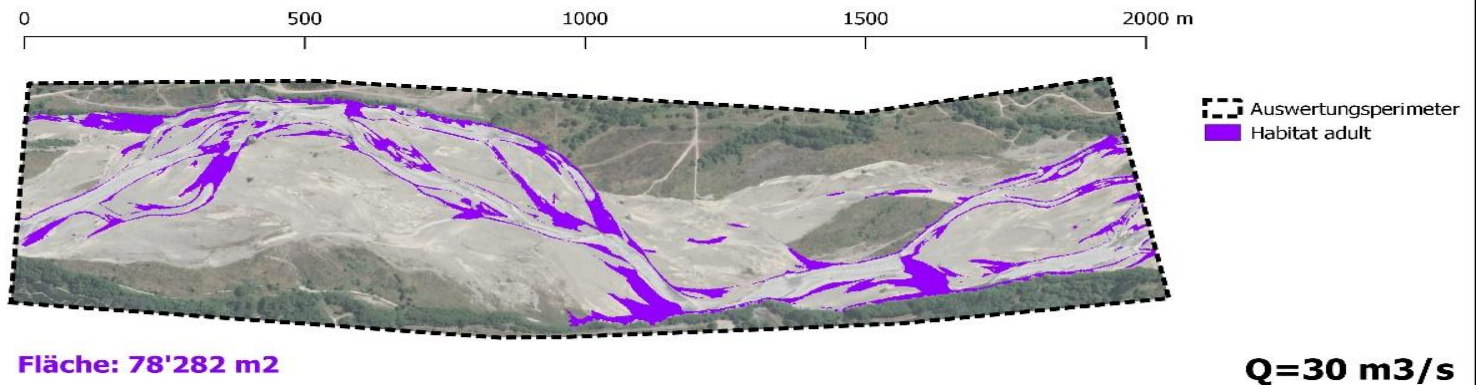
Larven



Juvenile



Adulte

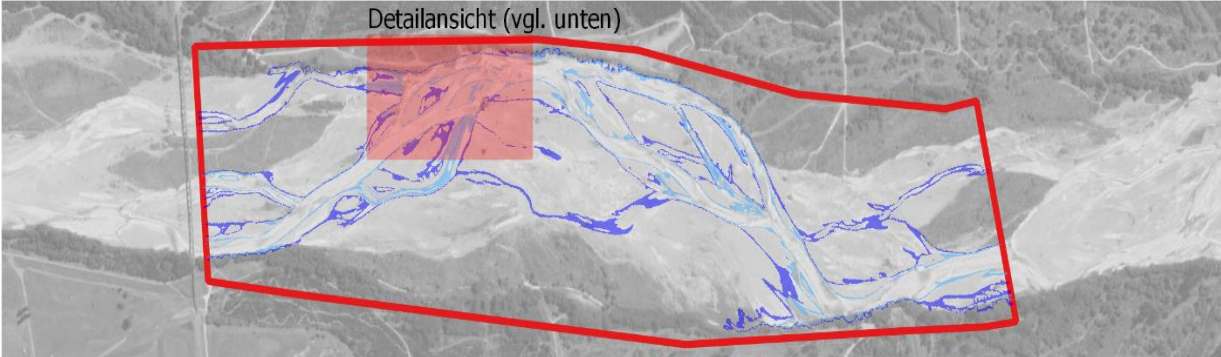




# Larval-Habitate im März-April für natürliches Abflussregime vs. Schwall-Sunk-Regime

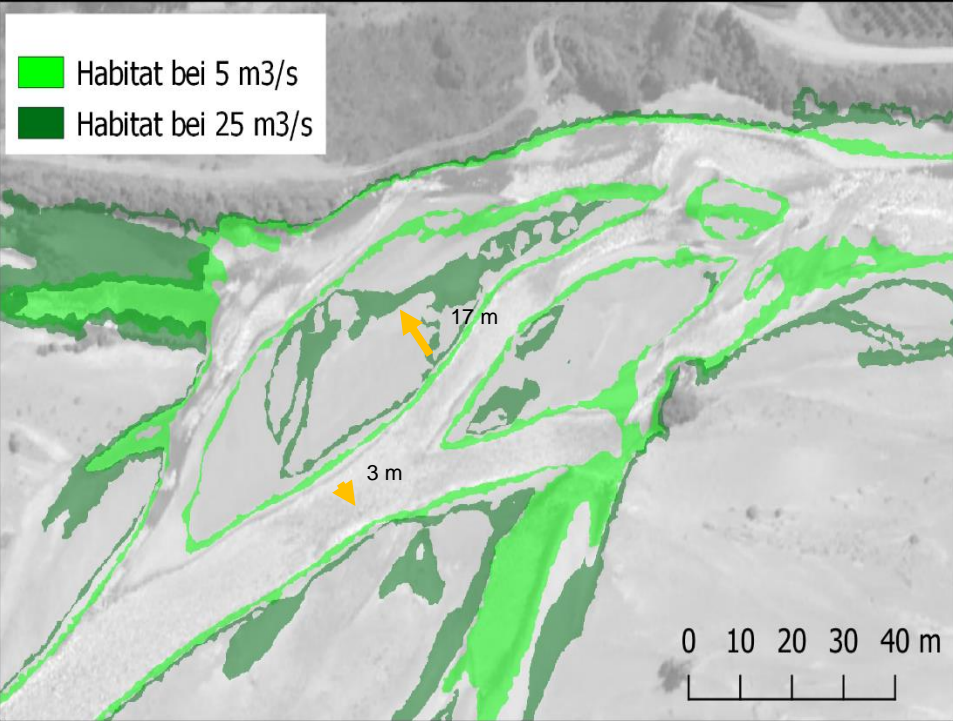
**Altersstadium: larval**

Gewässer: Hasliaare  
Abschnitt: natürliche Morphologie  
Saison: Frühling (März-April)  
Perzentile: 20% / 80%



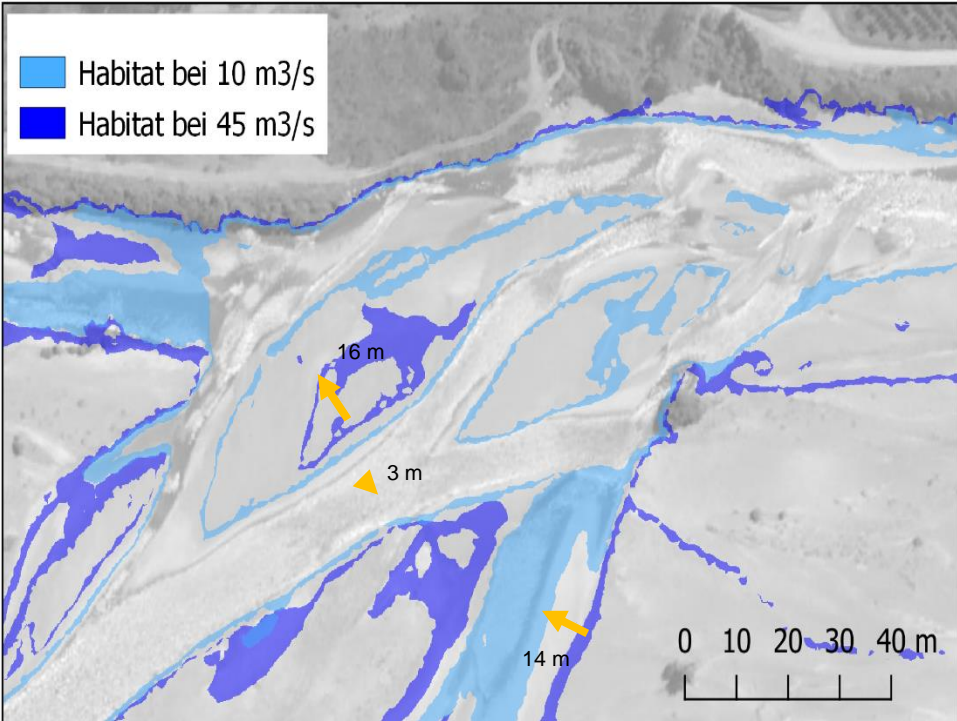
**geeignete Habitate bei natürlicher Hydrologie**

