

**Schwallsanierung der Hasliaare**  
*Untersuchungen – Variantenstudium – technische  
Umsetzung - Monitoring*



Foto: Dr. Markus Zeh

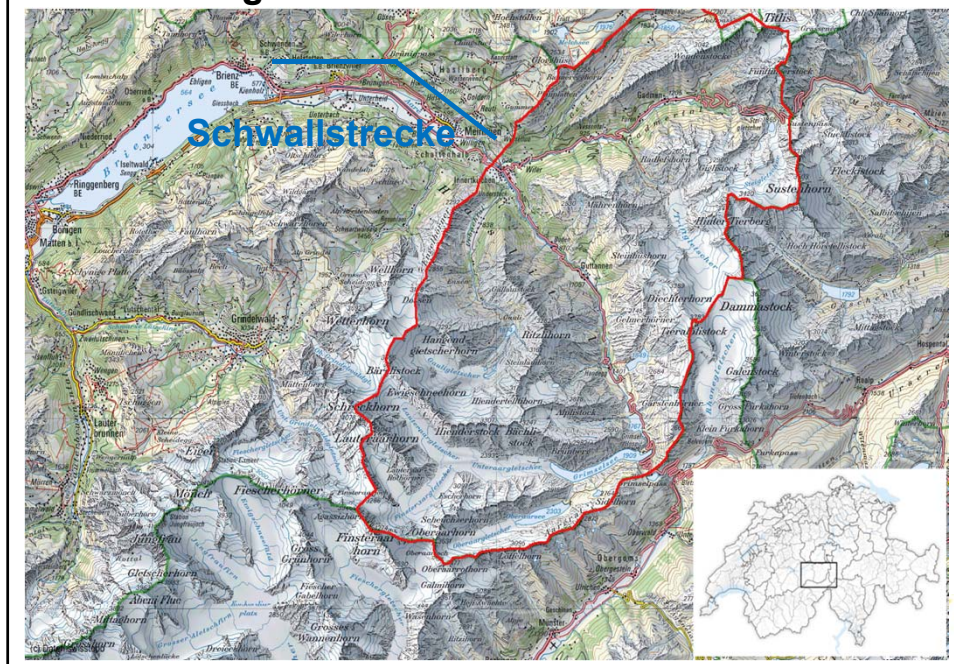
Internationale Fachtagung Schwall/Sunk  
Interlaken, 27. Oktober 2016  
S. Schweizer, Leiter Fachstelle Ökologie, KWO



**Inhalt**

- 1) Einleitung**
- 2) Kraftwerksausbau & Schwallsanierung**
- 3) Morphologische Aufwertung in der Hasliaare**
- 4) Geplantes Monitoring Programm**
- 5) Technische Aspekte bei der Umsetzung**
- 6) Fazit**

## 1. Einleitung



### Kurzbeschreibung Einzugsgebiet KWO

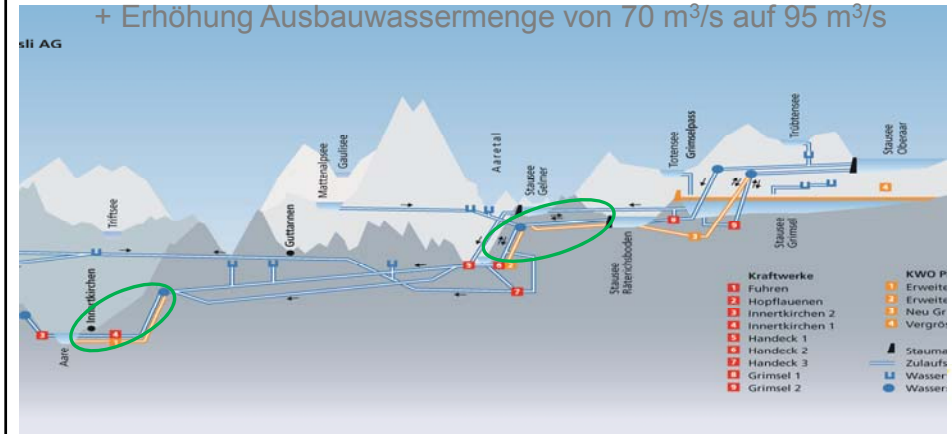
- Fläche Einzugsgebiet 450 km<sup>2</sup> mit Aare- (Grimselgebiet) und Gadmental (Sustengebiet)
- 21% Vergletscherung, Jahresniederschlag  $\pm$  2000mm
- Glaziales Abflussregime
- MQ unterhalb der Wasserrückgabe 35 m<sup>3</sup>/s
- Jahresproduktion der KWO 2400 GWh/a (davon 800 GWh/a Pumpspeicherbetrieb)



## 2. Kraftwerksausbau & Schwallanierung

- „Tandem“ Ausbau Kraftwerkskette Räterichsboden-Innertkirchen

→ Durch geringeren Reibungsverlust mit gleicher Wassermenge  
 + 70 GWh/a  
 + 280 MW (neue Turbine)  
 + Erhöhung Ausbauwassermenge von 70 m<sup>3</sup>/s auf 95 m<sup>3</sup>/s



## Morphologie der Schwallstrecke

- MQ = 35 m<sup>3</sup>/s     Q<sub>Deckschicht</sub> = 150–180 m<sup>3</sup>/s
- d<sub>m</sub> = 13 cm     d<sub>90</sub> = 32 cm     J = 5-8 ‰

