

# > Sanierung Schwall-Sunk Strategische Planung

*Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU



# > Sanierung Schwall-Sunk Strategische Planung

*Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer*

### **Rechtlicher Stellenwert**

Diese Publikation ist eine Vollzugshilfe des BAFU als Aufsichtsbehörde und richtet sich primär an die Vollzugsbehörden. Sie konkretisiert unbestimmte Rechtsbegriffe von Gesetzen und Verordnungen und soll eine einheitliche Vollzugspraxis fördern. Berücksichtigen die Vollzugsbehörden diese Vollzugshilfe, so können sie davon ausgehen, dass sie das Bundesrecht rechtskonform vollziehen; andere Lösungen sind aber auch zulässig, sofern sie rechtskonform sind. Das BAFU veröffentlicht solche Vollzugshilfen (bisher oft auch als Richtlinien, Wegleitungen, Empfehlungen, Handbücher, Praxishilfen u.ä. bezeichnet) in seiner Reihe «Umwelt-Vollzug».

### **Impressum**

#### **Herausgeber**

Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

#### **Autoren**

Peter Baumann, Limnex; Arthur Kirchhofer, WFN;

Ueli Schälchli, Flussbau AG

#### **Begleitung BAFU**

Manfred Kummer, Rémy Estoppey, Martin Huber Gysi

#### **Zitierung**

Baumann P., Kirchhofer A., Schälchli U. 2012: Sanierung

Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.

#### **Gestaltung**

Ursula Nöthiger-Koch, 4813 Uerkheim

#### **Titelbild**

BAFU/AURA 2011

#### **PDF-Download**

[www.bafu.admin.ch/uv-1203-d](http://www.bafu.admin.ch/uv-1203-d)

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2012

# > Inhalt

<b>Abstracts</b>	<b>5</b>		
<b>Vorwort</b>	<b>7</b>		
<b>Zusammenfassung</b>	<b>8</b>		
<b>Einleitung</b>	<b>9</b>		
<b>1 Ausgangslage</b>	<b>11</b>		
1.1 Zweck, Adressaten und Aufbau des Moduls	11		
1.2 Rechtliche Grundlagen	14		
1.3 Anwendungsbereich der Vollzugshilfe:			
Eingrenzung von Schwall und Sunk	15		
1.4 Entstehung von Schwall und Sunk –			
Bedeutung der Wasserkraft für einen stabilen			
Betrieb des Elektrizitätsnetzes	17		
1.5 Bestehende Bewertungsansätze			
für Schwall und Sunk	18		
1.6 Planung und Umsetzung von schwalldämpfenden			
Massnahmen im Überblick	20		
<b>2 Bestimmen der wesentlichen Beeinträchtigungen</b>	<b>22</b>		
2.1 Übersicht	22		
2.2 Ausscheiden der nicht sanierungspflichtigen			
Anlagen	24		
2.2.1 Schwall/Sunk-Verhältnis kleiner als 1.5 zu 1	24		
2.2.2 Notausgang für offensichtlich			
vernachlässigbare Einwirkungen	27		
2.3 Die Abkürzung für klar wesentliche			
Beeinträchtigungen	27		
2.4 Der Schnelltest	28		
2.4.1 Die Indikatoren für den Schnelltest	29		
2.4.2 Anwendung und Grenzen des Schnelltests	30		
2.4.3 Die Untersuchung einer Referenzstrecke	33		
2.4.4 Das Bestimmen der wesentlichen			
Beeinträchtigung anhand des Schnelltests	33		
2.5 Die Grundbewertung	36		
2.5.1 Die Indikatoren für die Grundbewertung	36		
2.5.2 Anwendung und Grenzen der Grundbewertung	37		
2.5.3 Das Bestimmen der wesentlichen			
Beeinträchtigung anhand der Grundbewertung	40		
<b>3 Erstellen des Zwischenberichtes</b>	<b>42</b>		
3.1 Liste der Kraftwerke, die Abflussschwankungen			
		verursachen können	42
		3.2 Angaben über die wesentlichen Beeinträchtigungen	44
		3.3 Ökologisches Potenzial und Grad	
		der Beeinträchtigung	45
		3.4 Mögliche und voraussichtliche	
		Sanierungsmassnahmen	46
		3.5 Kraftwerke, bei denen besondere Verhältnisse	
		vorliegen	48
		<b>4 Erstellen der Planung bis 2014</b>	<b>49</b>
		4.1 Definitive Festlegung der sanierungspflichtigen	
		Kraftwerke	49
		4.2 Planung der Sanierungsmassnahmen	50
		4.2.1 Ausmass und Wirkungsart der	
		Sanierungsmassnahmen	50
		4.2.2 Festlegung der zu treffenden	
		Sanierungsmassnahmen	51
		4.3 Abstimmung der Massnahmen im Einzugsgebiet	53
		4.4 Kraftwerke, bei denen besondere Verhältnisse	
		vorliegen	54
		<b>5 Ausblick auf Planung durch die Inhaber</b>	<b>55</b>
		<b>(2. Phase) und Erfolgskontrolle</b>	
		<b>Anhang</b>	<b>57</b>
		A1 Rechtliche Grundlagen	57
		A2 Konzeptionelle Grundlagen der Untersuchungs-	
		und Bewertungsmethodik	60
		A3 Bestimmung der natürlichen Morphologie(n)	
		und des empfindlichsten Zustandes	68
		A4 Auswahl von Untersuchungsstellen und	
		Referenzstrecken	70
		A5 Vorgehen zur groben Abschätzung des Volumens	
		eines Ausgleichsbeckens	74
		A6 Minimalanforderungen für die kantonale Planung	77
		A7 Indikatorblätter	79
		<b>Literatur</b>	<b>118</b>
		<b>Verzeichnisse</b>	<b>123</b>



