



## **Einfluss von Schwall/Sunk, Flussmorphologie und Wasserqualität auf schwallbeeinflusste Gewässer**

J. Monney-Ueberl, B. Herzog

### **1 Einleitung**

Als Schwall und Sunk werden Abflussschwankungen bezeichnet, die durch den intermittierenden Betrieb von Speicherkraftwerken ausgelöst werden. Der Maximalabfluss und damit der höchste Pegelstand wird als Schwall bezeichnet, der Minimalabfluss und damit der tiefste Wasserstand als Sunk.

Bei der Auswertung eigener Untersuchungen in der Aare bei Innertkirchen wurde beobachtet, dass die Flussmorphologie mindestens so entscheidend ist für Fauna und Flora wie der Schwallbetrieb.

Verschiedene Publikationen zum Thema Auswirkungen von Schwall und Sunk auf das Leben in und am Wasser unterhalb von hydraulischen Zentralen zeigen, dass neben den rein hydraulischen Kennzahlen des Schwall-Sunk weitere Einflüsse (z.B. Gewässermorphologie und Wasserqualität) grossen, wenn nicht sogar entscheidenden Einfluss auf die Biozönose haben.

Es fehlt bisher eine von Biologen und Ingenieuren gemeinsam erarbeitete Gewichtung der Einflussfaktoren, so dass auch der Wert und die Wirkung der empfohlenen Massnahmen (z.B. Schwallbecken, langsames Anfahren der Turbinen, saisonale Turbinierbeschränkungen, höhere Mindestwasserführung, Umleitstollen für Betriebswasser) ungewiss bleiben.

### **2 Literatur**

In der Grundlagenstudie von Iimnex (2004) zuhanden des WWF Schweiz wird Folgendes festgestellt: „Das Ausmass der Kanalisierung (Verbauung) eines Fliessgewässers kann entscheidend dafür sein, wie stark sich Schwälle auf seine ökologische Struktur und Funktion auswirken. Sind noch ausreichend natürliche oder naturnahe flussmorphologische Strukturen wie Kiesbänke, Schwellenbereiche oder Totholz usw. erhalten und bleibt der Schwallbetrieb innerhalb einigermaßen „verträglicher“ Grenzen, so können sich auch anspruchsvolle und teilweise selten gewordene Organismen behaupten. Das entscheidende Zusammenspiel zwischen morphologischen und hydrologischen Einflussfaktoren ist bisher zu wenig untersucht worden, um daraus allgemein gültige wissen-

schaftlich abgestützte Richt- und Grenzwerte für den Schwallbetrieb abzuleiten.“ Die Autoren kommen zum Schluss, dass die fachlichen Grundlagen zur Beurteilung der Auswirkungen des Schwallbetriebes und allfälliger Massnahmen fehlen. „Die kontaktierten Fachleute waren sich darin einig, dass zurzeit noch keine fachlichen Grundlagen für eine allgemein gültige und zuverlässige, wissenschaftlich abgestützte Regelung des Schwallbetriebes bestehen.“

Möller und Meile (2006) kommen in der Studie „Kraftwerkbedingter Schwall und Sunk“ [2] der VAW und LCH zum Schluss, dass die Artenvielfalt der Fische und des Makrobenthos im 20. Jahrhundert abgenommen hat. „Die Studien kommen zum Schluss, dass für die Verarmung der Fauna und Flora hauptsächlich die drei folgenden Parameter verantwortlich sind: Morphologie (Begradigung, Einengung), Abflussregime (Schwall und Sunk) und Wasserqualität (chemische und physikalische Parameter)...Innerhalb der letzten 30 Jahre hat sich hingegen der Schwall und Sunk nur in 5 von 14 untersuchten Teileinzugsgebieten verändert. Das lässt den Schluss zu, dass in den verbleibenden neun Teileinzugsgebieten der Schwall und Sunk keine massgebende Rolle bei der Veränderung der Gewässerökologie gespielt hat.“ „Demzufolge scheinen gewässerspezifische Zielvorstellungen sinnvoller als allgemeine Richtwerte.“

