

Weitere Informationen und Auskünfte



Schweizerische Fischereiberatung (FIBER)  
Seestrasse 79  
6047 Kastanienbaum  
Telefon +41 41 349 21 71  
Fax +41 41 349 21 62  
fiber@eawag.ch  
www.fischereiberatung.ch

Link

[www.rivermanagement.ch](http://www.rivermanagement.ch)

Impressum

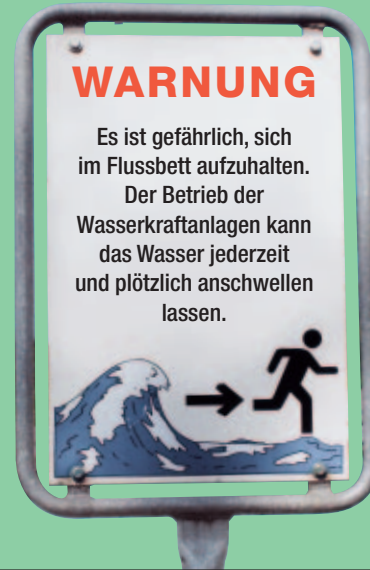
- › Autor & Bezug:  
FIBER – Schweizerische Fischereiberatung
- › Dr. S. Haertel-Borer  
Seestrasse 79  
6047 Kastanienbaum  
Telefon +41 41 349 21 71  
fiber@eawag.ch  
www.fischereiberatung.ch
- › Fachliche Beratung:  
P. Baumann, Limnex AG, Zürich  
T. Meile, EPF, Lausanne  
Dr. M. Fette, EAWAG, Kastanienbaum



Schweizerische Fischereiberatungsstelle  
Bureau suisse de conseil pour la pêche  
Ufficio svizzero di consiglio per la pesca  
Biro svizzer da cussegliaziun per la pestga

## «Schwall/Sunk»

Auswirkungen des Schwallbetriebs  
von Wasserkraftwerken auf Fließgewässer



## «Schwall/Sunk»

### Was versteht man unter Schwallbetrieb?

Unter Schwallbetrieb versteht man einen zeitweise unterbrochenen Turbinenbetrieb von Wasserkraftwerken. Dabei kommt es in der Fliessgewässerstrecke unterhalb eines Kraftwerkes mit Wasserspeicher zu einem Wechsel zwischen hoher (Schwall) und tiefer Wasserführung (Sunk). Diese künstlichen Abflussschwankungen treten meist in regelmässigen Wochen- und Tagesrhythmen auf (oft v. a. an Werktagen, siehe Abb. 1) und sind eng an die Stromnachfrage gekoppelt. In Zeiten mit hoher Stromnachfrage (tagsüber) wird viel Betriebswasser durch die Kraftwerksturbinen abgegeben, und es kommt zum Schwall im Fliessgewässer unterhalb des Kraftwerks. Der Schwallabfluss übersteigt dabei den natürlichen Abfluss meist um ein Vielfaches. Zu Zeiten mit geringer Stromnachfrage (nachts und am Wochenende) wird Wasser im Speicher zurückgehalten, und es kommt zum Sunk. Der Sunkabfluss liegt oft unter dem natürlichen Niedrigwasserabfluss.

### «Schwall/Sunk» in Stichworten

- › bezeichnet künstliche, meist täglich auftretende Abflussschwankungen in Fliessgewässern, hervorgerufen durch Wasserkraftwerke.
- › ist eng an die Spitzenstromproduktion gekoppelt.
- › tritt bei rund 25% der grösseren Schweizer Wasserkraftwerke auf.
- › ist – je nach Schwallgrösse – eine Störung für den betroffenen Fliessgewässerabschnitt und wirkt sich in der Regel negativ auf Fauna und Flora aus.
- › kann – wie erste Beispiele zeigen – durch entsprechende Gegenmassnahmen umweltverträglicher gemacht werden. Vertiefte praktische Erfahrungen und Erfolgskontrollen sind aber noch nötig.