## > Abstracts

The current module of the implementation guide on «revitalisation of water courses» outlines a procedure for meeting the requirements of water protection legislation in relation to hydropowering. It describes the individual planning steps and primarily addresses the strategic planning which must be developed by the cantons by 2014. Appropriate assessment methods for evaluating the sections of watercourses impacted by hydropowering are described in detail. It also clarifies any remediation obligation on the hydropower plant causing the hydropowering and the extent of the measures.

Keywords:  
Hydropowering,  
Water protection legislation,  
Cantonal planning,  
Hydropower,  
Watercourses

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» zeigt ein zweckmässiges Vorgehen auf, wie die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung im Bereich Schwall/Sunk erfüllt werden können. Es beschreibt die einzelnen Planungsschritte und behandelt primär die strategische Planung, welche durch die Kantone bis 2014 erarbeitet werden muss. Geeignete Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der durch Schwall und Sunk beeinträchtigten Gewässerabschnitte sowie zur Abklärung einer allfälligen Sanierungspflicht der Schwall verursachenden Kraftwerks-Zentralen und des Ausmasses der notwendigen Massnahmen werden detailliert erläutert.

Stichwörter:  
Schwall/Sunk,  
Gewässerschutzgesetz,  
Kantonale Planung,  
Wasserkraftnutzung,  
Fließgewässer

Le présent module de l'aide à l'exécution «Renaturation des eaux» propose une méthode efficace pour répondre aux exigences de la législation sur la protection des eaux dans le domaine des éclusées. Décrivant les diverses étapes de la planification, il traite avant tout de la planification stratégique que tous les cantons doivent achever jusqu'à fin 2014. Il ne détaille pas seulement les méthodes d'analyse permettant d'évaluer les tronçons de cours d'eau qui subissent des atteintes dues aux éclusées, mais explique également comment décider si une centrale hydroélectrique fonctionnant par éclusées doit être assainie et comment déterminer l'étendue de mesures requises.