**Light Green:** Habitat bei 5 m<sup>3</sup>/s  
**Dark Green:** Habitat bei 25 m<sup>3</sup>/s



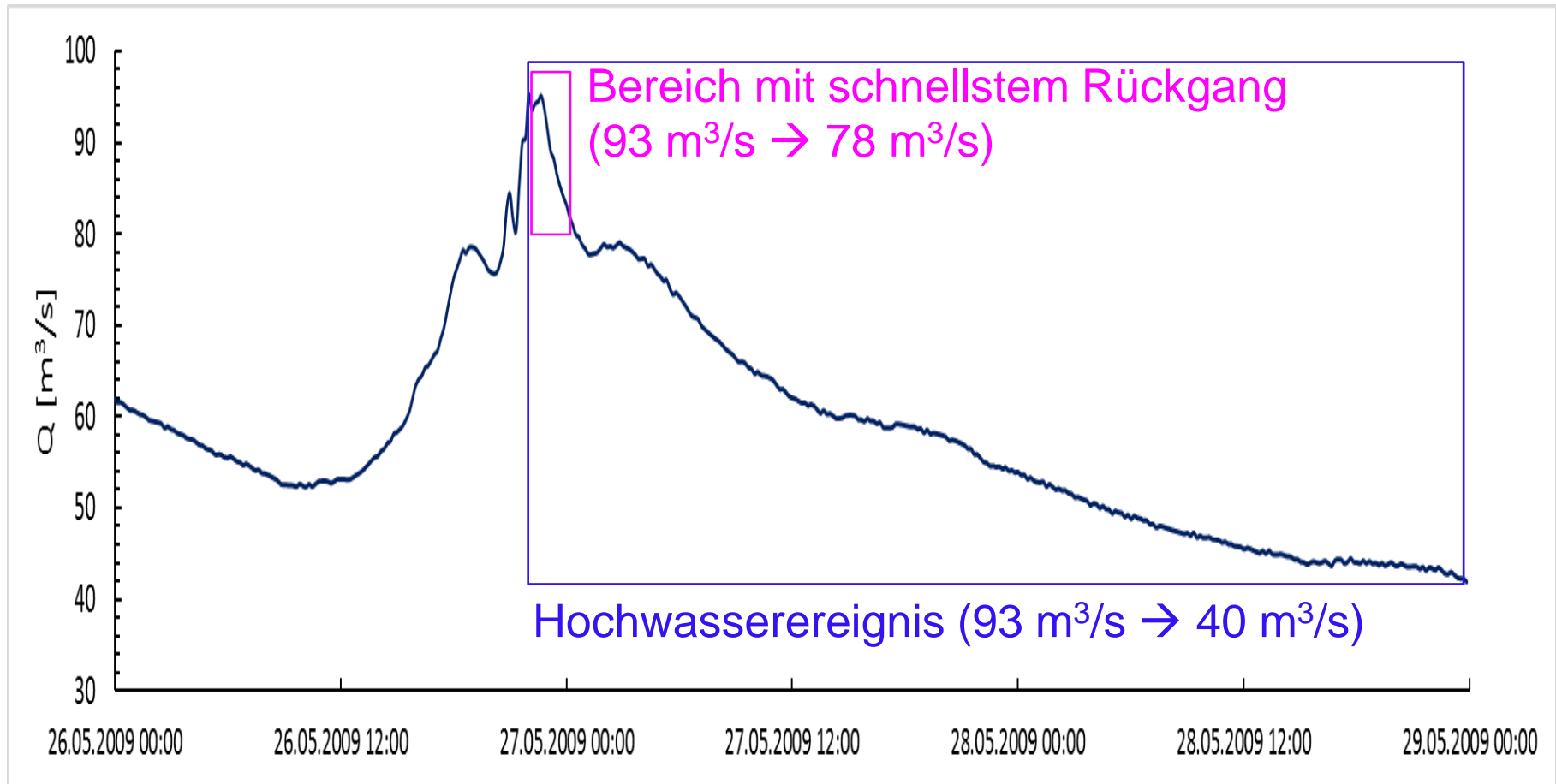
**geeignete Habitate bei Schwall-Sunk Regime**

**Light Blue:** Habitat bei 10 m<sup>3</sup>/s  
**Dark Blue:** Habitat bei 45 m<sup>3</sup>/s



# Natürliches Strandungsrisiko bei Hochwasserereignissen

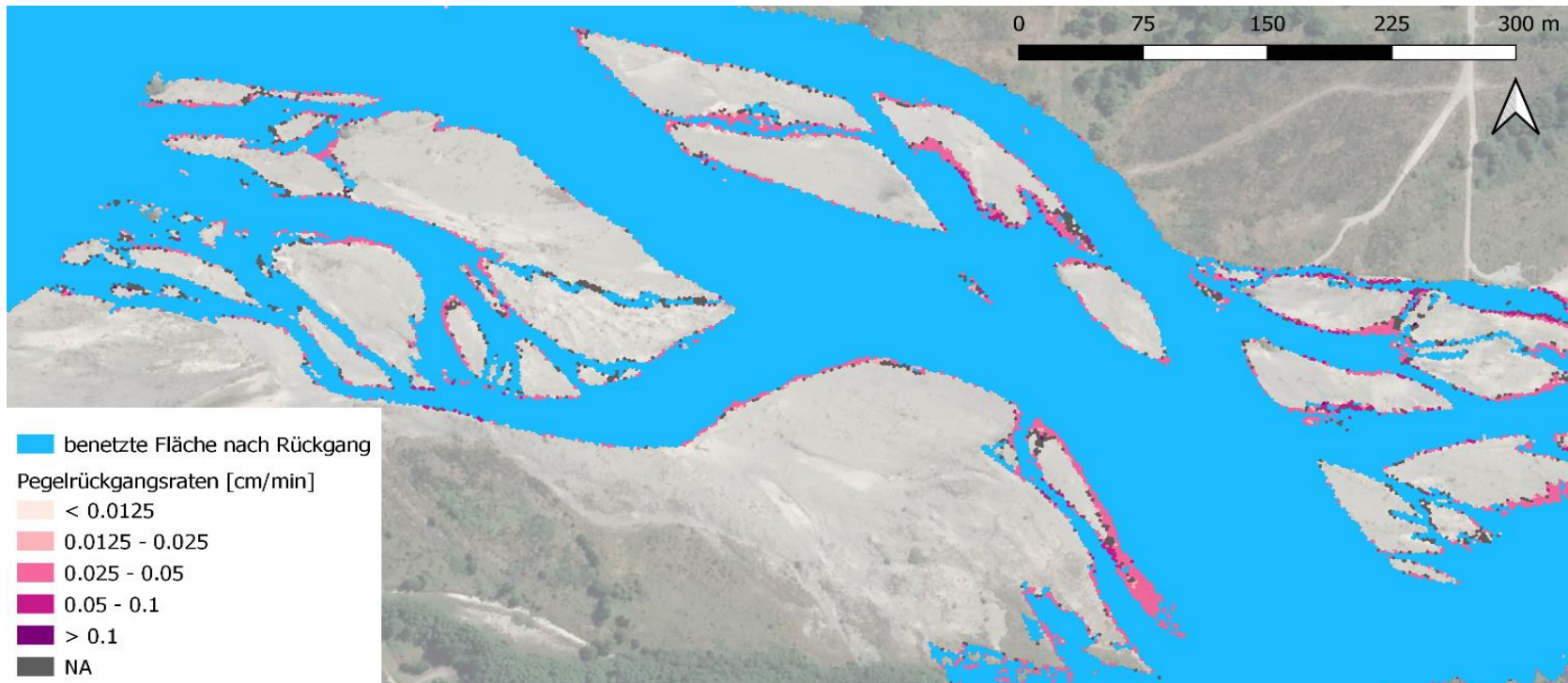
- Analyse für Hochwasserereignis mit schnellstem gemessenem Abflussrückgang (2009-2019)



# Natürliches Strandungsrisiko bei Hochwasserereignissen

## Untersuchung der Pegelrückgangsraten

- Fokus auf Bereich mit schnellstem Abflussrückgang ( $93 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 78 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- Abflussrückgangsrates  $= -0.08 \text{ (m}^3/\text{s)/min}$
- Dauer rund 3h