Die Literaturstudie von Baumann und Klaus (2003) über die gewässer-ökologischen Auswirkungen des Schwallbetriebes konzentriert sich auf die langjährig durch die Kraftwerkbetriebe erhobene Kennzahlen. Ein wesentliches Problem bei der Bewertung der Erhebungen wird in dieser Studie aufgezeigt. „In den Reviews ebenfalls nur selten genannt wird der Referenzzustand, worauf sich die jeweiligen Aussagen zu den Schwallauswirkungen beziehen. Es bleibt oft unklar, ob die pauschal aufgeführten Veränderungen einzelner Indikatoren (z.B. eine Abnahme der Benthos-Biomasse oder der Fische-Artenzahl) gegenüber einer parallel untersuchten Strecke desselben oder eines anderen Gewässers ähnlicher Typologie festgestellt wurden und wie stark bzw. wodurch die Vergleichbarkeit der Referenzstrecke allenfalls eingeschränkt ist.“

### **3 Einflussfaktoren**

Die Biozönose in und am Fluss wird durch verschiedenste Einflussfaktoren gemäss Abb. 1 bestimmt. Aus diesen Einflussfaktoren wurden bisher je nach Blickwinkel der Studie einzelne Messwerte untersucht.

Gemäss ARGE Trübung Alpenrhein (2001) haben Morphologie, Abflussregime und Wasserqualität entscheidenden Einfluss auf das Leben im Fluss und am Ufer.

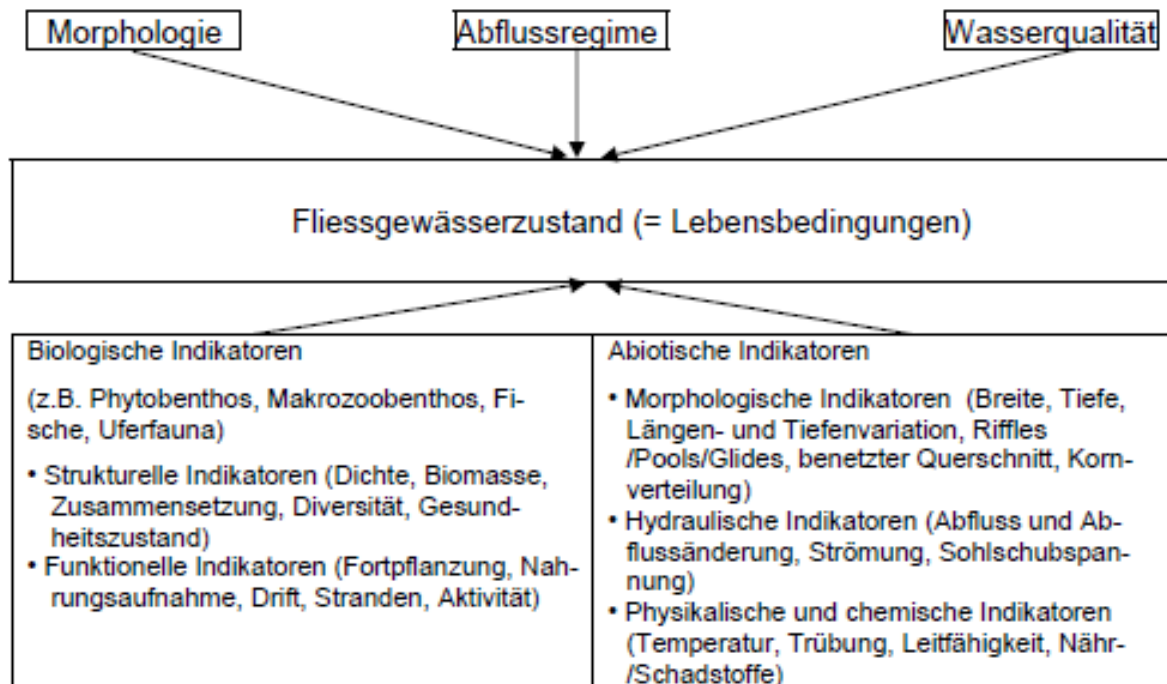


Abb. 1: Einflussgrößen des Gewässerzustandes und entsprechende biologische und abiotische Indikatoren (ergänzt) gemäss ARGE Trübung Alpenrhein (2001).

Viele Untersuchungen über Schwall und Sunk stützen sich vor allem auf die in den hydraulischen Zentralen langjährig aufgezeichneten Werte von

- { Schwall/Sunkverhältnis ( $Q_{\max} / Q_{\min}$ ),
- Schwall/Sunkdifferenz ( $\Delta Q = Q_{\max} - Q_{\min}$ ),
- Relative Schwall/Sunk-Differenz ( $\Delta Q / Q_{\text{mittel}}$ ),
- Schwall- und Sunkraten,
- Pegeldifferenz,
- langjährigem Mittelabfluss,
- nutzbarem Speichervolumen,
- installierter Ausbauwassermenge.