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

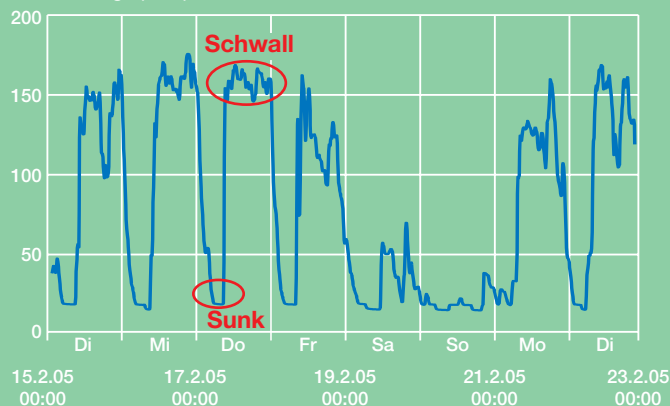


Abb. 1: Abflussmenge des Alpenrheins bei Domat/Ems während einer Woche im Februar 2005 (15.2. bis 22.2.2005; Daten: BWG). Am Beispiel 17.2.2005 sind die Schwall- bzw. Sunk-Phasen gekennzeichnet.

### Produzieren alle Wasserkraftwerke «Schwall/Sunk»?

Bei den Wasserkraftwerken unterscheidet man zwischen Speicher- und Laufkraftwerken: **Speicherkraftwerke** halten in Zeiten mit geringer Stromnachfrage Wasser in Stauseen zurück, mit dem dann zu Zeiten der Spitzennachfrage Strom produziert wird. Zusätzlich zu den tageszeitlichen Schwankungen kommt es – vor allem in den Alpen – auch zu einer jahreszeitlichen Verschiebung des Abflusses, wenn das im Sommer vermehrt anfallende Wasser in Stauseen für winterliche Spitzenenergiebedarfszeiten zurückgehalten wird (8, 9\*). **Laufkraftwerke** arbeiten den Zufluss stetig ab. Es gibt jedoch auch wenige Laufkraftwerke mit Tagesspeichern, die Schwall produzieren können.

### Wie verbreitet ist Schwallbetrieb in der Schweiz?

Rund 56% der inländischen Elektrizitätserzeugung erfolgt in Wasserkraftwerken (5) und der energiewirtschaftliche Nutzungsgrad der Fliessgewässer in der Schweiz ist sehr hoch. Rund 95% der rentabel nutzbaren Fliessgewässerstrecken werden auch genutzt (4). Schätzungsweise 25% aller mittleren und grösseren Wasserkraftwerke (> 300 kW installierte Leistung) verursachen schwallartige Abflussschwankungen

\* Die Nummern in den Klammern beziehen sich auf die entsprechenden Nummern im Literaturverzeichnis (Seite 8).

(3); zum Vergleich der installierten Leistung: Reichenau 18 MW; Verbois 98 MW. Die meisten schwallbeeinflussten Fliessgewässerstrecken liegen an den mittleren bis grösseren Talflüssen in vor- oder inneralpiner Lage (siehe Abb. 2). Es handelt sich dabei v.a. um Gewässer der unteren Forellen- oder der Äschenregion (1).

## Was kennzeichnet den Schwallbetrieb?

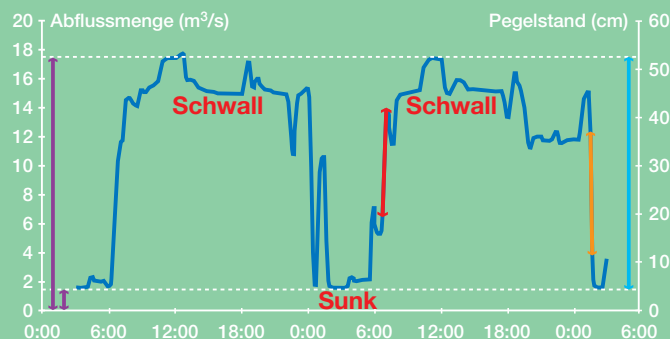
Wichtige Kenngrössen sind (siehe Abb. 3):

- › **Schwall-Sunk-Verhältnis** = Verhältnis zwischen den Abflussmengen bei Maximalschwall und Minimalsunk (X zu 1).
- › **Pegeldifferenz** = Differenz zwischen den Wasserständen (Pegel) bei Maximalschwall und Minimalsunk.
- › **Rate** (= Geschwindigkeit) des Anstiegs und des Rückgangs des Abflusses.
- › **Dauer, Häufigkeit und Vorhersagbarkeit** bestimmter Abflussverhältnisse.