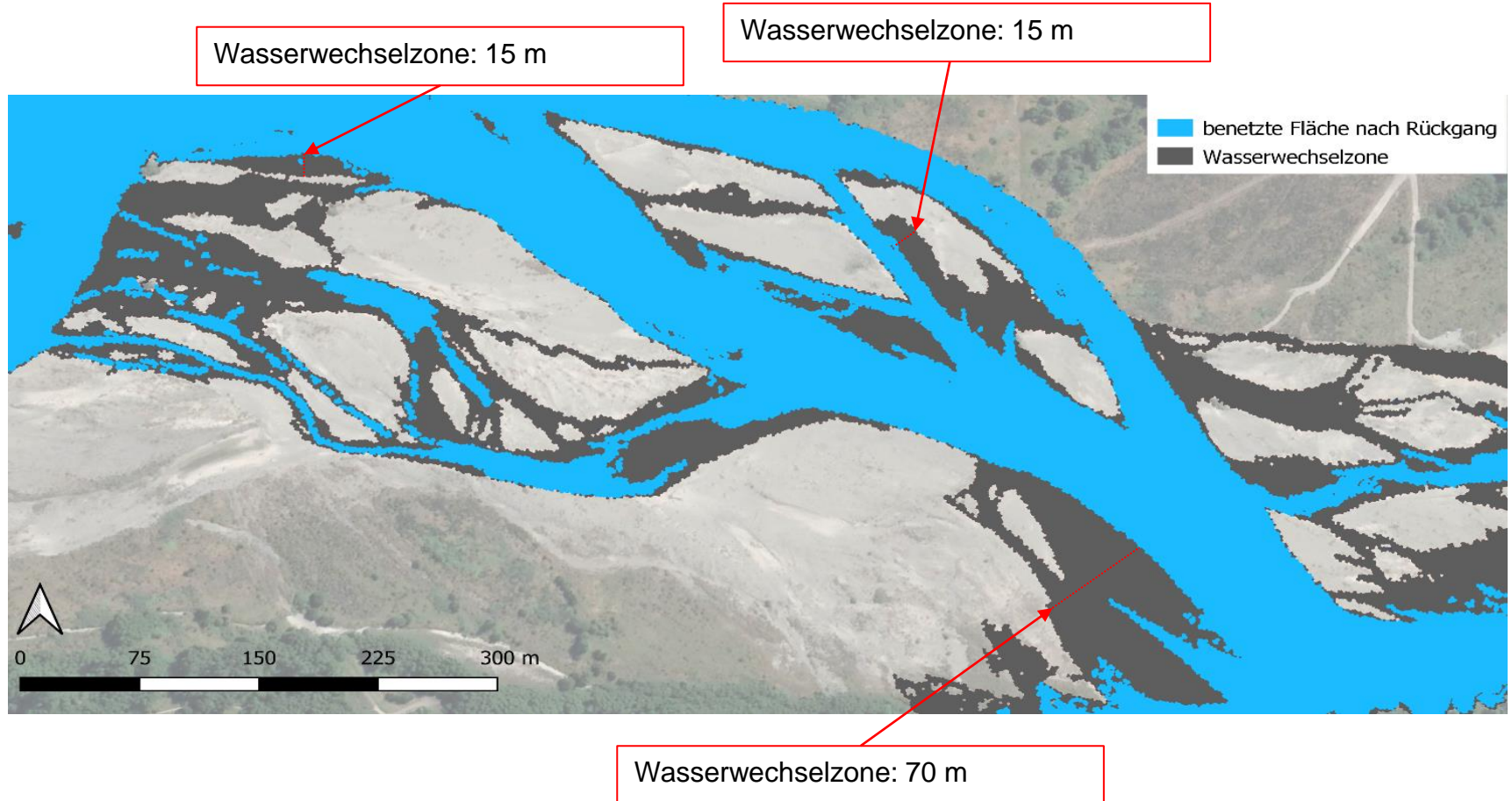
→ **80%** der berechneten Pegelrückgangsraten (pro Modellzelle ein Wert) sind kleiner als  $-0.05 \text{ cm/min}$

# Natürliches Strandungsrisiko bei Hochwasserereignissen

## Untersuchungen der Wasserwechselzone

→ Betrachtung des ganzen Hochwasserereignisses ( $93 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 40 \text{ m}^3/\text{s}$ )

→ Dauer rund 48 h



→ Wasserwechselzonen bis zu 70 m

# Fazit



*KWO-Slogan:  
"Wasserkraft in Partnerschaft mit der Natur"*

*→ Reibung erzeugt Energie ... nicht zu viel und nicht zu wenig 😊*

# Zielwerte bei der Wasserrückgabe

Parameter	Ökologische Relevanz	Zielwert (5 / 95%-Percentil)	Wert 1-Jahres-monitoring (5 / 95 %-Percentil)
Sunk-abfluss	Verfügbare Habitate	$> 3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$	$4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$
Schwall-rate	Verdriftung	$0.7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$	$0.8 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$
Sunkrate	Stranden	$-0.14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$	$-0.25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$

- Verbesserung der Durchflussmessungen
- Anpassungen am Steuerungsalgorithmus

# Monitoring Schwall-Sunk

## Kurzbeschreibung der Schwallstrecke

**Buhnenstrecke  
Innertkirchen**



**Breite: 25 m**

**Kiesbankstrecke  
Meiringen**



**Breite: 25 m**

**Kanalstrecke  
Meiringen-Brienz**



**Breite: 18 m**



# Strandungsversuche 2019 & 2021

- *Mit Wildfischen (Larven)*
- *Knapp 40 Versuche*
- *Wasserwechselzone (WWZ) bis 11 m*
- *Pegelrückgangsraten (PRR) zwischen 0.02 cm/min und 3 cm/min*
- *Wiederfinderate im Schnitt 95%*
- *Strandungsrisiko abhängig von WWZ und PRR*



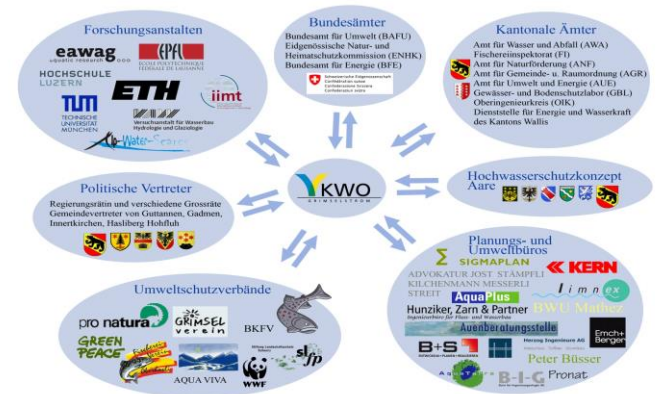


# Ausserdem bleiben wir ... im Gespräch mit unseren Anspruchsgruppen

am Ball ...

... angewandte Forschung zu Fragen

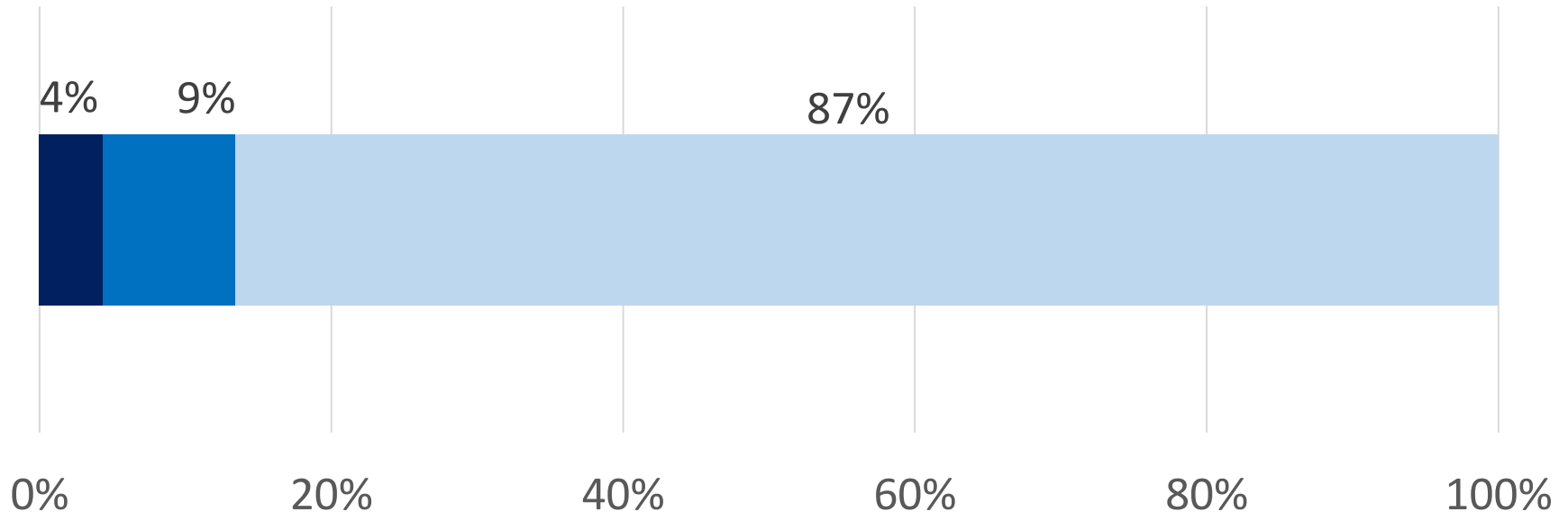
- Seeforellen in Lütshine (Master Meier 2023), Kander und Simme
- Emergenz von Bachforellen in Saane und Dreiwässerkanal (Master Wagner 2023)
- Sanierung Geschiebehaushalt
- Entwicklung Gletschervorfelder



# Monitoring Schwall-Sunk PLUS

## Emergency trials – Results

Total number of emerged rainbow trout larvae = 1554



■ Brütlinge mit grossem Dottersack ■ Brütlinge mit kleinem Dottersack

■ Brütlinge ohne Dottersack

# Restwassersanierung

## Monitoringprogramm nach 1 & 5 Jahren

- **Elektrobefischungen**  
(Büsser, FI, KWO)
- **Erhebungen Makrozoobenthos**  
(Limnex AG)