Damit wird nur ein Teil der hydraulischen Indikatoren erfasst. Die weiteren hydraulischen und die meisten morphologischen, physikalischen, chemischen und biologischen Indikatoren fehlen bei einigen Studien über Schwall und Sunk.

Die Erhebung weiterer abiotischer und biotischer Indikatoren bedingt einen beträchtlichen Messaufwand. Ausserdem werden diese Indikatoren nur dann aussagekräftig, wenn ähnliche Indizes oberhalb und unterhalb der Zentrale und bei



möglichst vielen vergleichbaren Gewässern erhoben werden. Nur dann können Schlüsse auf die Auswirkung von Schwall/Sunk gezogen werden.

#### 4 Einflussfaktor Distanz zur Zentrale

Eine interessante Studie wurde 2005 von Künzi (2005) erarbeitet. Es wurden die Fischpopulationen in vier verschiedene Bächen, respektive Flüssen untersucht. Oberhalb, direkt unterhalb der Zentrale und ca. 1000 m und 2000 m unterhalb und in Seitenbächen wurden die Bäche abgefischt.

Die Daten dieser Studie wurden für den vorliegenden Artikel weiter ausgewertet. Entgegen der Erwartung ist beim Ticino die Fischpopulation direkt unterhalb der Zentrale am grössten. Auch beim Büron nimmt die Population direkt unterhalb der Zentrale im Vergleich zur Restwasserstrecke ebenfalls zu. Nur in der Morobbia und beim Secklisbach ist die Population direkt unterhalb der Zentrale am kleinsten und nimmt mit steigendem Abstand zur Zentrale zu.

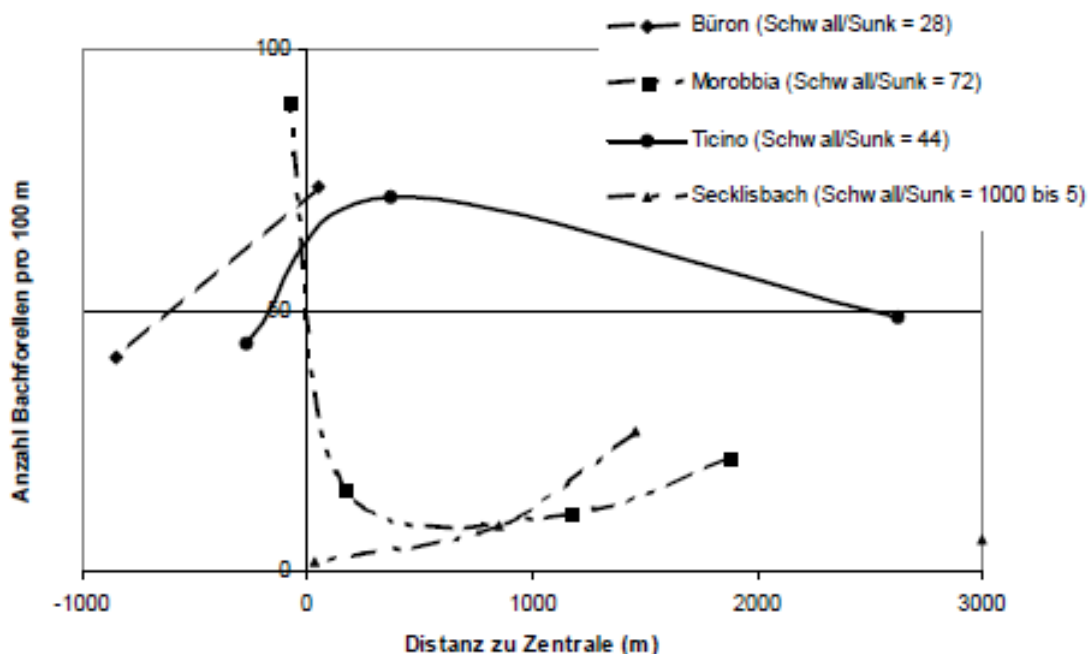


Abb. 2: Anzahl Bachforellen in Abhängigkeit von der Distanz zur Zentrale (0 = Betriebswasserrückgabeort, [-m] = Restwasserstrecke stromaufwärts, [+m] = schwallbeeinflusster Abschnitte unterhalb Zentrale) gemäss [1].