**Buhnenstrecke  
Innertkirchen**

Breite 25 m



**Kiesbankstrecke  
Meiringen**

Breite 25 m

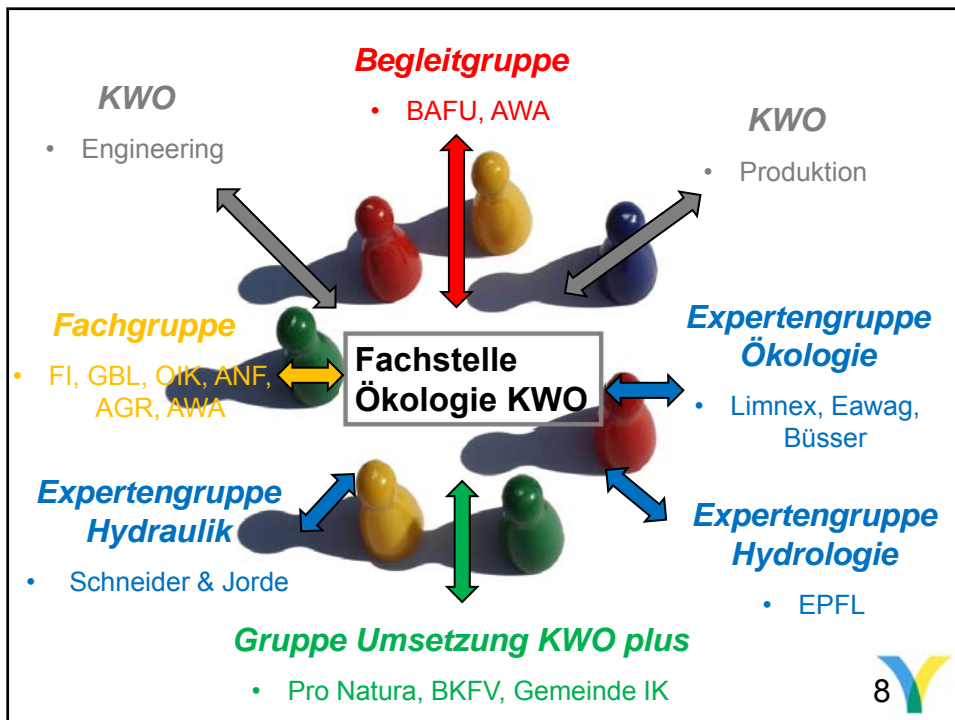


**Kanalstrecke  
Meiringen-Brienz**

Breite 18 m



# Gewässerökologische Untersuchungen hinsichtlich Schwall/Sunk



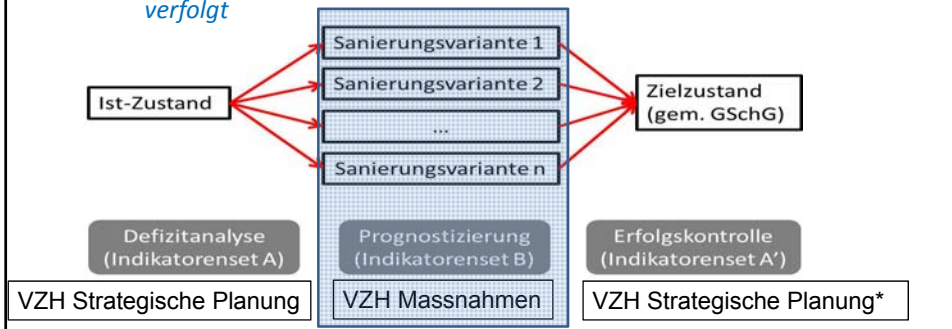
## Trennung Kraftwerksausbau und Schwall/Sunk-Sanierung

Ökologische Belastung durch Schwall/Sunk



## Ökologische Bewertung für verschiedenen Zustände

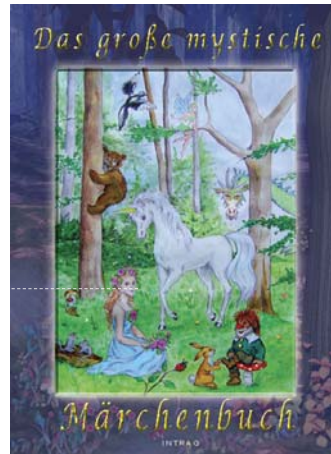
- Ist-Zustand (I)
- Fiktiver Zustand (II): INN1E (Tandem) ohne S/S-Dämpfung
- Fiktiver Zustand (IIIa-d): INN1E (Tandem) mit S/S-Dämpfung (verschiedene Varianten)
  - IIIa: V = 50'000 m<sup>3</sup>      • IIIc: V = 80'000 m<sup>3</sup>
  - IIIb: V = 60'000 m<sup>3</sup>      • IIId: V = 100'000 m<sup>3</sup>
- *Direktableitung in Brienzersee wegen zu hoher Kosten nicht weiter verfolgt*



## Ökologische Bewertung anhand der BAFU-Wegleitung für die drei verschiedenen Zustände

(✓) Ist-Zustand (I)

??? Fiktive Zustände II und IIIa-d ???



## Ökologische Bewertung anhand der BAFU-Wegleitung für fiktive Zustände II und IIIa-d

### Modellierbare Indikatoren

- H1 Kolmation
- A1 Sunkabfluss
- F2 Stranden von Fischen
- F3 Laichareale
- Q1 Wassertemperatur

### Nicht-Modellierbare Indikatoren

- F1 MSK Fische
- F4 Reproduktion der Fischfauna
- F5 Fischereiliche Produktivität
- B1 Biomasse Makrozoobenthos
- B2 MSK Makrozoobenthos
- B3 Längenzonation Makrozoobenthos
- B4 EPT-Familien Makrozoobenthos

Beurteilung durch Experten  
(Analogieschlüsse, Erfahrung, Literatur) ...



...mit gewissen  
Unsicherheiten



## Gesamtbewertung

	I	II	IIIa	IIIb	IIIc	IIId	Bemerkungen
Kolmation	■	■	■	■	■	■	Schwache Kolmation
Wassertemperatur	■	■	■	■	■	■	Geringe Beeinträchtigung
Mindestabfluss	■	■	■	■	■	■	Höher als $Q_{347}$ festgelegt
Biomasse MZB	■	■	■	■	■	■	Zust. III: Geringere Verdriftung
MSK MZB	■	■	■	■	■	■	
Zonation MZB	■	■	■	■	■	■	Zust. III: Geringere Verdriftung
EPT MZB	■	■	■	■	■	■	
MSK Fische	■	■	■	■	■	■	Morphologie bedingt Fehlen von Jungfischhabitaten, auch bei natürlichem Abfluss
Stranden Fische	■	■	■	■	■	■	Vorgaben mit Reduktion der Sunkrate erfüllt
Laichentwicklung	■	■	■	■	■	■	Laichgruben sind stabil und fallen nicht trocken
Jungfische	■	■	■	■	■	■	Siehe MSK Fische
Produktivität Fische	■	■	■	■	■	■	Siehe MSK Fische

## Klassenveränderungen je Indikator

	I → II	I → IIIa/IIIb	I → IIIc/IIId
Kolmation			
Wassertemperatur			
Mindestabfluss			
Biomasse MZB		+1	+2
MSK MZB	-1		
Zonation MZB	-1		
EPT MZB	-1		
MSK Fische			
Stranden Fische		+1	+2
Laichentwicklung			
Jungfische			
Produktivität Fische		+1	+1
Summe	-3	+3	+5

## Gesamtbeurteilung mit allen Experten

- Aggregation der 12 Indikatoren zu einem Gesamtwert nicht möglich
  - Szenarien IIIc / III d schneiden am besten ab
- Wegen Verhältnismässigkeit wird IIIc, mit  $V = 80'000 \text{ m}^3$  ausgewählt



## Gesamtbeurteilung mit allen Experten



- Bei bestehender Morphologie können F1 und F4 nicht verbessert werden (fehlende Jungfisch-Habitate)

→ **Morphologische Aufwertungen für Jungfische sind nötig** 16



### 3. Morphologische Aufwertung «Musterstrecke»

Auf 300 m in der Bühnenstrecke in Innertkirchen:

- Geknickte Bühnen
- Belebtsteingruppen
- Fischunterstände mit Totholz und Wurzelstöcken
- «Fischhotel»