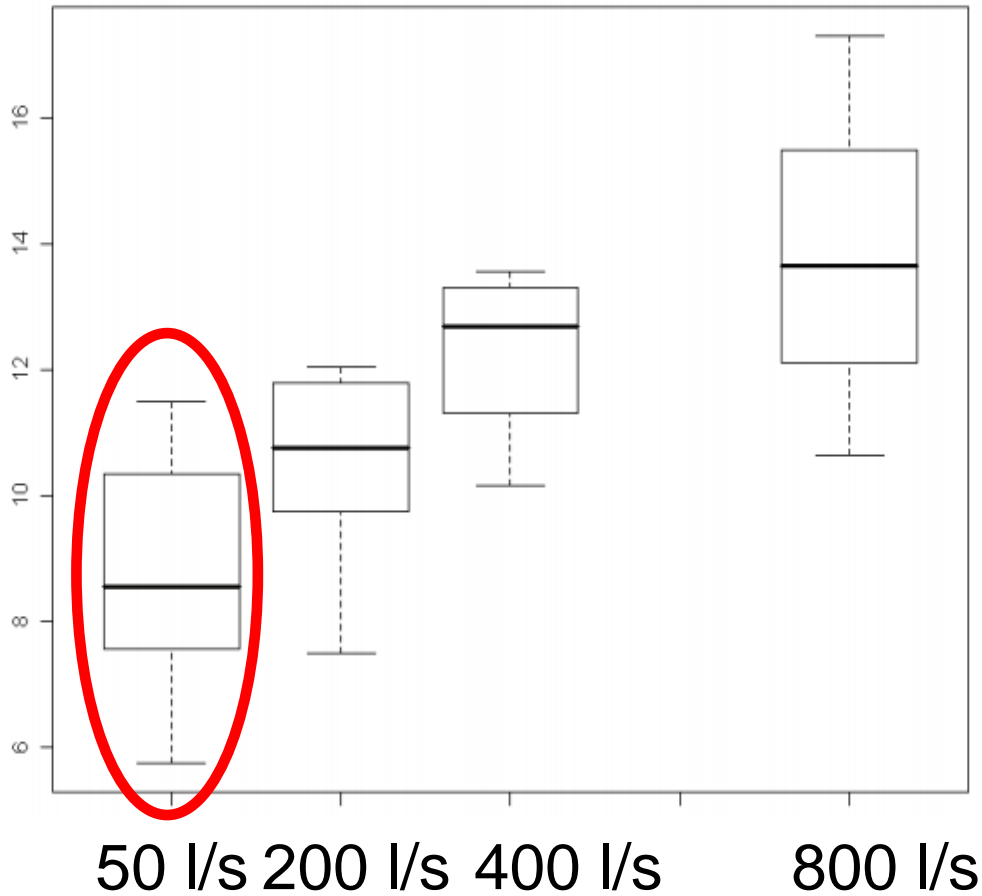
- **Abflussmessungen**  
(BWU)
- **Ökohydraulik (v,h,b) & Fotodokumentation**  
(Sigmaplan, KWO)

# Methodisches Vorgehen Bewertung Ökohydraulik

## Gadmerwasser, Chaistenlamm

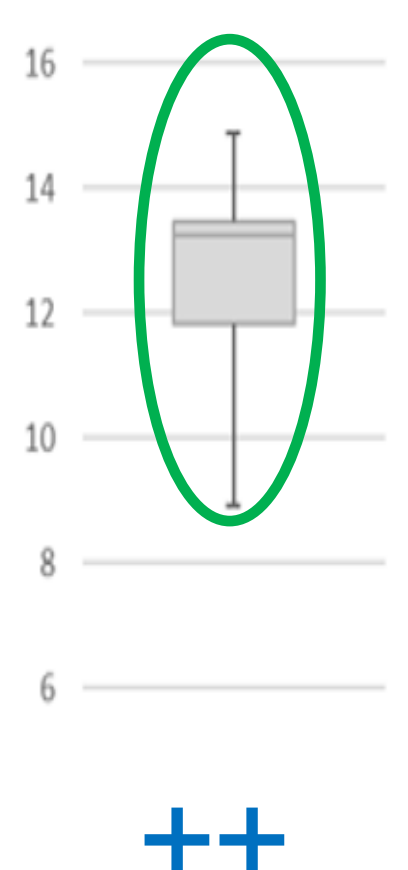
Dotierung vor Sanierung: 50 l/s

Benetzte Breite (m)



Dotierung nach Sanierung 300 l/s

Benetzte Breite (m)



++



# Restwassersanierung

## Ergebnisse Ökohydraulik wichtigste Fassungen

Fassung	Benetzte Breite	Max. Fließgeschwindigkeit	Tiefe	Be-merkungen
Wenden	++	+	0	
Stein	+	++	0	
Furen	0	++	+	
Hopflauenen	++	+	+	
Engstlenbach	0	++	+	
Leimboden	++	0	0	
Handeck	+	++	0	

<https://vimeo.com/354158427>



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

04/11/2018 13:28:31

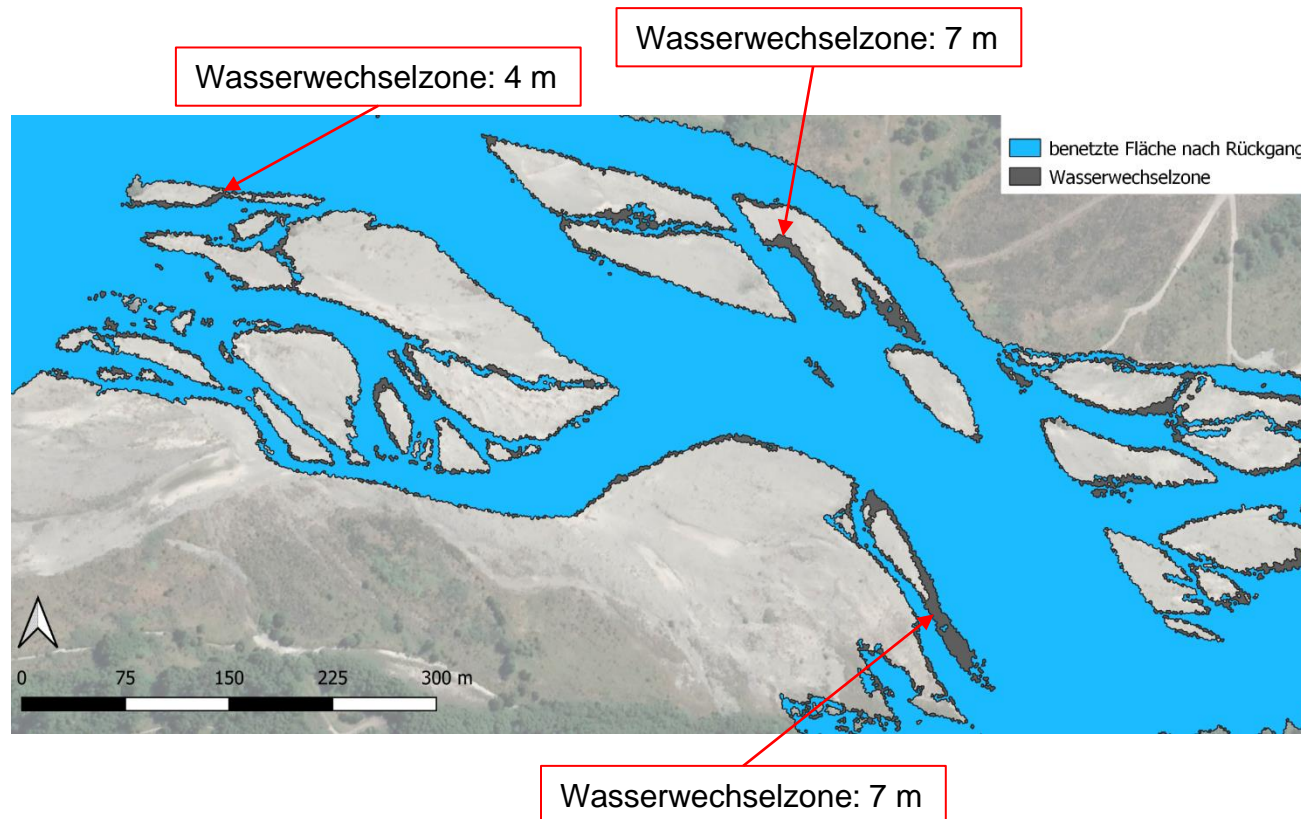
## Natürliches Strandungsrisiko bei Hochwasserereignissen

### Untersuchungen der Wasserwechselzone

→ Fokus auf den Bereich beim Hochwasser mit den **schnellsten Abflussrückgang** ( $93 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 78 \text{ m}^3/\text{s}$ )