Die Fischpopulation direkt unterhalb der Einleitung des Schwalles kann also zu- oder abnehmen. Künzi (2005) kam zum Schluss, dass bei vier untersuchten Gewässern „die Ergebnisse zeigen, dass bei zwei Fließgewässern eine signifikante Zunahme der Fischbiomasse und –abundanz mit zunehmender Entfernung von der Schwalleinrichtung auftritt (Secklisbach, Marobbia). Eine gene-

relle Zunahme der Artendiversität flussabwärts kann mit Ausnahme der Morobbia nicht beobachtet werden.“

Andere Einflussfaktoren haben also einen ebenso so grossen Einfluss auf die Fischpopulation wie der Schwall/Sunk. Künzi (2005) hält fest, dass „es sich herausstellt, dass eine gute Gewässermorphologie wesentlichen Einfluss auf die Auswirkung eines Schwallbetriebes hat. Das Vorhandensein von Rückzugsmöglichkeiten (Refugien) sowie eine Senkung des Schwall/Sunkverhältnisses haben einen positiven Effekt auf die Abundanz von Jungfischen.“

## 5 Einflussfaktoren Morphologie und Uferverbau

### 5.1 Einflussfaktor Pools/Glides

Ein Pool ist gemäss Künzi (2005) ein „relativ tiefer Gewässerbereich mit langsamer Fliessgeschwindigkeit und feinkörnigem Substrat. Ein Glide ist ein Gewässerbereich mit homogenem Strömungsbild ohne Turbulenzen und mit geringer bis mittlerer Wassertiefe. Unter einem Riffle versteht man rasch-fließende, wenig tiefe Rinnen.“ Aufgrund der Messungen und Auswertungen von Künzi (2005) wurde neu die Abhängigkeit der Bachforellenpopulation vom Variationskoeffizient der Breite und von der Anzahl Pools/Glides ausgewertet.

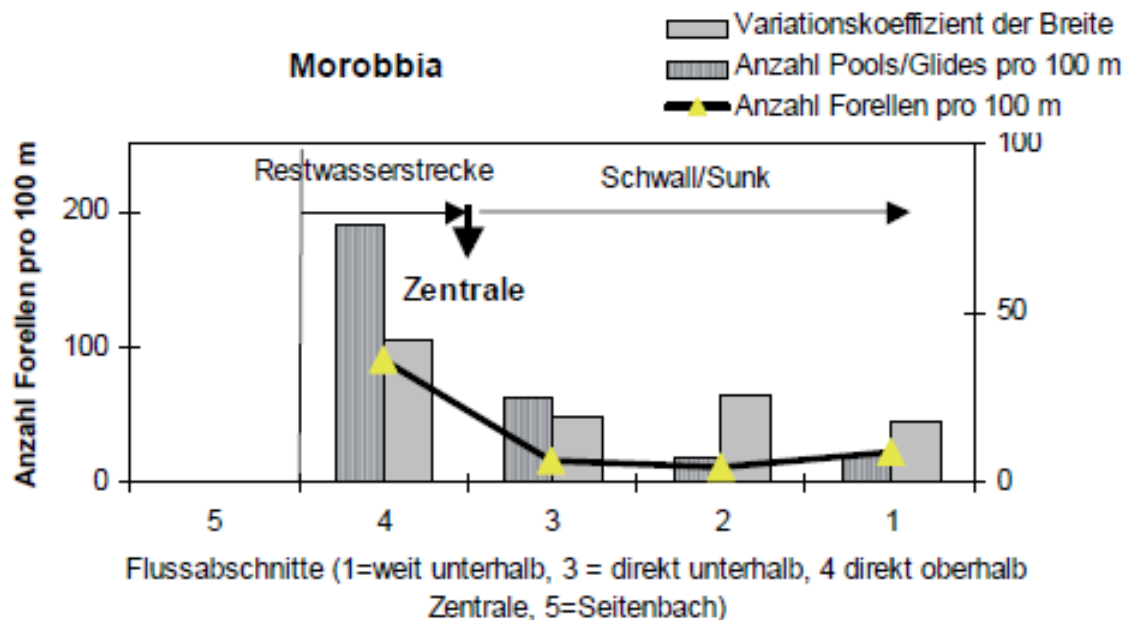


Abb. 3: Bachforellenpopulation im Verhältnis zu Variationskoeffizient der Breite und der Anzahl Pools/Glides der Morobbia.