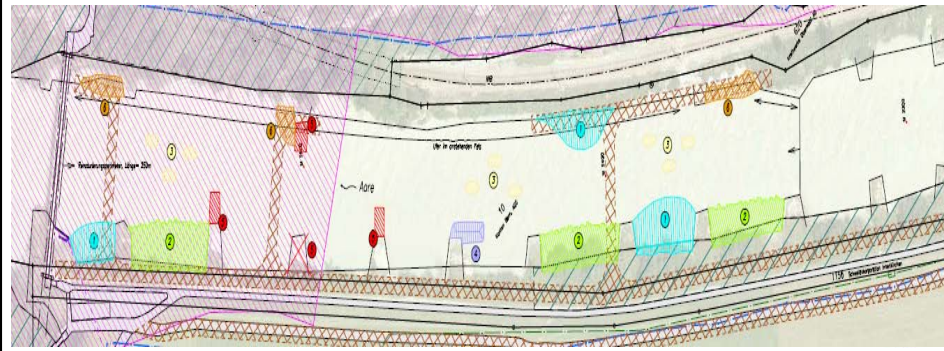


Foto Dr. Markus Zeh



### 3. Morphologische Aufwertung «Musterstrecke»

Wurzelstöcke

*Schwall*

*Sunk*



19

### 3. Morphologische Aufwertung «Musterstrecke»

Belebtsteingruppe

*Schwall*

*Sunk*



20

### 3. Morphologische Aufwertung «Musterstrecke»

Stämme

*Schwall*

*Sunk*



21 

### 3. Morphologische Aufwertung «Musterstrecke»

Fischhotel

*Schwall*

*Sunk*



22 

### 3. Morphologische Aufwertung «Musterstrecke»

Buhne

*Schwall*

*Sunk*



23 

### Erste Erkenntnisse

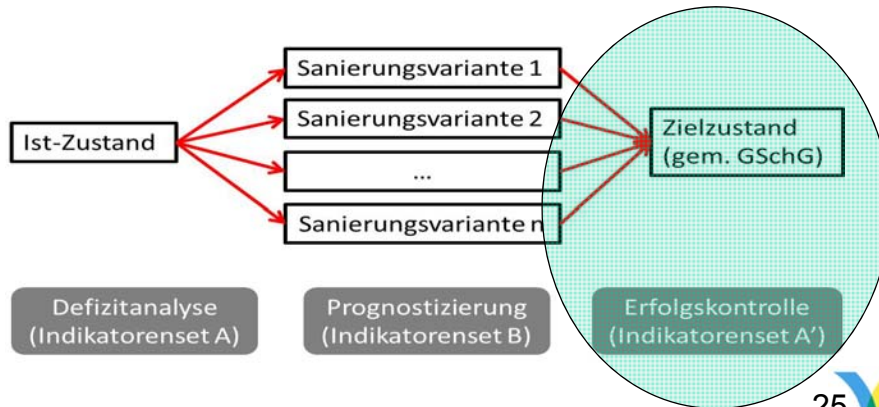


- Befischung vom 1.11.2015 zeigt eine deutliche Zunahme an Jungfischen (Indikator F4 von rot → gelb/grün)
- Funktionsfähigkeit der Elemente trotz Murgang vorhanden
- Erste Hochwasserereignisse wurden relativ gut überstanden

## 4. Geplantes Monitoring Programm

### Monitoring Basis

→ Anwendung der Vollzugshilfe I «strategische Planung» 1, 3, 5 und 10 Jahre nach Inbetriebnahme des Beruhigungsbeckens

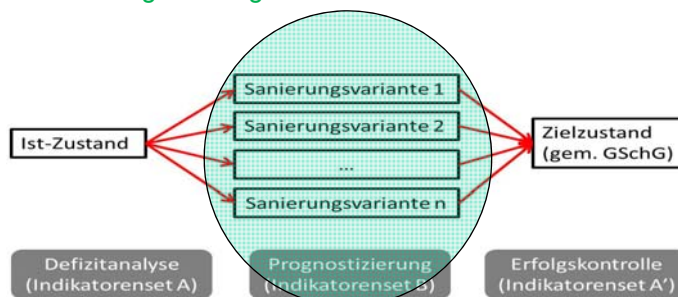


## 4. Geplantes Monitoring Programm

**Monitoring Plus** aktuell in Bearbeitung.

Folgende Arbeiten sind im «Freilandlabor Hasliaare» denkbar:

- Anwendung der Vollzugshilfe II «Schwall Sunk Massnahmen»
- Strandungs- und Driftversuche
- Morphologische Massnahmen in Zusammenhang mit einer Schwallsanierung
- Weitere Fragestellungen



#### 4. Technische Aspekte bei der Umsetzung



Juni 2013



Juni 2013



März 2014



März 2014



Foto Dr. Markus Zeh

## Technische Herausforderungen

- Physikalische Modellversuche für Dimensionierung von Tosbecken und Auslassorganen
- Felsbrocken im kiesigen Untergrund / Rammbarkeit von Spundwänden
- Bauen im Grundwasser
- Verwendung von Unterwasserbeton
- Linienführung des Unterwasserstollens
- Steuerungstechnik von zwei Speichergefässen und zeitlicher Verzögerung beim Durchfluss durch den Stollen
- Verwirbelungen / Wellenbildung im Becken je nach Zuflussituation aus den Kraftwerken INN1 und INN2 («Jet-Stream»)

→ Atelier «Technische Aspekte bei der Umsetzung» von Markus Kost

→ Exkursion zum Beruhigungsbecken Innertkirchen

29 

## 5. Fazit für Planung von Sanierungsmassnahmen

- Sehr viele Schnittstellen sind zu beachten, z.B.:
  - Betriebsregime (heute – künftig)
  - Steuerung von Zwischenspeicher
  - Hydraulik / Habitate in der Schwallstrecke
  - Biologische Ansprüche / Reaktionen – State of the Art
  - Veränderungen der Morphologie in der Schwallstrecke
  - Sicht von Ämtern und Verbänden

→ **Koordination ist sehr wichtig**  
**im besten Fall ... alles aus einer Hand**



*Das Wissen und die Erfahrung des  
Ökologenteams der KWO kann genutzt werden  
Anfragen an [steffen.schweizer@kwo.ch](mailto:steffen.schweizer@kwo.ch)*

30 

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !**



Foto Dr. D. Tonolla & Dr. M. Döring,  
eQcharta / ZhAW

### **Gründe für die Auswahl der Sanierungsvariante IIIc**

- Geringe Zusatzkosten verglichen mit Szenario IIIb, das ökologisch schlechter abschneidet
- Grosse Zusatzkosten für Variante III d ohne ökologischen Mehrwert
- Ausreichend Spielraum für künftige morphologische Aufwertungen
- Hasliaare als Modellstudie
  - Monitoring + Forschungsarbeiten sind geplant
  - Lerneffekte für spätere Sanierungsprojekte