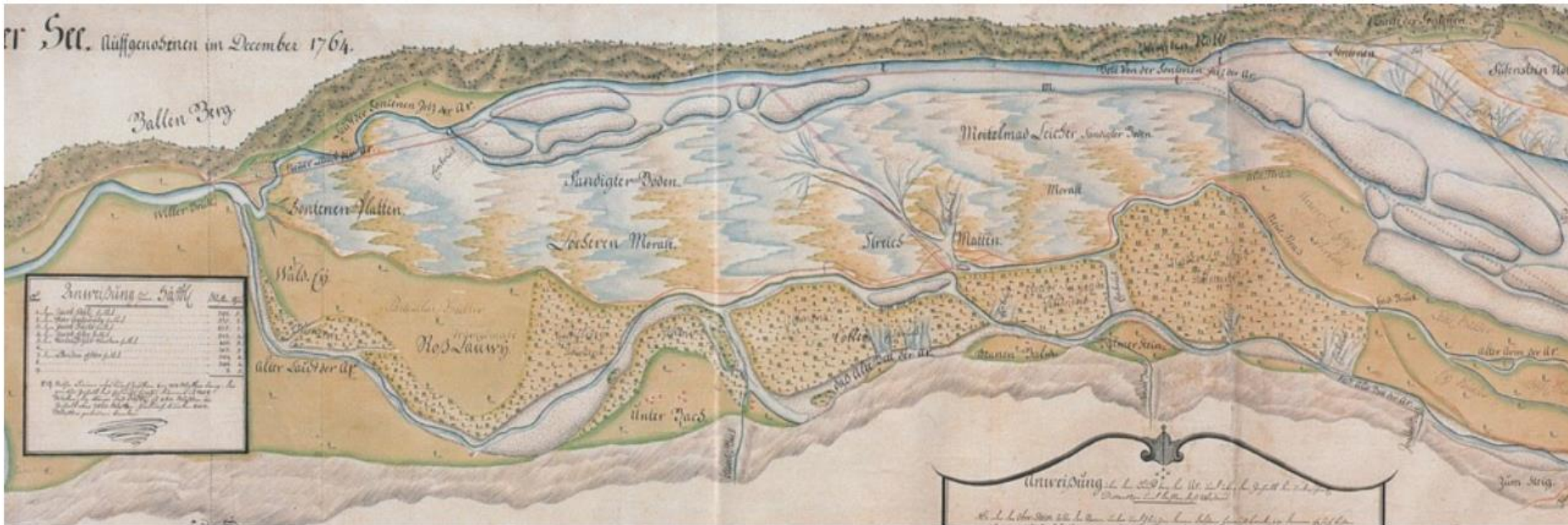
→ Abflussrückgangrate  $= -0.08 \text{ (m}^3/\text{s)/min}$

→ **Dauer rund 3h**



Die Simulation zeigt Wasserwechselzonen von mehreren Metern für die Phase des schnellsten Abflussrückganges in der Hochwasserganglinie.

# Gerinnemorphologie Hasliaare um 1764

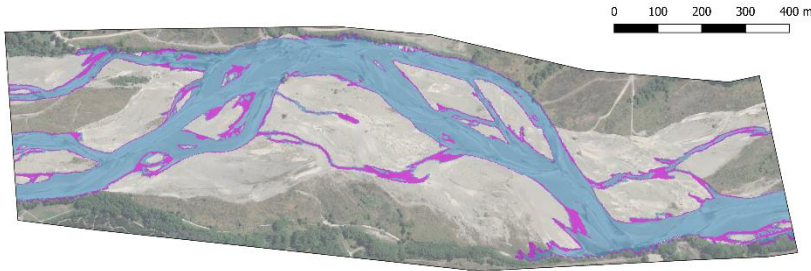


Wie soll diese natürliche Morphologie simuliert werden?