Bei der Morobbia weist der kanalisierte Streckenabschnitt, der 1170 m weit von der Zentrale entfernt ist, die geringste Population auf (11 Stück pro 100 m). Der Streckenabschnitt direkt unterhalb der Zentrale hat eine grössere Variabilität bezüglich der Tiefe (Pools / Glides), aber die Variabilität noch kleiner als beim kanalisiertem Abschnitt (16 Forellen pro 100 m). Die Strecke oberhalb der Zentrale hat die grösste Variabilität und sehr viele Pools. Mit 90 Stück pro 100 m ist dort die Bachforellenpopulation am grössten.

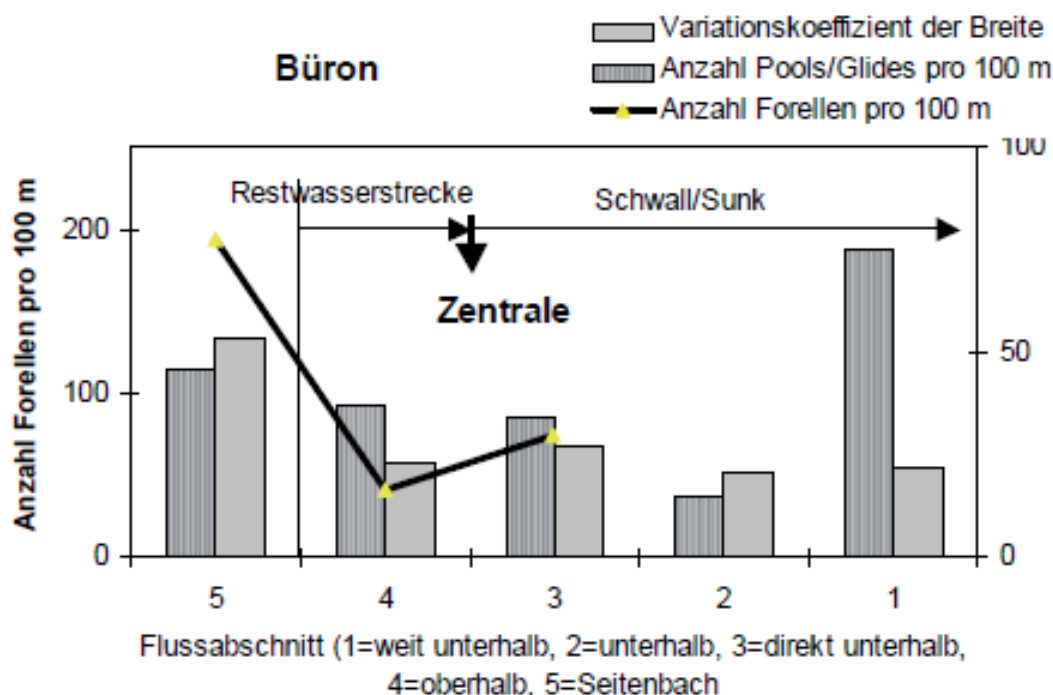


Abb. 4: Bachforellenpopulation im Verhältnis zu Variationskoeffizient der Breite und der Anzahl Pools/Glides des Büron.

Beim Bach Büron beträgt die Variabilität bezüglich der Breite im Vergleich zum Seitenbach Geuensee nur rund die Hälfte. Die Anzahl der Pools ist beim Abschnitt oberhalb der Zentrale grösser als direkt unterhalb der Zentrale. Der Seitenbach weist praktisch keine Pools auf, dafür sehr viele Glides. Im weiter von der Zentrale entfernten Bereich wurden keine Forellen gefangen, weil vermutlich vorher ein Fischsterben stattgefunden hat. Im Seitenbach werden 194 Bachforellen pro 100 m ausgewiesen, in der Strecke oberhalb der Zentrale sind es 51 Stück pro 100 m und unterhalb sind es 62 Stück pro 100 m, wobei zwei Pools total 26 Bachforellen aufweisen.

Beim Ticino weisen die Strecken oberhalb der Zentrale und direkt unterhalb der Zentrale die gleiche mittlere bis starke Kolmatierung auf. Direkt unterhalb der Zentrale werden mehr Bachforellen pro Laufmeter Gewässer gefangen als oberhalb der Zentrale (unterhalb 72 Forellen pro 100 m und oberhalb 44 Forellen pro 100 m).