## Gesamtbeurteilung mit allen Experten



- **Aggregation der 12 Indikatoren zu einem Gesamtwert nicht möglich**
- Im Ist-Zustand (I) liegt eine **wesentliche Beeinträchtigung** vor
- Zustand II führt zu einer „**leichten Verschlechterung**“
- Zustände IIIa / IIIb führen zu einer „**leichten Verbesserung**“
- Zustände IIIc / IIIId führen zu einer „**leichten bis mässigen Verbesserung**“
- Bei bestehender Morphologie können F1 und F4 nicht verbessert werden (fehlende Jungfisch-Habitate)
- Morphologische Aufwertungen sind daher zwingend und müssen auf Jungfischhabitate fokussieren

## Vorgehen Ökologische Bewertung der Zustände

(a) Auswahl typischer Abflussganglinien für Ist-Zustand  
(Fokus auf Winter 2009-Winter 2012, SDL)



(b) Konstruktion typischer Abflussganglinien für Zustände II und III  
(Grundlage Abflüsse Winter 2009 - Winter 2012)



(c) **Statistische Analyse:**  
95%- und 100%-Percentile für  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$ ,  $\Delta Q_{max}$  und  $\Delta Q_{min}$



(d) **Ökologische Bewertung durch Experten (einzeln)**  
Limnex, Eawag, Büsser, SJE

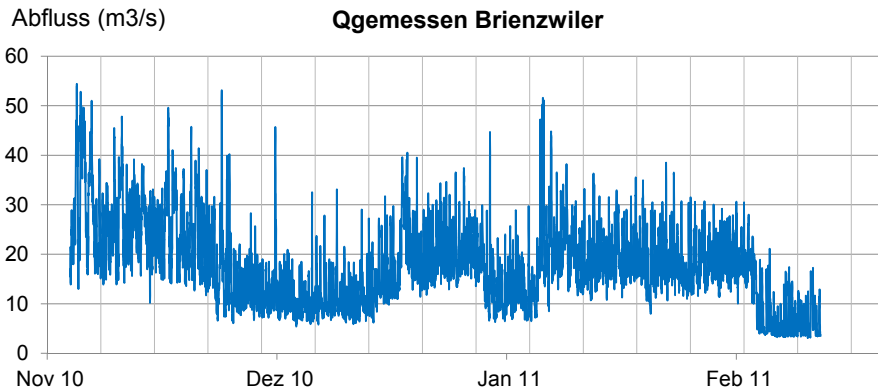


(e) **Expertenworkshop für ökologische Gesamtbewertung**  
Limnex, Eawag, Büsser, BAFU, AWA

### (a) Abflussganglinie Zustand I (Ist-Zustand)

(I) Abflussganglinie Ist-Zustand (Winterabflüsse 2009-2012):

- Wasserrückgabe INN1 und INN2
- Pegel Aareschlucht
- Pegel Brienzwiler



### Vorgehen Ökologische Bewertung der Zustände

(a) Auswahl typischer Abflussganglinien für Ist-Zustand  
(Fokus auf Winter 2009-Winter 2012, SDL)

(b) Konstruktion typischer Abflussganglinien für Zustände II und III  
(Grundlage Abflüsse Winter 2009 - Winter 2012)

(c) Statistische Analyse:  
95%- und 100%-Percentile für Q<sub>max</sub>, Q<sub>min</sub>, ΔQ<sub>max</sub> und ΔQ<sub>min</sub>

(d) Ökologische Bewertung durch Experten (einzeln)  
Limnex, Eawag, Büsser, SJE

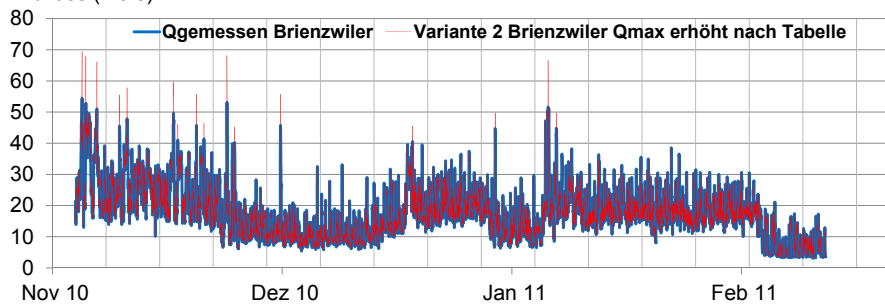
(e) Expertenworkshop für ökologische Gesamtbewertung  
Limnex, Eawag, Büsser, BAFU, AWA

## (b) Abflussganglinie Zustand II (Ausbau ohne Dämpfung)

- Tabellarische Erhöhung der Spitzenabflüsse

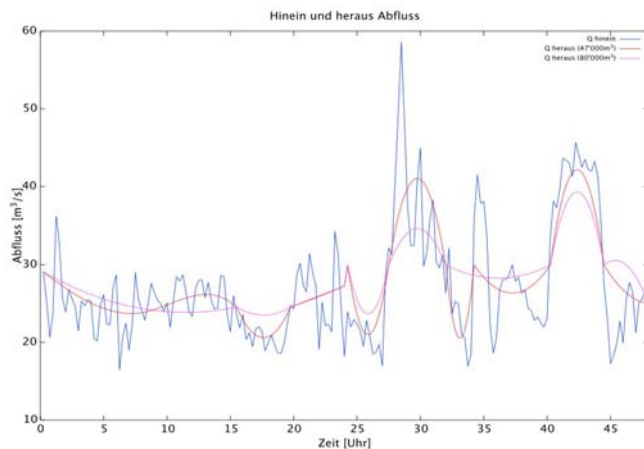
Qmax gemessen 2009-12	% aktuelle Leistungsfähigkeit	Erhöhung um
< 34 m <sup>3</sup> /s	50%	0 m <sup>3</sup> /s
34 bis 39 m <sup>3</sup> /s	51-55%	+ 5 m <sup>3</sup> /s
39 bis 44 m <sup>3</sup> /s	56-60%	+ 10 m <sup>3</sup> /s
44 bis 49 m <sup>3</sup> /s	61-65%	+ 15 m <sup>3</sup> /s
49 bis 54 m <sup>3</sup> /s	66-70%	+ 20 m <sup>3</sup> /s
> 54 m <sup>3</sup> /s	71-75%	+ 25 m <sup>3</sup> /s

Abfluss (m<sup>3</sup>/s)



## (b) Abflussganglinie Zustände IIIa-d (Ausbau mit Dämpfung)

- Grundlage Abflussganglinie Zustand II
- Simulation der Dämpfung  
Sunkrate vs. Schwallrate:  
→ Erst Fixierung Sunkrate (F2), dann Optimierung Schwallrate



## Vorgehen Ökologische Bewertung der Zustände

(a) Auswahl typischer Abflussganglinien für Ist-Zustand  
(Fokus auf Winter 2009-Winter 2012, SDL)



(b) Konstruktion typischer Abflussganglinien für Zustände II und III  
(Grundlage Abflüsse Winter 2009 - Winter 2012)