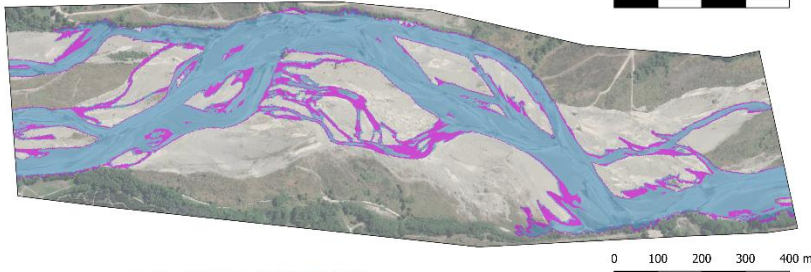


# Habitatmodellierung bei unterschiedlichen Abflüssen

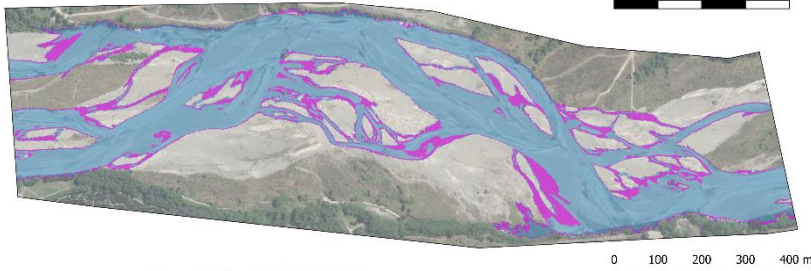
Q= 45 m<sup>3</sup>/s



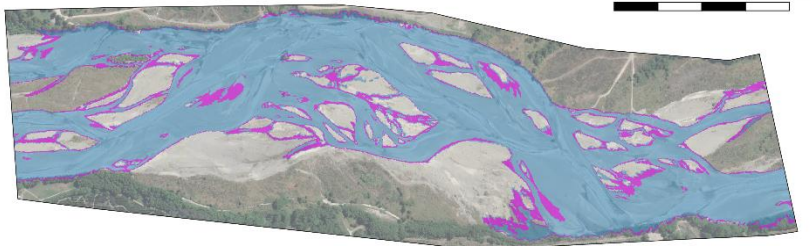
Q= 60 m<sup>3</sup>/s



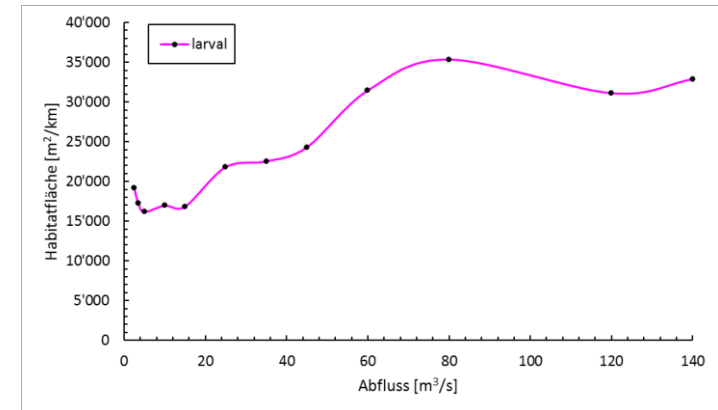
Q= 80 m<sup>3</sup>/s



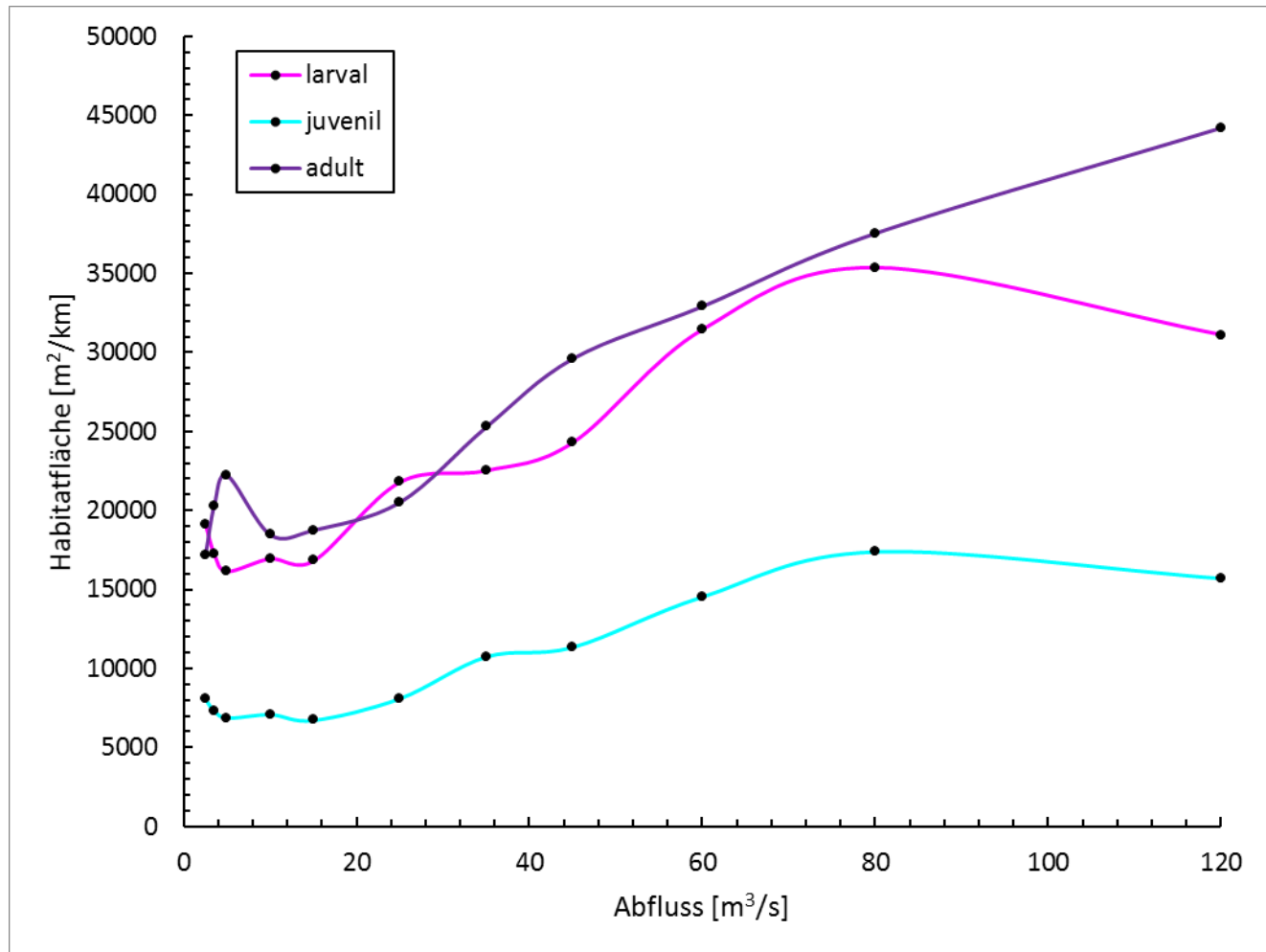
Q= 120 m<sup>3</sup>/s



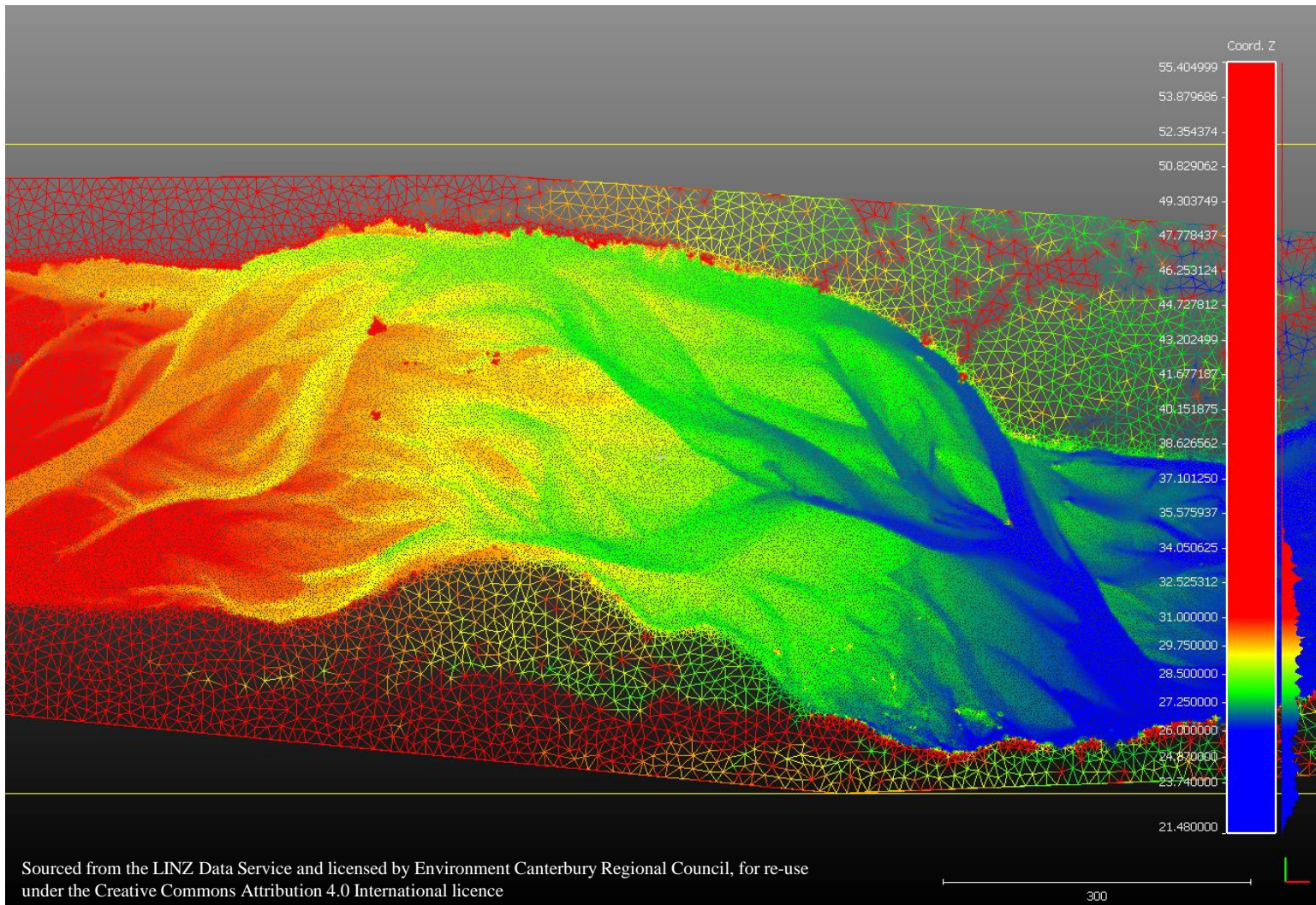
larval Habitat  
benetzte Fläche minus Larvalhabitat



# Habitatkurven



# natürliche Morphologie

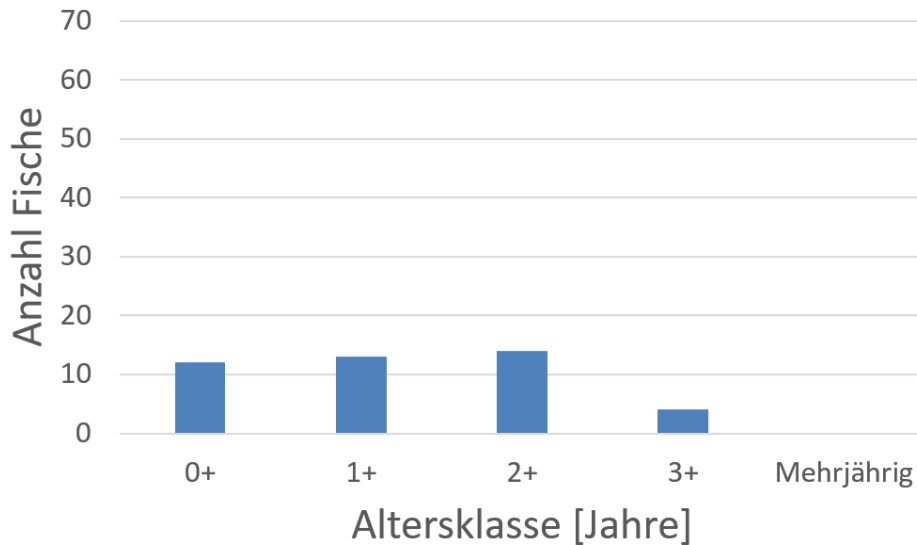


Sourced from the LINZ Data Service and licensed by Environment Canterbury Regional Council, for re-use under the Creative Commons Attribution 4.0 International licence

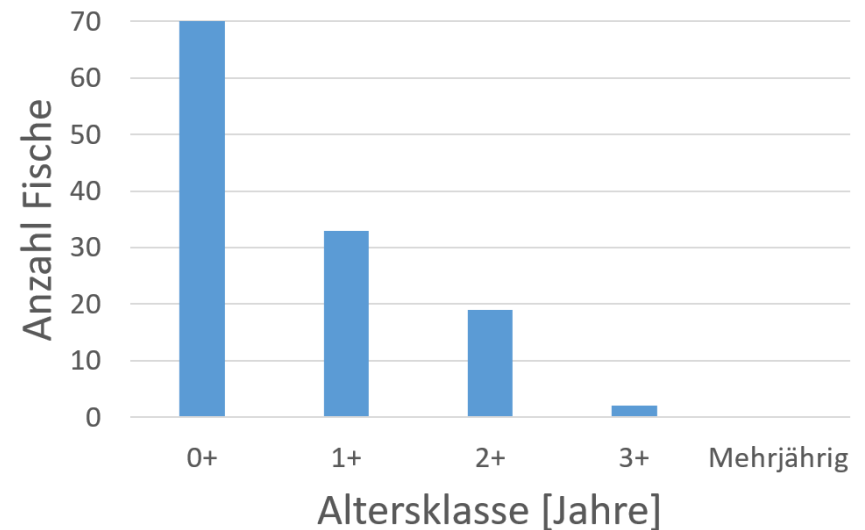
# Beurteilung Fische

## Beispiel Fische: Aare, Rotlauri

Vor Sanierung (27.01.2012)