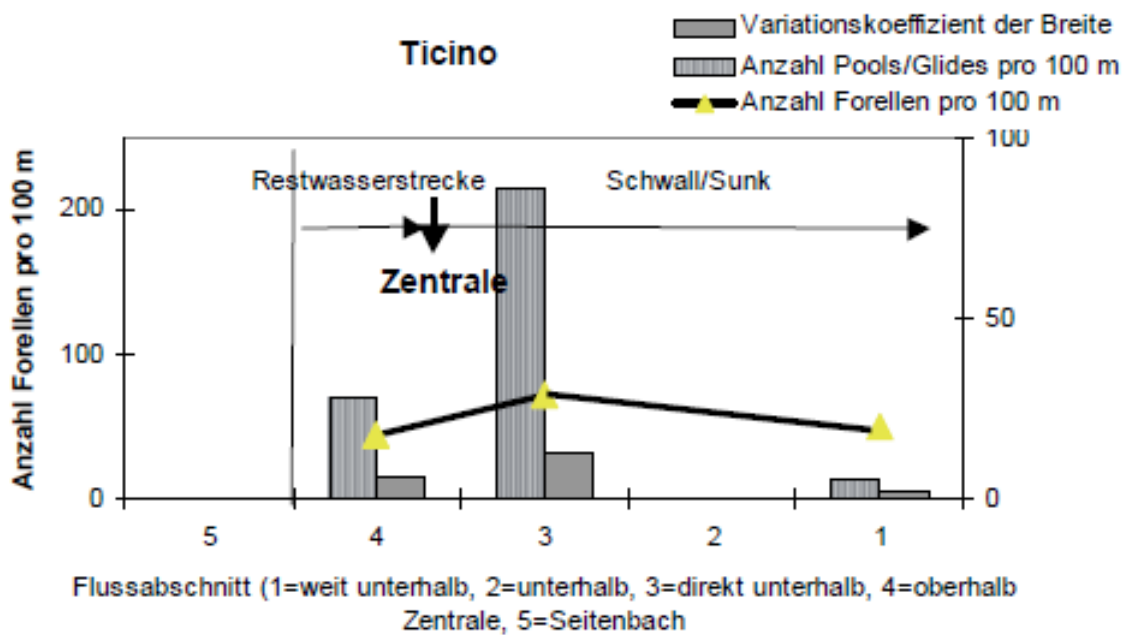


Abb. 5: Bachforellenpopulation im Verhältnis zu Variationskoeffizient der Breite und der Anzahl Pools/Glides des Ticino.

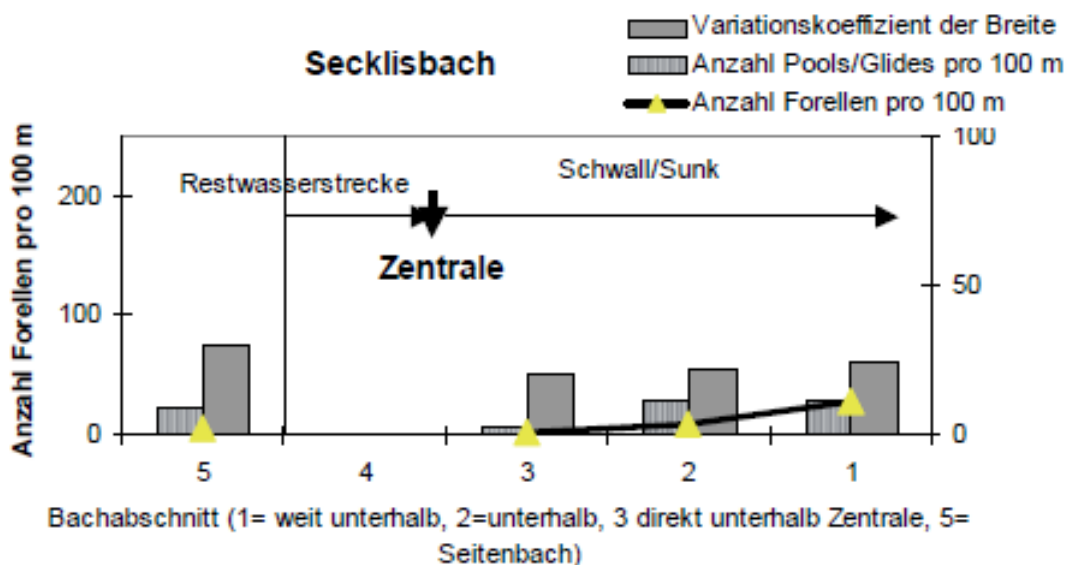


Abb. 6: Bachforellenpopulation im Verhältnis zu Variationskoeffizient der Breite und der Anzahl Pools/Glides des Secklisbach.