(c) Statistische Analyse:  
95%- und 100%-Perzentile für  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$ ,  $\Delta Q_{max}$  und  $\Delta Q_{min}$



(d) Ökologische Bewertung durch Experten (einzeln)  
Limnex, Eawag, Büsser, SJE

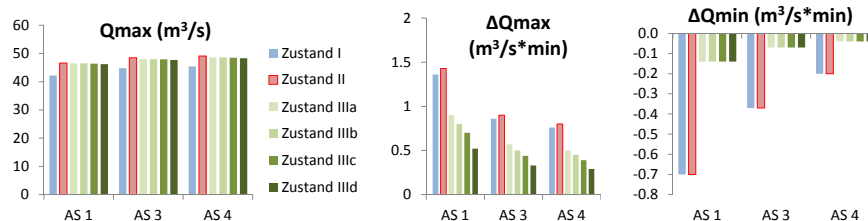


(e) Expertenworkshop für ökologische Gesamtbewertung  
Limnex, Eawag, Büsser, BAFU, AWA

## (c) Statistische Analyse

95%-Perzentile Innertkirchen

	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q_{min}$ ( $m^3/s$ )	$\Delta Q_{max}$ ( $m^3/s \cdot min$ )	$\Delta Q_{min}$ ( $m^3/s \cdot min$ )
Zustand I	42.2	3.1	1.36	-0.70
Zustand II	46.6	3.1	1.43	-0.70
Zustand IIIa	46.5	3.1	0.90	-0.14
Zustand IIIb	46.5	3.1	0.80	-0.14
Zustand IIIc	46.4	3.1	0.70	-0.14
Zustand IIIId	46.2	3.1	0.52	-0.14



## Vorgehen Ökologische Bewertung der Zustände

(a) Auswahl typischer Abflussganglinien für Ist-Zustand  
(Fokus auf Winter 2009-Winter 2012, SDL)



(b) Konstruktion typischer Abflussganglinien für Zustände II und III  
(Grundlage Abflüsse Winter 2009 - Winter 2012)



(c) Statistische Analyse:  
95%- und 100%-Perzentile für  $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$ ,  $\Delta Q_{max}$  und  $\Delta Q_{min}$



(d) Ökologische Bewertung durch Experten (einzeln)  
Limnex, Eawag, Büsser, SJE



(e) Expertenworkshop für ökologische Gesamtbewertung  
Limnex, Eawag, Büsser, BAFU, AWA

## Indikatoren B1-B4 Makrozoobenthos

### MZB-Probenahmen

- Sehr gute Datengrundlage (Limnex, Lubini, Eawag, Kanton)

### Driftversuche

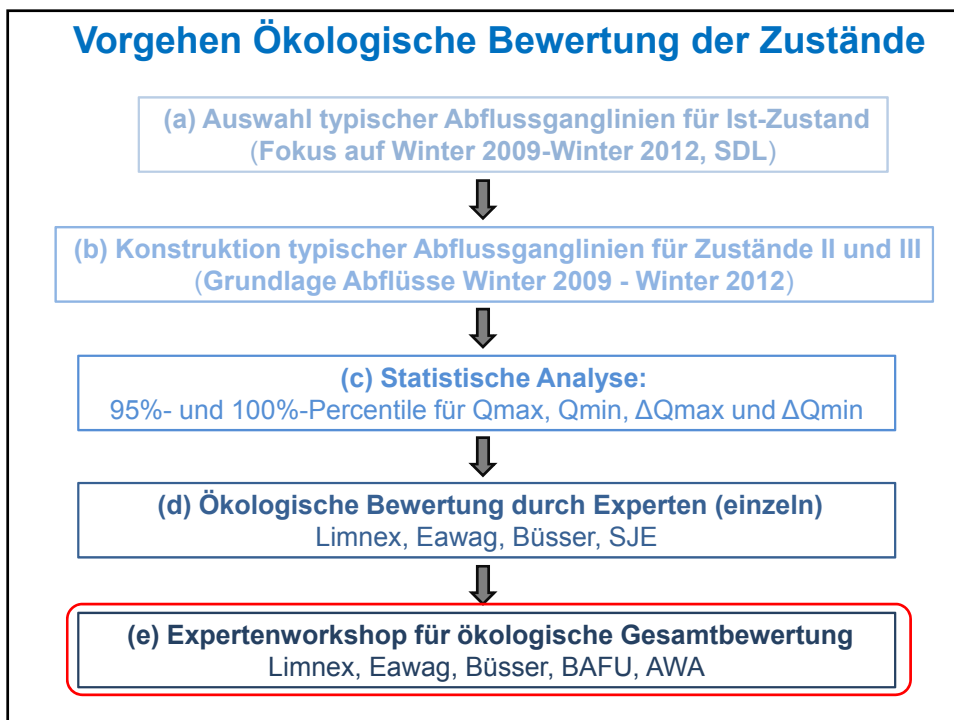
- Drift vor allem abhängig von Schwallrate und Morphologie
  - Reduktion der Schwallrate → Verringerung der Maximaldrift auf 30%
  - Morphologische Aufwertung (Kiesbänke) → Verringerung der Maximaldrift auf 30%
  - Geringer Einfluss des Maximalen Abflusses



## Fisch-Indikatoren Lebenszyklus der Bachforelle



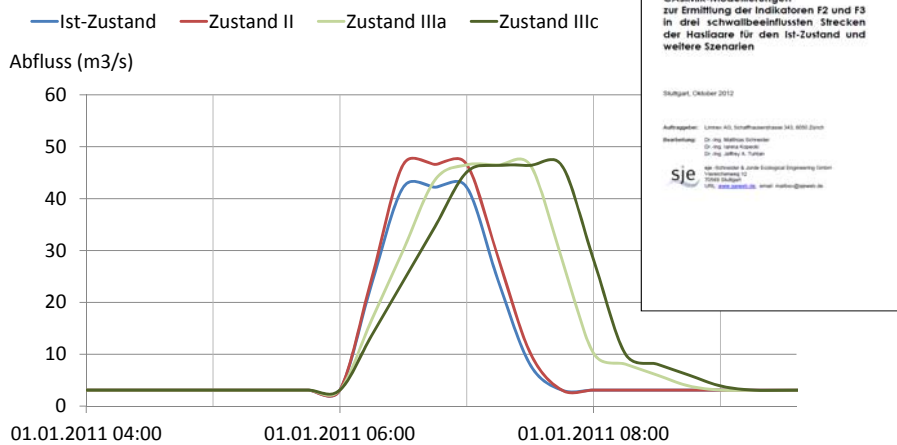
## Vorgehen Ökologische Bewertung der Zustände



### (c) Statistische Analyse

→ Typische Schwall-Ganglinie definiert anhand der 95%-  
Percentile für Qmax, Qmin, Schwall- und Sunkrate