In den bisher untersuchten Schweizer Schwallstrecken wurden winterliche Schwall-Sunk-Verhältnisse von 1,3 zu 1 bis 30 zu 1 gemessen; in einem Extremfall bis 150 zu 1. Das heisst, der maximale Schwallabfluss lag in der Regel 1,3 bis 30 Mal über dem Niedrigwasserabfluss bei Sunk (1). Die gleichzeitig ermittelten Pegeldifferenzen lagen im Bereich 0,1 bis 2,1 m (1).



Abb. 2: Geografische Lage der Kraftwerkszentralen (> 300 kW) mit Schwallbetrieb in der Schweiz (aus 3)



- Verhältnis Maximalschwall : Minimalsunk = 11,7 : 1
- Maximale Rate Schwallanstieg = +0,3 m³/s
- Maximale Rate Schwallrückgang = 0,84 m³/s
- Maximale Pegeldifferenz Schwall-Sunk = 16 m³/s (48 cm)

Abb. 3: Schwall/Sunk-Kennwerte dargestellt anhand der Abflussmenge bzw. des Pegelstandes (verändert nach 1)

## Wie unterscheidet sich ein Schwall von einem natürlichen Hochwasser?

Im Gegensatz zu natürlichen Hochwässern treten Schwallabflüsse regelmässig und viel häufiger auf. Der Rückgang des Abflusses erfolgt deutlich schneller als bei einem natürlichen Hochwasser. Die winterliche Frostperiode stellt in alpinen Gewässern eine natürliche Niedrigwasserperiode dar. Gerade in dieser Zeit ist das Schwall-Sunk-Verhältnis häufig am stärksten ausgeprägt, da hohe Spitzen bei der Stromnachfrage respektive Wasserturbinierung auf die natürliche Niedrigwasserperiode treffen (2, 3).

## Ist «Schwall/Sunk» eine Störung für die Pflanzen- und Tierwelt der Fliessgewässer?

Der Abfluss und seine zeitlichen Veränderungen bestimmen wesentlich die Lebensbedingungen in Fliessgewässern. Tägliche Schwankungen – wie sie durch Schwallbetrieb hervorgerufen werden – kommen natürlicherweise in Schweizer Gewässern nicht vor. Entsprechend hat die Evolution auch keine an Schwallbetrieb angepassten Organismen entstehen lassen – dies im Gegensatz zu den von verschiedenen Spezialisten besiedelten Gezeitenzonen der Meere. Manche Arten kommen mit den täglichen Störungen aber deutlich besser zurecht als andere. So übersteht beispielsweise die Köcherfliege *Allogamus auricollis* periodisches Trockenfallen (6) und

kraftwerksbedingte Temperaturschwankungen (10) recht gut und kann sich so entlang der Ufer von Schwallstrecken behaupten. Häufig beobachtete Auswirkungen, die störend auf die aquatische Pflanzen- und Tierwelt wirken, sind:

- › Plötzliche Veränderung von Abflussmenge, Wassertemperatur, benetzter Gewässerbreite, Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit; dadurch bedingt plötzliche Veränderung des Lebensraumangebots u.a. für Fische und wirbellose Bodentiere (siehe Abb. 4).
- › Abdriften von Tieren und Pflanzen bei Abflussanstieg und Stränden bei Abflussrückgang. Bei den Fischen sind vor allem Fischbrut und Jungfische betroffen, die beim Wasseranstieg entstehende seichte Uferbereiche aufsuchen und beim Wasserrückgang stranden können.
- › Häufig Verminderung von Individuendichte und Biomasse sowie Veränderung der Artenzusammensetzung des Bodentier- und Fischbestandes; häufig Abnahme der Artenvielfalt. In vier österreichischen Flüssen nahm die Bodentierbiomasse in den ersten schwallbeeinflussten Kilometern nach Kraftwerken beispielsweise um 75–95 % ab (12). Dies bedeutet auch ein vermindertes Nahrungsangebot für Fische.
- › Entstehung von verödeten «Wasserwechselzonen» (= Uferbereich, der während des Schwalls geflutet ist und



*Abb. 4: Oben die Saane bei Bösigen unter Abflussbedingungen bei Sunk (Stränden von Tieren, verödete Wechselwasserzonen, Ablagerung von Feinsedimenten) und unten bei Schwall (Abdriften von Pflanzen und Tieren, Aufwirbelung von Feinsedimenten)*

Fotos: BKFV

während des Sunks trockenfällt), da die Lebensbedingungen dort weder für Land- noch für Wasserbewohner gut sind.