Beim Secklisbach hat die Strecke direkt unterhalb der Zentrale am wenigsten Pools, ist sehr gerade und hat wenige Rückzugsmöglichkeiten für die Forellen. Die Abschnitte direkt unterhalb der Zentrale und beim Seitenbach sind vergleichbar. Vergleicht man die Abb. 3 bis 6, so zeigt sich, dass für die Bachforellen vor allem die Anzahl der Pools entscheidend sind. Schwall und Sunk, aber auch die Variationsbreite des Gerinnes scheinen weniger wichtig.



Dies wurde auch im Bericht der ARGE Trübung Alpenrhein (2001) bei den Mastrilser Rheinauen deutlich. Im schwallbeeinflussten Alpenrhein wurde durch eine morphologische Aufwertung eine derartige Verbesserung der Lebensbedingungen erreicht, dass eine mit unbeeinflussten Alpenflüssen vergleichbare Häufigkeit erreicht wurde.

Auch für die Rhone muss gemäss Meile (2005) angenommen werden, dass in erster Linie die Morphologie (kanalisiertes Gerinne zwischen Brig und Genfersee mit Ausnahme der Restwasserstrecken Pfywald und Lavey) und erst in zweiter Linie das Abflussregime für die reduzierte Fauna und Flora verantwortlich ist.

## 5.2 Einflussfaktor Sohlbreite und Uferverbau

Untersuchungen von Herzog (2006) ergaben, dass die Artenvielfalt bezogen auf die Makroinvertebraten unterstrom der Zentrale Innerkirchen der naturnahen Strecke oberhalb der Zentrale gleichwertig ist.

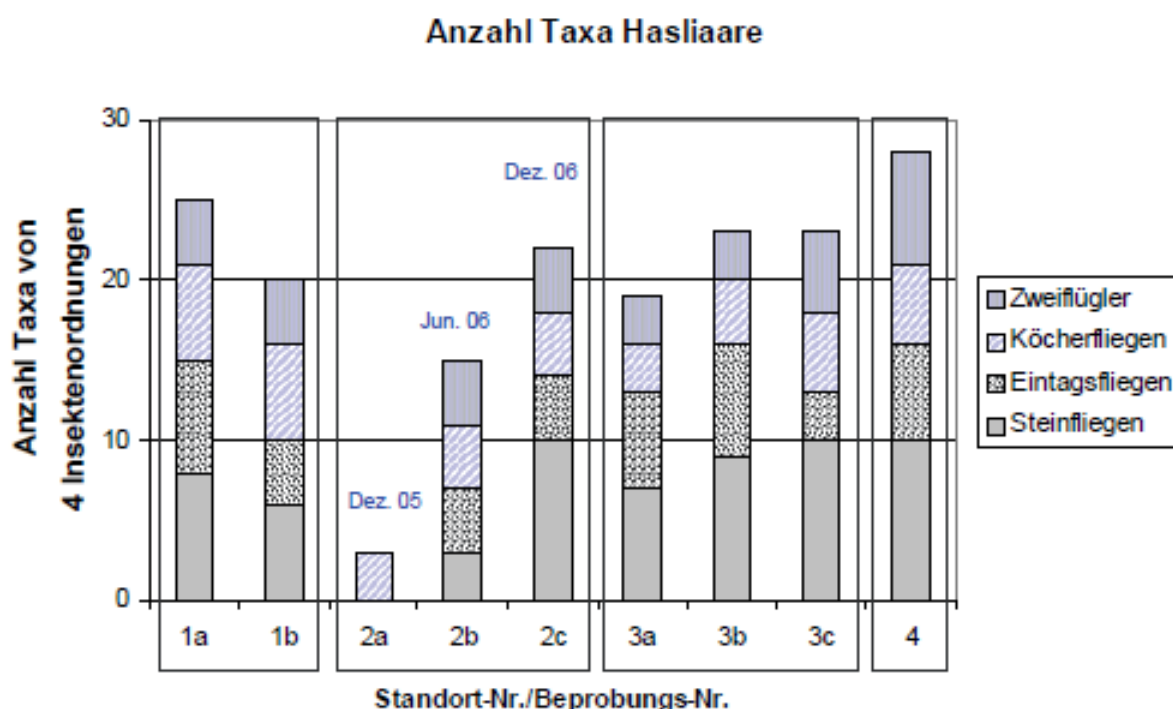


Abb. 7: Anzahl Taxa von vier Insektordnungen in der Hasliaare.  
 Standort Nr. 1: oberhalb Zentrale, naturnah, nicht schwallbeeinflusst.  
 Standort Nr. 2: unterhalb Zentrale, kanalisiert mit Bühnen, dazwischen häufig trockenfallende Sandbänke.  
 Standort Nr. 3: Unterhalb Aareschlucht, Kiesbänke, nicht belebte Steilufer.  
 Standort Nr. 4: bei Unterbach, Kiessohle ständig benetzt, nicht belebte Steilufer.