#### → Casimir-Modellierung



### (d)+(e) Beurteilung der abiotischen Indikatoren

Zustände I-III	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütschine Kiesbank	Lütsch. Kanal
A1	grün	grün	grün	grün	grün	grün
Q1	grün	grün	grün	grün	blau	blau
H1	grün	grün	grün	grün	grün	grün

#### A1 Sunkabfluss

→ Regelung mit Kanton: Mindestabfluss in der Aare immer > 3 m³/s  
→ Für alle Zustände Beurteilung «grün»

#### Q1 Wassertemperatur

→ Datengrundlage:  
Temperaturdaten Pegel Brienzwiler: 5 Jahre, 10'-Werte  
Temperaturlogger Eawag (alle Morphologien): 1 Jahr, 60'-Werte  
→ alle Zustände Beurteilung «grün»

#### H1 Kolmation

→ Nach BAFU-Methode Ist-Zustand Beurteilung «orange bis «rot»  
→ Felduntersuchungen:  
▪ schwache bis mittlere Kolmation (verschiedene Zeitpunkte und Methoden)  
▪ Laichboxen-Untersuchungen mit hoher Überlebensrate  
▪ Grundwasserdaten deuten auf Austausch Aare-Grundwasser hin  
→ Für alle Zustände Beurteilung «grün»

### Beurteilung B1 Biomasse MZB - Expertenabschätzung

B1	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütschine Kiesbank	Lütschine Kanal
Zustand I	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Blue	Yellow
Zustand II	Yellow	Yellow	Yellow	Blue	Grey	Grey
Zustand IIIa	Green	Green	Green	Blue	Grey	Grey
Zustand IIIb	Green	Green	Blue	Blue	Grey	Grey
Zustand IIIc	Blue	Green	Blue	Blue	Grey	Grey
Zustand IIId	Blue	Blue	Blue	Blue	Grey	Grey

- Hypothese: Schwallrate ↓ → Reaktionszeiten ↑ → Drift ↓ → Biomasse ↑
- Biomasse in Kanalstrecke unerwartet hoch
- Referenz mit sehr guter und mässiger Bewertung
- Eingangsgrösse für Indikator F5 Fischereiliche Produktivität
- Zusätzlich pessimistische und optimistische Abschätzung (nicht dargestellt)

### Beurteilung B2 + B4 Diversität MZB - Experteneinschätzung

B2 und B4	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütsch. Kiesb.	Lütsch. Kanal
Zustand I	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Zustand II	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Grey	Grey
Zustand IIIa	Green	Green	Green	Green	Grey	Grey
Zustand IIIb	Green	Green	Green	Green	Grey	Grey
Zustand IIIc	Green	Green	Green	Green	Grey	Grey
Zustand IIId	Green	Green	Green	Green	Grey	Grey

- Hypothese: Schwallrate ↓ → Reaktionszeiten ↑ → Drift ↓ → Diversität ↑
- Relativ hohe Unsicherheit bei der Probenahme, v.a. bei geringen Abundanzen
- Artenvielfalt relativ hoch
- Generell: keine Alpenflüsse bekannt mit Klasse blau

### Beurteilung B3 Längenzonation - Experteneinschätzung

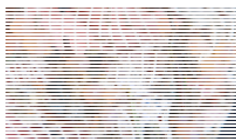
B3	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütschine Kiesbank	Lütschine Kanal
Zustand I - BAFU						
Zustand I - Lütschine						
Zustand II						
Zustand IIIa						
Zustand IIIb						
Zustand IIIc						
Zustand IIId						

- Hypothese: Schwallrate ↓ → Reaktionszeiten ↑ → Drift ↓ → Biomasse ↑
- Anpassung der Bewertung an Referenzgewässer
- Sehr grosse Sensitivität bzgl. Wahl der Referenz (Längenzonationsindex)

### Beurteilung F1 MSK Fische

B3	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütschine Kiesbank	Lütschine Kanal
Zustand I						
Zustand II						
Zustand IIIa						
Zustand IIIb						
Zustand IIIc						
Zustand IIId						

- Datengrundlage: halb-quantitative Streifenbefischung der Eawag
- Einfluss von Morphologie ist mitbewertet
- Fehlende Jungfischhabitate bei  $Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$   
– natürlicher Abfluss ab Mai  $> 50 \text{ m}^3/\text{s}$



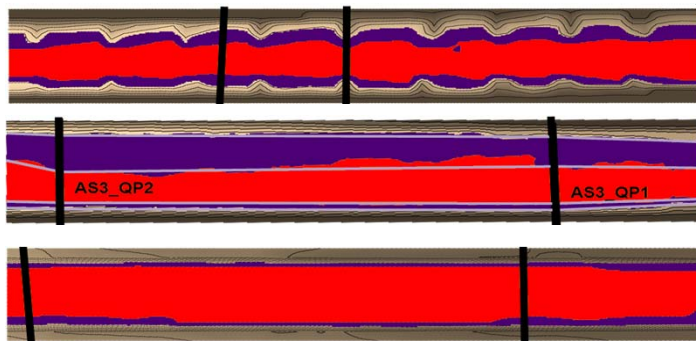
## Beurteilung F2 Stranden von Fischen

### Beobachtung gestrandete Fische

- Höchst selten → aufgrund Morphologie, geringer Fischdichte und/oder Schwierigkeiten zu entdecken → Klasse **grün**

### Trockenfallende Flächen

- Bühnenstrecke 35%, Kiesbankstrecke 49% → Klasse **rot**
- Kanalstrecke 16% → Klasse **grün**

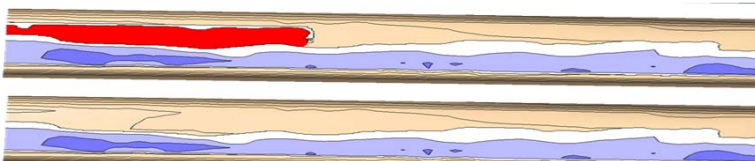


## Beurteilung F2 Stranden von Fischen

### Pegelrückgangrate - Beckensteuerung

- Herleitung:

(1) Casimir: Potentielle Fischfallen → Kiesbankstrecke



(2) P/Q-Beziehung an potentieller Fischfalle:

→ kritischer Abflusses ( $8 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und kritische Sunkrate ( $70 \text{ l/s} \cdot \text{min}$ )

(3) Dämpfungseffekte Aareschlucht → kritische Sunkrate in INN ( $140 \text{ l/s} \cdot \text{min}$ )

(4) Zurückfahren von  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  auf  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  →  $V = 12'000\text{-}20'000 \text{ m}^3$   
(restliches Volumen ausschliesslich zur Schwalldämpfung)

## Gesamtbeurteilung F2 Stranden von Fischen

B3	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütschne Kiesbank	Lütschne Kanal
Zustand I	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Blue	Blue
Zustand II	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Grey	Grey
Zustand IIIa	Green	Green	Green	Green	Grey	Grey
Zustand IIIb	Green	Green	Green	Green	Grey	Grey
Zustand IIIc	Blue	Blue	Blue	Blue	Grey	Grey
Zustand IIId	Blue	Blue	Blue	Blue	Grey	Grey