Nach Sanierung (13.08.2018)



Fischdichte: +

Populationsstruktur: ++

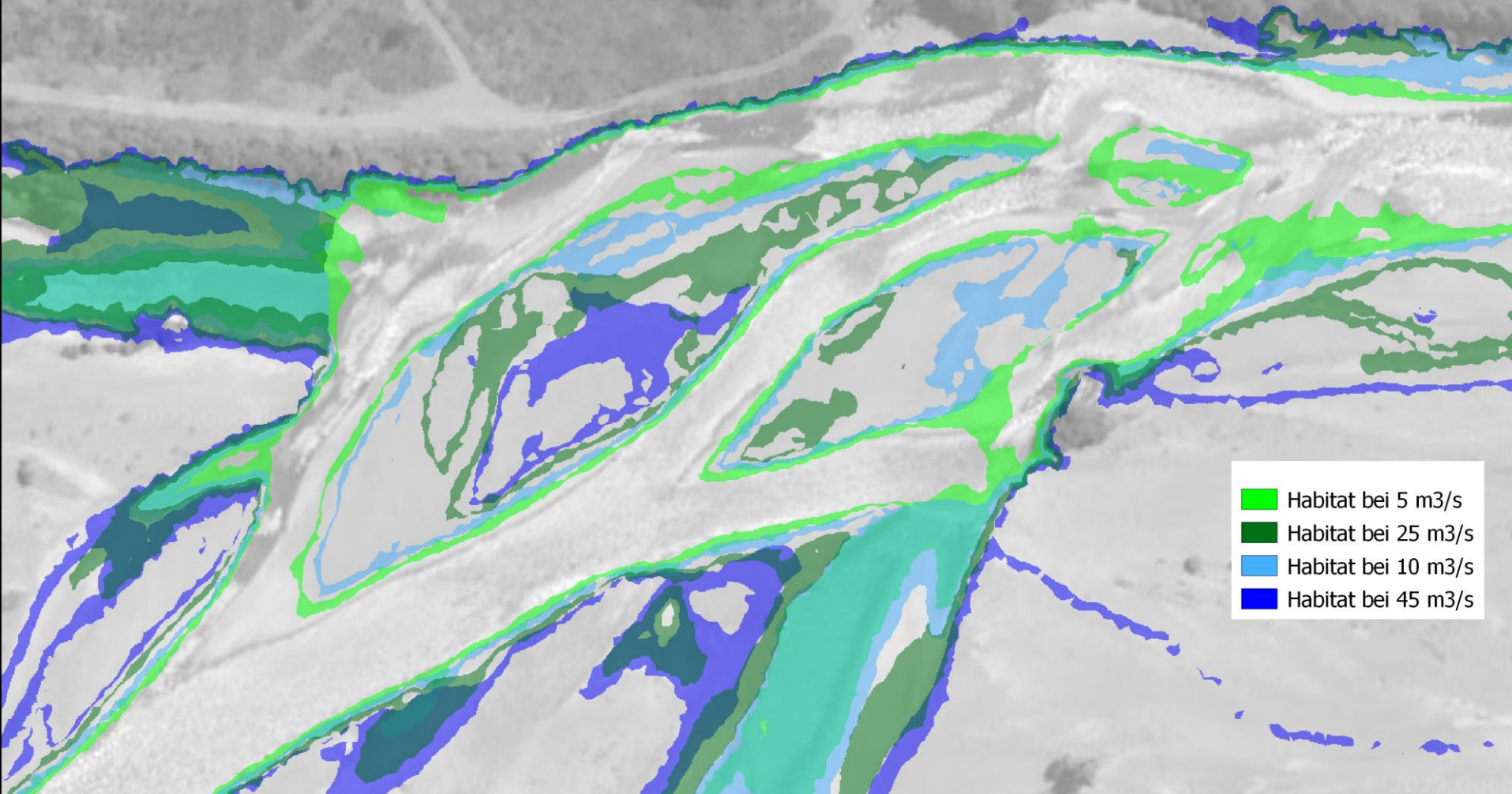
Reproduktion: ++

## Veränderung der Habitate bei natürlicher Hydrologie und Schwall-Sunk Regime

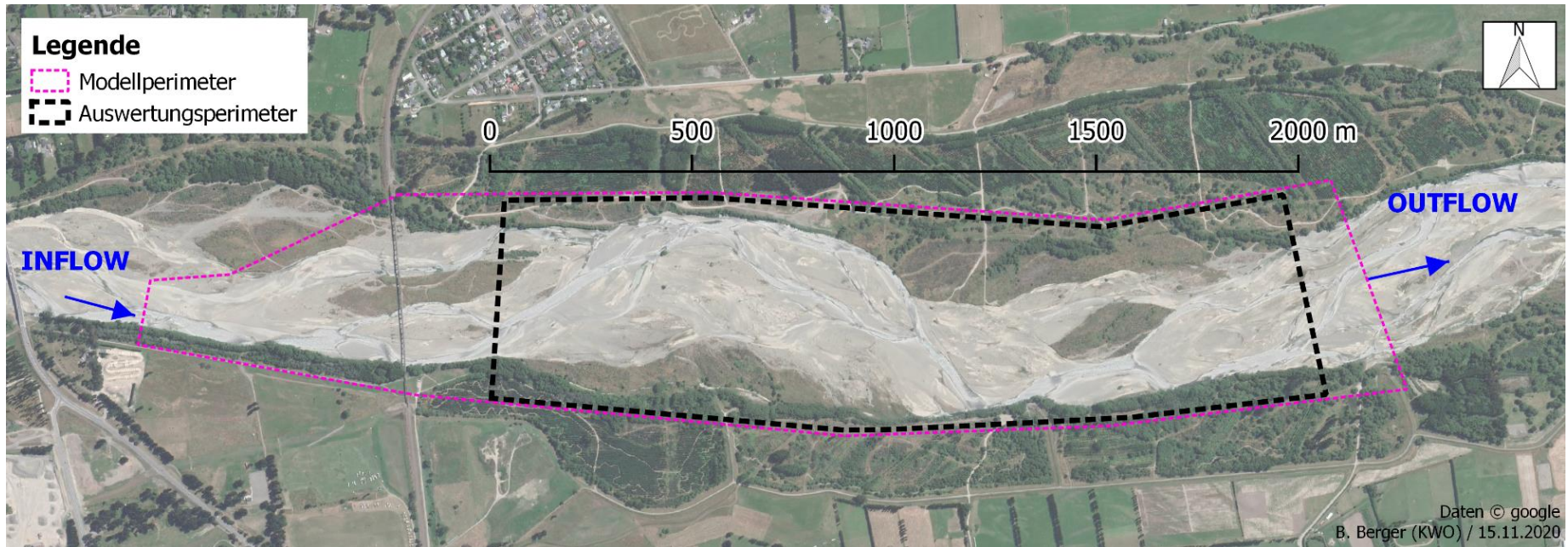
Altersstadium: larval

geeignete Habitate bei Schwall-Sunk Regime

0 25 50 75 100 125 m



# Aufbau eines numerisch hydraulischen 2D-Modells



# Akt 3: Monitoring Schwall-Sunk plus Strandungsversuche mit Wildfischen

- Überprüfung Resultate der Versuche von Lunz unter **reellen Bedingungen** in der **Hasliaare**
- **Aktuell: Auswertung** der Versuche





[Video: https://vimeo.com/243466993](https://vimeo.com/243466993)





## Ergebnisse Seeforellenmonitoring (Gadmerwasser)

<b>Anzahl erfasste Bewegungen</b>	<b>100</b>
Individuen genaue Bewegungen	62
Anzahl identifizierte Individuen	W = 14 M = 12
Tier mit häufigsten Bewegungen	21
Abschätzung gesamthaft aufgestiegener Individuen	36

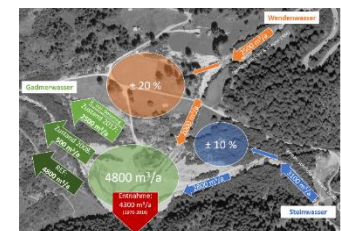
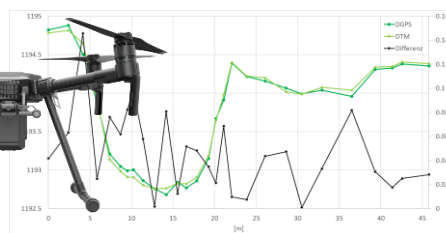
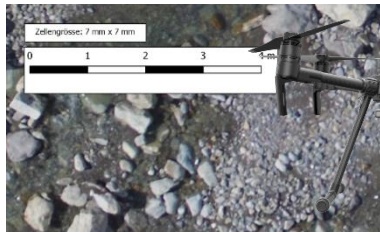
	<b>Milchner (M)</b>	<b>Rogner (W)</b>
Median	57 cm	50 cm
Maximum	80 cm	72 cm