Die Daten zeigen, dass das Hochwasserereignis 2005 mit den anschliessenden Baggerungen in der Sohle am Standort 2 (Abb. 7) eine erhebliche kurzzeitige Verarmung bewirkte. Die Fauna erholte sich allerdings innert eines Jahres. Am Standort Nr. 4 sind am meisten Taxa vorhanden, obwohl der Schwalleinfluss hydraulisch hier praktisch noch gleich gross ist wie unterhalb der Zentrale (sehr geringer Dämpfungseffekt bis Messstelle Brienzwiler).

Die Unterschiede korrelieren mit den lokalen Lebensbedingungen, welche sich durch die unterschiedlichen Sohlbreiten (trockenfallende Bereiche) und Uferausbildungen ergeben. Da die hydraulischen Unterschiede in den verschiedenen Flussabschnitten gering sind und der Schwallbetrieb sich bis zur Abflussmessstelle Brienzwiler fast ungedämpft fortsetzt, kann davon ausgegangen werden, dass der Einfluss der morphologischen Faktoren für die Artenvielfalt entscheidend ist.

## **6 Zusammenfassung**

Schwall und Sunk dürfen nicht isoliert betrachtet werden, sondern immer nur zusammen mit den anderen Charakteristika des Gewässers. Auch in stark schwallbeeinflussten Strecken haben andere Faktoren einen erheblichen, stellenweise sogar klar überprägenden Einfluss auf die Gewässerbiologie. Es wird vermutet, dass gezielte Verbesserungen der Gewässermorphologie eher geeignet sind, den Einfluss von Schwallbetrieb zu mindern, als die technische Verminderung von hydraulischen Faktoren (Anstiegstrate, etc.) durch schwalldämpfende Massnahmen wie zum Beispiel Schwallbecken

Das Gewicht der einzelnen abiotischen und biotischen Indikatoren sollte durch das Auswerten weiterer schwallbeeinflusster Gewässer untersucht werden. Biologen und Ingenieure sollen dafür gemeinsam Messgrössen festlegen. Aus diesen Untersuchungen sollen dann Zielgrössen formuliert werden, z.B. tiefe Pools, Langsamwasserzonen oder Gerinnebreitenvariabilität. Diese Zielgrössen können wahrscheinlich nicht für alle Gewässer generell definiert werden. Trotzdem können klare Aussagen erwartet werden, unter welchen Bedingungen sich die betrachteten und wichtigen Indikatoren positiv entwickeln.

## Referenzen

- Künzli, F. (2005): Fischökologische Untersuchung in vier schwallbeeinflussten Schweizer Fließgewässern. EAWAG, Kastanienbaum.
- Möller, G., Meile, T. (2006): Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk, Eine Standortbestimmung. VAW 4232, Zürich, LCH 05, Lausanne.
- ARGE Trübung Alpenrhein (2001): Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht im Auftrag der IRKA, Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Grundwasser- und Fischökologie, Vaduz.
- Meile, T., Fette, M., Baumann, P. (2005): Synthesebericht Schwall/Sunk. Publikation des Rhone-Thur Projektes. EAWAG, Kastanienbaum.
- Baumann, P., Klaus, I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Ergebnis einer Literaturstudie, BUWAL Mitteilung zur Fischerei Nr. 75, Bern.
- limnex (2004): Auswirkung des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. WWF Schweiz, Zürich.
- Herzog Ingenieure ETH/SIA / Aquaterra (2006): Umweltverträglichkeitsbericht Innertkirchen 1a, Fachberichte Hydraulik der Oberflächengewässer und Gewässerökologie. KWO, Innertkirchen.

## Adresse der Autoren

Dr. Judith Monney-Ueberl  
Herzog Ingenieure  
Worbstrasse 164  
CH-3073 Gümligen  
E-Mail: [monney@herzog-ingenieure.ch](mailto:monney@herzog-ingenieure.ch)



dipl. Ing ETH SIA Beatrice Herzog  
Herzog Ingenieure  
Worbstrasse 164  
CH-3073 Gümligen  
E-Mail: [herzog@herzog-ingenieure.ch](mailto:herzog@herzog-ingenieure.ch)