## Beurteilung F3 Laichareale

Vorgehen



(1) Benetzte Fläche bei  $Q_{\text{Sunk}} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$  und  $Q_{347\text{-natürlich}} = 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$



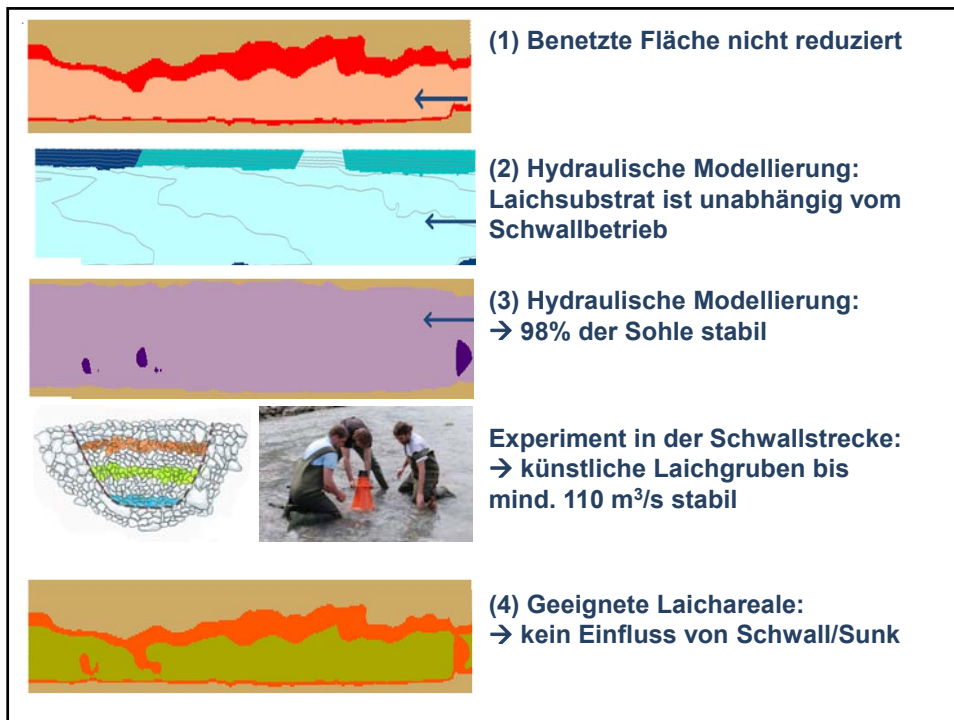
(2) Laichsubstrat in Abhängigkeit vom Schwallbetrieb



(3) Stabile Bereiche der Sohle bei  $Q_{\text{Schwall}}$



(4) Geeignete Laichareale



## Beurteilung F4 Reproduktion

B3	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal	Lütschne Kiesbank	Lütschne Kanal
Zustand I						
Zustand II						
Zustand IIIa- III d						

- **Datengrundlage: halb-quantitative Streifenbefischung**
- **Einfluss von Morphologie ist mitbewertet**
- **Fehlende Jungfischhabitats als «Flaschenhals» bei  $Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$**   
→ natürlicher Abfluss ab Mai  $> 50 \text{ m}^3/\text{s}$
- **Deutliche Morphologische Aufwertungen sind in jedem Fall nötig!**



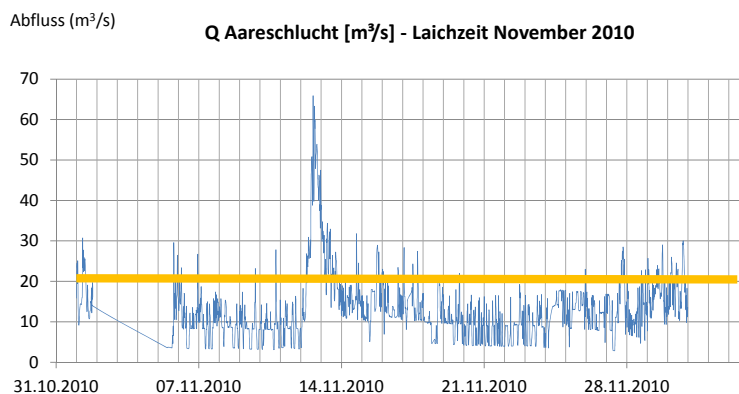
## Beurteilung F5 Fischereiliche Produktivität

B3	Gesamt	Buhnen	Kiesbank	Kanal
Zustand I	Orange	Orange	Yellow	Orange
Zustand II	Orange	Orange	Orange	Orange
Zustand IIIa	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Zustand IIIb	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Zustand IIIc	Yellow	Green	Green	Yellow
Zustand IIId	Yellow	Green	Green	Yellow



## Beurteilung F3 Laichareale

- Keine Berücksichtigung der hydraulischen Bedingungen während Paarung (mehrere Stunden)
- Bei  $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$  gute Bedingungen
- Kleinere und kürzere Abflussspitzen (typisch für November) können mit IIIa-IIIId gebrochen werden



## Saisonale Aspekte bei der Beckensteuerung

Saison	Biologischer Aspekt	Optimierung von Schwallparameter
April - Mai	Stranden von Brütlingen	Pegelrückgangsrate*
Juni - September	Stranden von Sömmerlingen	Pegelrückgangsrate*
Oktober - November	Paarungszeit der Forellen	Maximaler Abfluss
Dezember - März	Verdriftung von MZB	Schwallrate

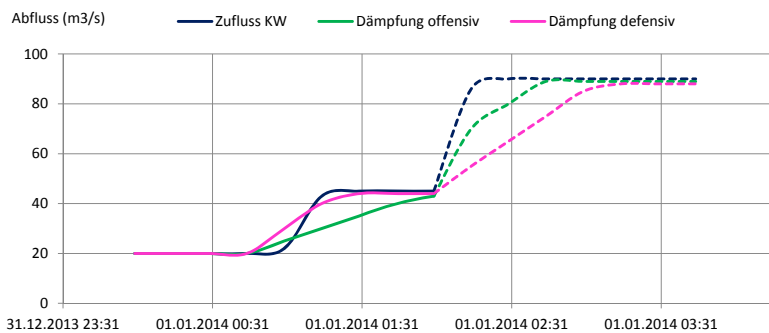
\* Teilweise auch unterschiedliche Anforderungen bei



## «Defensive» oder «offensive» Beckensteuerung?

- Speichervolumen zur Optimierung von Schwallparametern voll ausschöpfen oder Reservevolumen für Extremfälle zurückhalten?

→ Welche Steuerung bringt grösseren Nutzen für die aquatischen Organismen?