# Geschiebedotterung im Rahmen der Restwassersanierung

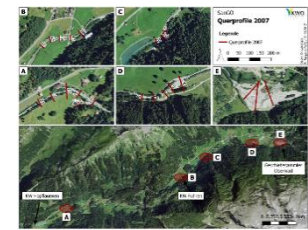
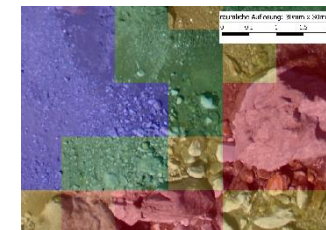
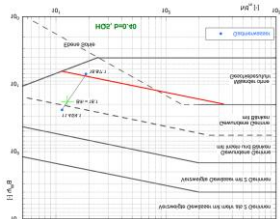


# Neubeurteilung Sanierung Geschiebe mit aktueller Vollzugshilfe (Pilotprojekt)

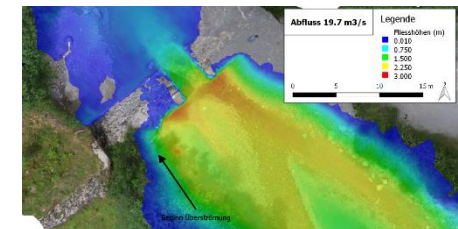
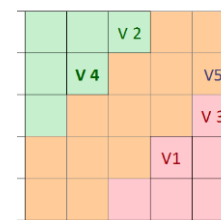
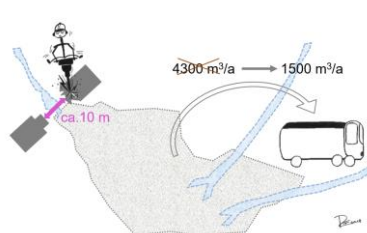
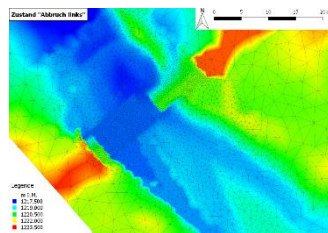
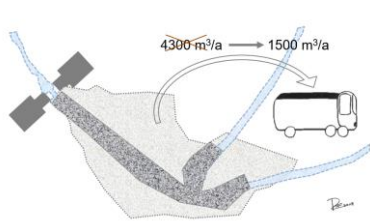
## Ist- und Referenzzustand



## Sanierungsziel festlegen



## Massnahmen ausarbeiten – bewerten und auswählen



# 5. Fazit

*... was wollen wir?*

## Kompromiss Kraftwerk und Ökologie

*Energie x%*

*Ökologie y%*

*$x + y > 100\%$*

**Win-Win?**

**Nur Kraftwerk –  
keine Ökologie**

*Energie 100%*

*Ökologie 0%*

**Win-Lose**

**kein Kraftwerk –  
nur Ökologie**

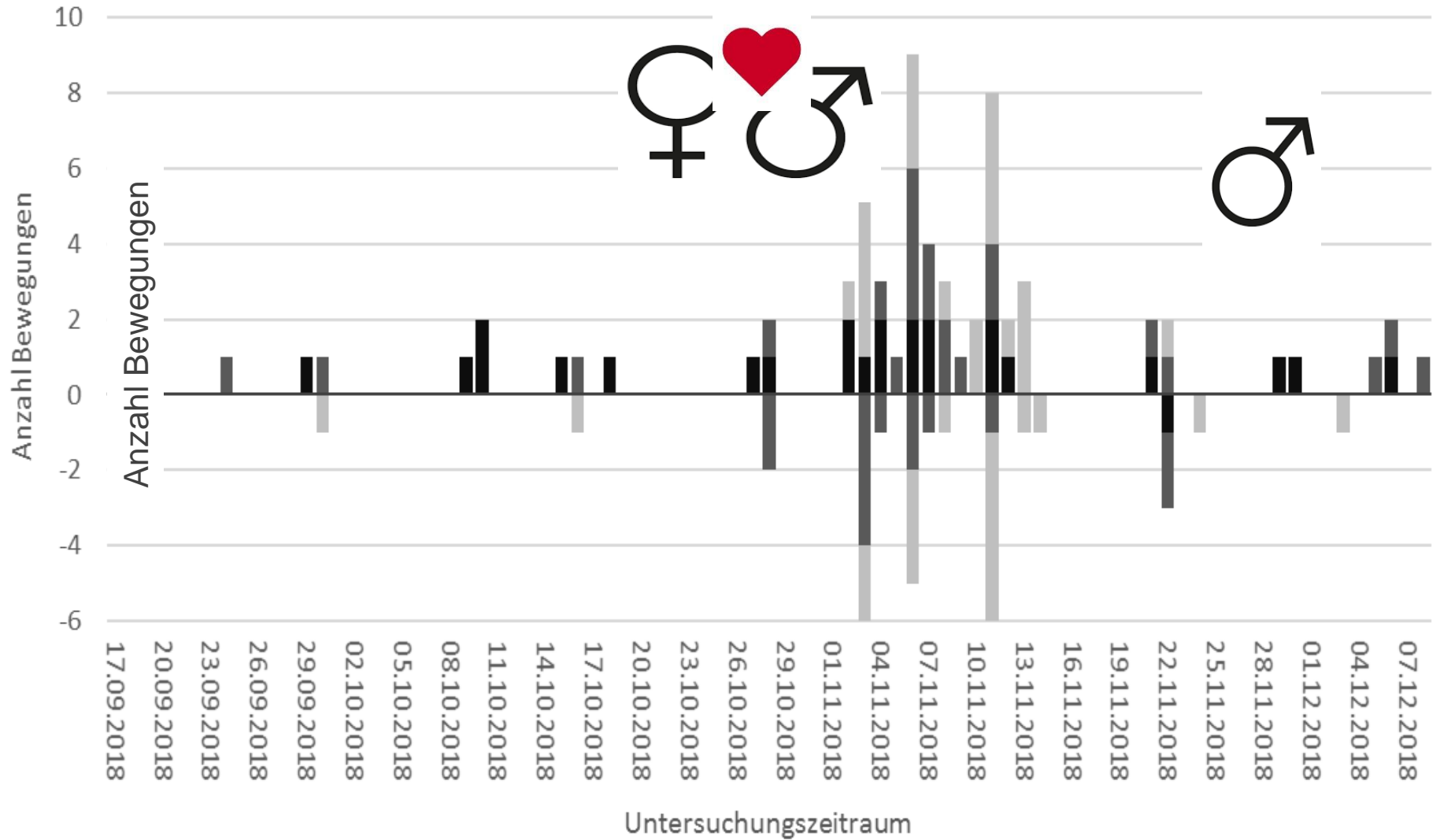
*Energie 0%*

*Ökologie 100%*

**Lose-Win**

■ Eindeutige ID   ■ Mehrfachnachweis   ■ Ungenaue Erfassung

## Bewegungen der Seeforellen



# Zählsystem:

## Seeforellenzaun & Resistivity Fish Counter & Kamera



# 4. Engagement KWO Aquatische Ökologie

## Restwasser

- 2012 an 8 Fassungen neu und an 3 Fassungen angepasst
- 5-Jahresmonitoring zeigte deutliche Verbesserung hinsichtlich Lebensraumvielfalt, Makrozoobenthos und Fischen

## Sanierung Schwall-Sunk

- Retentionsvolumen 80'000 m<sup>3</sup> zur Vergrößerung der Reaktionszeit für aquatische Organismen
- Instream-Massnahmen zur Erhöhung der Habitatsvielfalt
- 1-Jahresmonitoring zeigt deutliche Verbesserung für aquatische Organismen
  - Alle ökologischen Zielvorgaben wurden erreicht
  - Makrozoobenthos: Artenvielfalt und Biomasse im "grünen" Bereich
  - Fische: Fischdichte in der Instream-Strecke ähnlich Lütschine (naturnahe Morphologie und Hydrologie)

## Fischgängigkeit

- nur eine Fassung betroffen. Funktionierender Fischlift seit 2012

## Geschiebe

- Ein Sammler betroffen, Variantenstudium abgeschlossen, Umsetzung 2023



# Monitoring Seeforellen im unteren Gadmerwasser





# Zählsystem:

## Seeforellenzaun & Resistivity Fish Counter & Kamera



# Impressionen Zählanlage

- Sep'18 bis Dez'18
- Inkl. grösserem HQ



# Monitoring Schwall-Sunk

## Kurzbeschreibung der Schwallstrecke

**Buhnenstrecke  
Innertkirchen**



**Breite: 25 m**

**Kiesbankstrecke  
Meiringen**



**Breite: 25 m**

**Kanalstrecke  
Meiringen-Brienz**



**Breite: 18 m**



# Monitoring Schwall-Sunk

## Begleitgruppe & Untersuchungsteam

- Amt für Wasser und Abfall (BE)
- Fischereiinspektorat (BE)
- Bundesamt für Umwelt (CH)
- Eawag (CH)
  
- Peter Büsser
- Pronat
- Limnex
- eQcharta