Mots-clés:  
éclusées,  
loi sur la protection des eaux,  
planification cantonale,  
exploitation de la force  
hydraulique,  
cours d'eau

Il presente modulo dell'aiuto all'esecuzione «Rinaturazione delle acque» illustra un procedimento adeguato che consente di soddisfare i requisiti posti dalla legislazione sulla protezione delle acque nell'ambito dei deflussi discontinui. Descrive le singole fasi di pianificazione, trattando in primo luogo la pianificazione strategica che i Cantoni devono elaborare entro il 2014. Vengono poi presentati in dettaglio metodi di analisi appropriati per la valutazione dei tratti di corsi d'acqua pregiudicati da deflussi discontinui come pure per la determinazione dell'eventuale obbligo di risanamento di detti deflussi da parte delle centrali idroelettriche in questione e dell'entità delle misure necessarie.

Parole chiave:  
flusso discontinuo,  
legge sulla protezione delle  
acque,  
pianificazione cantonale,  
sfruttamento idrico,  
corsi d'acqua





---

## > Vorwort

Der umfassende Schutz der Gewässer und ihrer vielfältigen Funktionen sowie die nachhaltige Nutzung der Gewässer durch den Menschen sind zentrale Ziele des Gewässerschutzrechts des Bundes. Bei der jüngsten Änderung des Gewässerschutzgesetzes ging es genau darum: unter Berücksichtigung von berechtigten Schutz- und Nutzungsinteressen ausgewogene Lösungen im Bereich des Gewässerschutzes zu finden. Die Änderungen wurden im Dezember 2009 als Gegenvorschlag zur Volksinitiative «Lebendiges Wasser» vom Parlament beschlossen, worauf die Volksinitiative zurückgezogen wurde.

Die die Renaturierung der Gewässer betreffende Revision von Gewässerschutzgesetz und -verordnung, welche am 1. Januar respektive 1. Juni 2011 in Kraft traten, stellt einen weiteren Meilenstein im Schweizer Gewässerschutz dar. Sie hat zum Ziel, die Gewässer als Lebensraum aufzuwerten, damit sie naturnäher werden und einen Beitrag zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität leisten. Die eingezwängten Gewässer müssen wieder mehr Raum erhalten und die negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung sollen gedämpft werden.

Die vorliegende Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» soll die Kantone bei der Umsetzung dieser neuen gesetzlichen Bestimmungen unterstützen und einen schweizweit koordinierten und einheitlichen Vollzug des Bundesrechts ermöglichen. Die modular aufgebaute Vollzugshilfe umfasst alle relevanten Aspekte der Renaturierung der Gewässer in den Bereichen Revitalisierung von Fliess- und stehenden Gewässern, Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sanierung von Schwall und Sunk sowie die Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben. Der Vollzug des Umweltrechts ist Aufgabe der Kantone. Deshalb wurde die Erarbeitung dieser Vollzugshilfe von Arbeitsgruppen mit kantonalen Vertretern begleitet.

Das vorliegende Modul ist der strategischen Planung der Sanierung von Schwall/Sunk gewidmet. Es zeigt auf, wie die bestehenden Beeinträchtigungen durch kurzfristige Änderungen des Wasserabflusses erfasst und bewertet werden können und wie die Sanierungspflicht sowie die Art der möglichen Sanierungsmassnahmen der verursachenden Kraftwerke bestimmt werden können. Das BAFU dankt allen, die zum Gelingen der Publikation beigetragen haben, insbesondere den Mitgliedern der Arbeitsgruppe, die sich für praxistaugliche Lösungen eingesetzt haben.

Willy Geiger  
Vizedirektor  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Stephan Müller  
Chef der Abteilung Wasser  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

---

## > Zusammenfassung

Die vorliegende Publikation zeigt als Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» ein zweckmässiges Vorgehen auf, um die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung im Bereich Schwall und Sunk erfüllen zu können. Es werden praxisorientierte Grundlagen für die Planungen im Bereich Schwall und Sunk durch die Kantone und die Inhaber von Wasserkraftwerken sowie für die Beurteilung dieser Planungen durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) bereitgestellt.