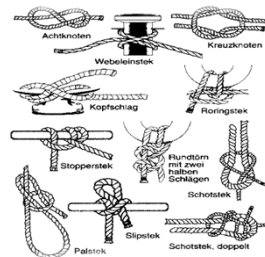
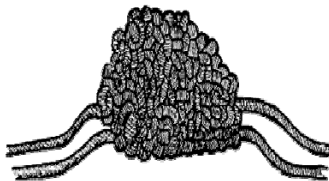


## Unsicherheiten bei der Beurteilung ?

- **Probenahme**
  - Wann (Saison, Hochwasser, Bauarbeiten, ...)
  - An welcher Stelle
  - Mit welcher Methode
  - Natürliche Variabilität
- **Auswahl und Konstruktion des Abflussregimes (Zustände I – III)**
  - Zukünftiges Betriebsregime
  - 95%- und 100%-Percentile
- **Einfluss von Schwall/Sunk auf aquatische Organismen**
  - Einfluss der wichtigsten Schwallkennwerte ( $Q_{max}$ ,  $Q_{min}$ ,  $\Delta Q_{max}$  und  $\Delta Q_{min}$ ) + hydraulische Bedingungen auf aquatische Organismen
- **Einfluss der Morphologie auf aquatische Organismen**
- **Indikatoren der BAFU-Wegleitung**
  - z.T. nicht prognostizierbar
  - z.T. redundant
  - z.T. nur bedingt Schwall/Sunk-sensitiv
  - z.T. Anpassungen der Wertefunktionen notwendig
- **Synthese – Aggregation der Indikatoren zu einer Gesamtbewertung**

## Fazit

- Schwallsanierung ist sehr komplex  
→ einige Fragen sind noch offen



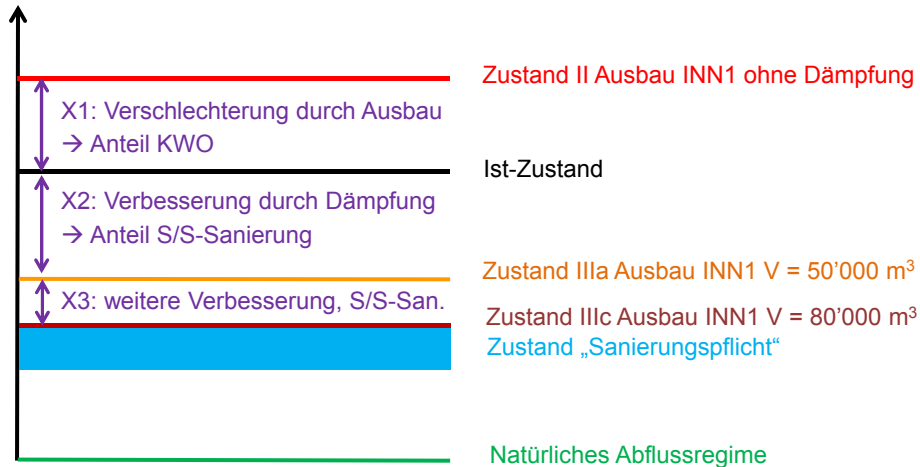
- Verschiedenste Aspekte müssen berücksichtigt werden  
→ viele Rädchen ineinandergreifen ...



→ Die KWO ist auf Anfrage bereit, Erfahrungen & Wissen weiterzugeben, um andere Projekte zu unterstützen

## Ökologische Anteile KWO und Schwall/Sunk-Sanierung

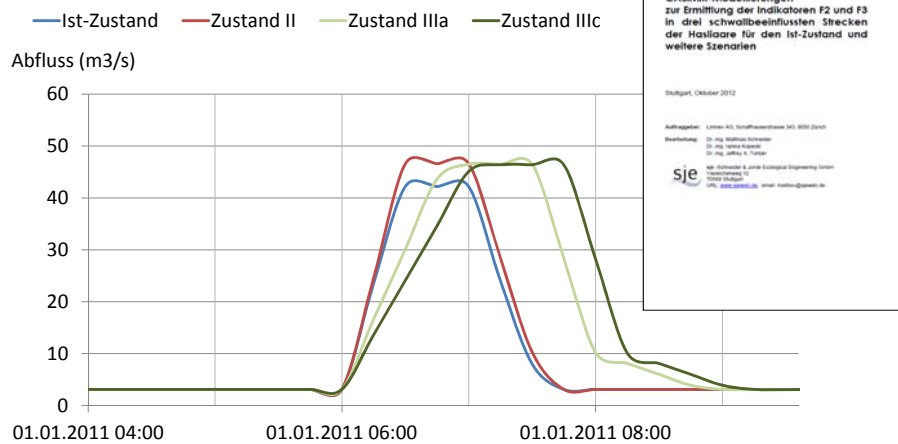
Ökologische Belastung durch Schwall/Sunk



## (c) Statistische Analyse

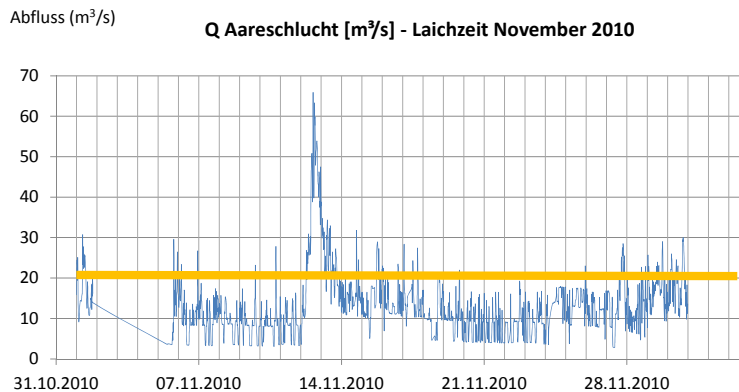
→ Typische Schwall-Ganglinie definiert anhand der 95%-  
Percentile für Qmax, Qmin, Schwall- und Sunkrate

→ Casimir-Modellierung



## Beurteilung F3 Laichareale

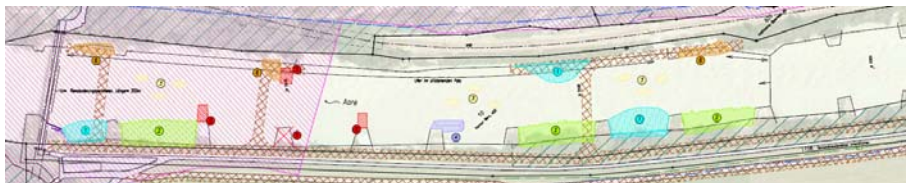
- Keine Berücksichtigung der hydraulischen Bedingungen während Laichgeschäft (mehrere Stunden)
- Bei  $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$  gute Bedingungen
- Kleinere und kürzere Abflussspitzen (typisch für November) können mit IIIa-IIIb gebrochen werden



## Bereits realisierte und künftige morphologische Aufwertungen

«Instream» - Musterstrecke, Realisierung 2014 – 2017

- Geknickte Buhnen + Belebteingruppen
- Fischunterstände mit Totholz und Wurzelstöcken



Aufwertungen

- Flachufer
- Blinde Mündungen
- Laterale Vernetzung