- › Aufwirbelung von Feinsedimenten durch Schwälle und Ablagerung in Sunkzeiten. Für den Alpenrhein und die Rhone wurde festgestellt, dass winterlicher Schwallbetrieb die Verstopfung und Verdichtung der Flusssohle durch Feinsedimente (Kolmation) verstärkt (2).
- › Beeinträchtigung der natürlichen Fortpflanzung bei Fischen. Laichen Fische während des Schwalls, kann der Laich beim nächsten Sunk trockenfallen. Beeinträchtigung der Entwicklung von Bachforelleneiern durch die Verdichtung der Flusssohle (siehe oben) mit Schwebstoffen, wie im Alpenrhein gezeigt werden konnte (2).

### Wie weit flussabwärts macht sich Schwallbetrieb bemerkbar?

Der Schwallbetrieb wirkt sich viele Kilometer über den eigentlichen Kraftwerksstandort hinaus aus. In rund der Hälfte von 144 untersuchten französischen Schwallstrecken (1) wie auch in österreichischen Flüssen (12) sind Schwallwirkungen über mehr als 20 km nachgewiesen. In der Schweiz gleichen die Seen im Vorland der Alpen und des Jura die zufließenden Schwälle aus, so dass die daraus abfließenden Mittelland-Flüsse zunächst frei von Schwall/Sunk-Erscheinungen sind (3).

### Hat der Schwallbetrieb zugenommen?

Im Alpenrhein sind die Schwallspitzen seit den 1970er Jahren angestiegen (2, 7). Schweizweit kann nicht von einer generellen Zunahme der Schwalleinwirkung ausgegangen werden, sondern es müssen konkrete Einzelfallprüfungen erfolgen (2). Generell setzt ein Anstieg der maximalen Schwallspitzen eine Erhöhung der installierten Turbinenkapazität voraus. Bedingt durch die Strommarktliberalisierung kann es aber auch zu häufigeren Lastwechseln ohne Erhöhung der Schwallspitzen kommen.

## Wirkt sich «Schwall/Sunk» an natürlichen/naturnahen Gewässern gleich aus wie an naturfernen?

In morphologisch vielfältigen, natürlichen oder naturnahen Gewässern bleibt der ökologische Zustand meist auch unter dem Einfluss von Schwallbetrieb besser als in kanalisierten Gewässern (2). Ohne Folgen bleibt aber «Schwall/Sunk» auch in naturnahen Gewässern nicht. In der Drau/Österreich wurden beispielsweise in einem renaturierten, aber weiterhin schwallbeeinflussten Abschnitt zwar mehr kleine Äschen als in einem kanalisierten, schwallbeeinflussten Abschnitt gefunden. Diese erhöhten Dichten waren aber noch deutlich geringer als in einem vergleichbaren renaturierten Abschnitt ohne Schwalleinwirkung (13). Übersteigt das Schwall-Sunk-Verhältnis in natürlichen oder naturnahen Gewässern ein gewisses Ausmass, können zudem breite verödete Wasserwechselzonen entstehen.

## Gibt es Gegenmassnahmen?

- Veränderte Betriebsweise des Kraftwerks:
  - Reduktion der Geschwindigkeit des Anstiegs und Abfalls des Abflusses (ideal < 10 cm Pegelabnahme pro Stunde für Schwallrückgang (11)).
  - Verringerung der Pegeldifferenz durch höhere Restwassermenge (Sunksituation) und tiefere Schwallmaxima
  - geringere Häufigkeit der Schwälle.
- Bau von Ausgleichsbecken, in denen Schwälle aufgefangen und abgedämpft in den Fluss zurückgegeben werden.
- «Umleitung» des Schwalls durch spezielles Gerinne oder Stollen zu einem grösseren Fluss oder See.