Das Modul folgt den einzelnen Planungsschritten meist chronologisch und verweist auf den jeweiligen Planungshorizont. Im Zentrum des Moduls steht die 1. Phase der Planung durch die Kantone bis Ende 2014. Dabei macht der Kanton eine Bestandsaufnahme aller schwallerzeugenden Anlagen auf seinem Gebiet, untersucht, welche darunter sanierungspflichtig sind und bestimmt die Art der zu treffenden Sanierungsmassnahmen und deren Fristen. Soweit als möglich schätzt er auch das notwendige Ausmass der schwalldämpfenden Massnahmen grob ab. Für diese 1. Phase bietet das vorliegende Modul eine möglichst vollständige und genaue Anleitung. Den Fachleuten steht im Anhang eine detaillierte Erläuterung zu den vorgesehenen Untersuchungs- und Bewertungsmethoden zur Verfügung. Mit dieser Methodik können die durch Schwall und Sunk verursachten Beeinträchtigungen von Fliessgewässern erfasst und damit die schwallerzeugenden Kraftwerks-Zentralen der Schweiz einheitlich beurteilt werden. Der pragmatische Ansatz trägt den kurzen gesetzlichen Planungsfristen und den zu erwartenden hohen Kosten Rechnung und erlaubt es zugleich, mit komplexen Kraftwerks-Situationen umzugehen. Deshalb werden die Bearbeitungstiefen in den verschiedenen Planungsphasen abgestuft und bestehende Daten- und Methodengrundlagen soweit wie möglich berücksichtigt.

Auf die 2. Phase der ausführlicheren Projektplanung von schwalldämpfenden Massnahmen durch die Inhaber und auf die abschliessende Erfolgskontrolle dieser Massnahmen wird ein kurzer Ausblick gegeben.

## > Einleitung

Die eidg. Räte haben am 11. Dezember 2009 Änderungen des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20), des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau (WBG, SR 721.100), des Energiegesetzes vom 26. Juni 1998 (EnG, SR 730.0) und des Bundesgesetzes vom 4. Oktober 1991 über das bürgerliche Bodenrecht (BGBB, SR 211.412.11) beschlossen. Die Änderungen traten am 1. Januar 2011 in Kraft. Die Parlamentsbeschlüsse betreffen die Renaturierung der Gewässer und geben zwei Stossrichtungen vor:

- > die Förderung von Revitalisierungen (Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen) sowie Sicherung und extensive Bewirtschaftung des Gewässerraums;
- > die Reduktion der negativen Auswirkungen der Wasserkraftnutzung durch die Verminderung der Auswirkungen von Schwall und Sunk unterhalb von Wasserkraftwerken, durch die Reaktivierung des Geschiebehaushalts sowie die Sanierung nach Fischereigesetz (Art. 10) wie z. B. die Wiederherstellung der Fischgängigkeit.

Die Änderung des Gewässerschutzgesetzes vom 11. Dezember 2009 erfordert u. a. Änderungen der Gewässerschutzverordnung in den betroffenen Bereichen. Die revidierte GSchV trat am 1. Juni 2011 in Kraft.

Die vorliegende Publikation ist ein Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer», welche die Kantone bei der Umsetzung der neuen gesetzlichen Bestimmungen unterstützen soll. Die Vollzugshilfe umfasst alle relevanten Aspekte in den Bereichen Revitalisierung Fließgewässer, Revitalisierung stehende Gewässer, Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung, Schwall-Sunk-Sanierung, Wiederherstellung des Geschiebehaushalts sowie die Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben. Sie ist modular aufgebaut und beinhaltet für die verschiedenen Bereiche Module zur strategischen Planung, zur Umsetzung konkreter Massnahmen, zur Finanzierung, zum Datenmodell und den Anforderungen an die Daten gemäss Geoinformationsgesetz sowie ein über den Themenbereich der Renaturierung hinausgehendes Modul zur Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben (siehe untenstehende Übersichtstabelle).

Änderung des  
Gewässerschutzrechts

Vollzugshilfe  
«Renaturierung der Gewässer»

**Übersicht Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer»**

Die vorhandenen Module stehen auf der Website [www.bafu.admin.ch/Vollzug-Renaturierung](http://www.bafu.admin.ch/Vollzug-Renaturierung) zur Verfügung.

Revitalisierung Fließgewässer	Revitalisierung Stillgewässer	Auen	Fisch- wanderung	Schwall-Sunk	Geschiebe- haushalt
Strategische Planung:					
Umsetzung der Massnahmen:					
Finanzierung:					
Datenmodelle und Daten:					
Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben:					

Das vorliegende Modul «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» zeigt auf, wie die bestehenden wesentlichen Beeinträchtigungen durch kurzfristige künstliche Änderungen des Wasserabflusses (Art. 39a GSchG) im Rahmen der strategischen Planung durch die Kantone erfasst, ihre Sanierungspflicht abgeklärt und die Art der zu treffenden Sanierungsmassnahmen sowie deren Umsetzungsfristen bestimmt werden können.

Strategische Planung  
Schwall/Sunk

# 1 > Ausgangslage

---

## 1.1 Zweck, Adressaten und Aufbau des Moduls

Mit dem vorliegenden Modul soll ein praktisches Vorgehen aufgezeigt werden, um die Anforderungen von GSchG und GSchV im Bereich Schwall und Sunk erfüllen zu können. Sie verfolgt im Einzelnen folgende Ziele:

Zweck und Aufbau des Moduls

- > Es sollen praxistaugliche Grundlagen bereitgestellt werden für die Planungen im Bereich Schwall und Sunk durch die Kantone und die Inhaber von Wasserkraftwerken sowie für die Beurteilung dieser Planungen durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU). Damit wird von Beginn an ein für alle Beteiligten nachvollziehbarer, transparenter Umsetzungsprozess angestrebt.
- > Es soll eine Untersuchungs- und Bewertungsmethodik vorgestellt werden, mit welcher die durch Schwall und Sunk verursachten Beeinträchtigungen von Fließgewässern möglichst genau und unabhängig von anderen anthropogenen Eingriffen erfasst werden können. Eine solche Methodik erlaubt es auch, die schwallerzeugenden Kraftwerks-Zentralen der Schweiz auf möglichst einheitliche Weise zu behandeln. Das ist sowohl im Sinne der Rechtsgleichheit als auch im Interesse eines optimalen Einsatzes der zur Verfügung stehenden Mittel für schwalldämpfende Massnahmen.
- > Es soll eine pragmatische Vorgehensweise gewählt werden, welche einerseits den kurzen gesetzlichen Planungsfristen, andererseits aber auch den oft sehr hohen Kosten für die notwendigen Massnahmen Rechnung trägt. Um in diesem Spannungsfeld innert nützlicher Frist zu seriösen Bewertungen und Massnahmenvorschlägen zu gelangen, wird die Bearbeitungstiefe in den verschiedenen Planungsphasen abgestuft und der Einbezug von möglichst vielen schon bestehenden Daten und Methoden angestrebt.
- > Die vorgesehenen Untersuchungs- und Bewertungsmethoden sollen so ausführlich beschrieben werden, dass sie von Fachleuten ohne weitere Erläuterungen angewandt werden können. Damit soll es den Kantonen auch ermöglicht werden, anhand dieser Vollzugshilfe mit den notwendigen Arbeiten für die ersten Planungsschritte unverzüglich zu beginnen.

Abb. 1 zeigt in einer schematischen Übersicht die einzelnen Planungsphasen und -schritte, soweit sie im vorliegenden Modul behandelt werden.