Aktuelle Berechnungen für den Alpenrhein ergaben, dass dort bauliche Massnahmen kostengünstiger umzusetzen sind als betriebliche Massnahmen (7).

## Ist der Schwallbetrieb gesetzlich geregelt?

Der Schwallbetrieb als spezielle Art der Abflussveränderung wird von der Gewässerschutz- und Fischerei-Gesetzgebung der Schweiz explizit noch nicht behandelt. Die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates

prüft jedoch gegenwärtig Möglichkeiten für eine Regelung durch das Gewässerschutzgesetz.

## Wo gibt es offene Fragen und Untersuchungsbedarf?

- Es sind Untersuchungen zur Auswirkung der Häufigkeit der Schwälle auf die Lebensgemeinschaften nötig.
- Es müssen Erfolgskontrollen von schwalldämpfenden Massnahmen durchgeführt werden.
- Die Definition gewässerökologisch zulässiger Grenzwerte für das Schwall-Sunk-Verhältnis und die Geschwindigkeit der Pegelveränderung bei Schwallrückgang ist erforderlich.

### Zugrunde liegende und weiterführende Literatur:

- 1 Baumann P. & Klaus I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebs. BUWAL, Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75 ([www.umweltschweiz.ch/buwal/shop/shop.php?action=show\\_publ&lang=D&id\\_thema=10&series=MFI&nr\\_publ=75](http://www.umweltschweiz.ch/buwal/shop/shop.php?action=show_publ&lang=D&id_thema=10&series=MFI&nr_publ=75)).
- 2 Linnex (2004): Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fliessgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. Grundlagenstudie WWF ([www.wwf.ch/wwfdataarchive/downloads/513.pdf](http://www.wwf.ch/wwfdataarchive/downloads/513.pdf)).
- 3 Linnex (2001): Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fliessgewässern. Grundlagenstudie im Auftrag des BUWAL.
- 4 Jungwirth M., Haidvogel G., Moog O., Muhar S. & Schmutz S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fliessgewässern. UTB Verlag.
- 5 BWG (2005): Wasserkraftnutzung – Zahlen und Fakten ([www.bwg.admin.ch](http://www.bwg.admin.ch)).
- 6 Baumann P. (2004): Revitalisierung und Benthos der Rhone. Schlussbericht SP I-6, Rhone-Thur Projekt, EAWAG, WSL, Linnex AG ([www.rhone-thur.eawag.ch](http://www.rhone-thur.eawag.ch)).
- 7 Wickenhäuser M., Hauenstein W. & Minor H.-E. (2005): Massnahmen zur Schwallspitzenreduktion und deren Auswirkungen. Wasser Energie Luft. 97: 29-38.
- 8 Margot A., Sigg R., Schädel B., Weingartner R. (1992): Beeinflussung der Fliessgewässer durch Kraftwerke und Seeregulierungen. Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 5.3, Landeshydrologie und -geologie (Hrsg.), Bern.
- 9 Meile T., Schleiss A., Boillat J.-L. (2005): Entwicklung des Abflussregimes der Rhone seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts. Conférence sur la recherche appliquée en relation avec la troisième correction du Rhône, 9 juin, Martigny, Communication LCH No 21.
- 10 Frutiger A. (2004): Ecological impacts of hydroelectric power production on the River Ticino. Archiv für Hydrobiologie. 159: 57-75.
- 11 Halleraker J.H., Saltveit S.J., Harby A., Arnekleiv, J.V., Fjeldstad H.-P. & Kohler B. (2003): Factors influencing stranding of juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. River Research and Applications. 19: 589-603.
- 12 Moog O. (1993): Quantification of daily peak hydropower effects on aquatic fauna and management to minimize environmental impacts. Regulated Rivers: Research & Management. 8: 5-14.
- 13 Unfer G., Schmutz S., Wiesner Ch., Habersack H., Formann E., Komposch Ch. & Paill W. (2004): The effects of hydropeaking on the success of river-restoration measures within the LIFE-Projekt «Auenvorland Obere Drau». In: Proceedings of the Fifth International Conference on Ecohydraulics – Aquatic Habitats: Analysis and Restoration, 1, 741-746; IAHR, Madrid; ISBN 90-805649-7-4.