Das Modul ist im Prinzip chronologisch aufgebaut, behandelt die einzelnen Planungsschritte also in jener Abfolge, in der sie auch konkret zu bearbeiten sind (Abb. 1). Nicht in diese zeitlichen Abfolge passt Kapitel 2.5, das die Grundbewertung behandelt. Anders als in Abb. 1 dargestellt, wird die Grundbewertung bis zur Erstellung des Zwischenberichtes, also bis zum 30. Juni 2013, oft nicht abgeschlossen werden können. In der Regel werden die Resultate der Grundbewertung vielmehr erst in den abschliessenden Bericht zur Planung einfließen, den der Kanton bis zum 31. Dezem-

---

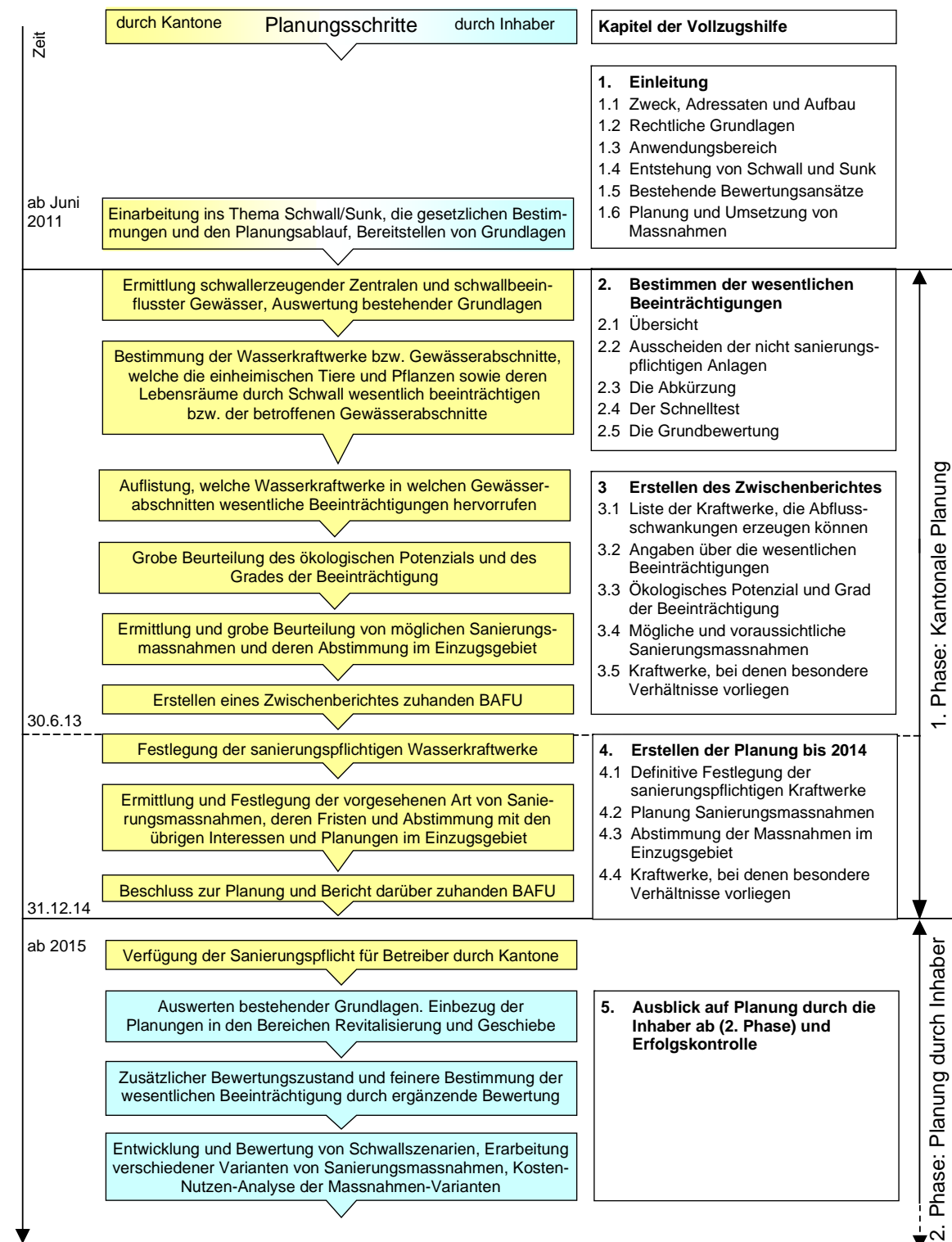
ber 2014 oder, bei komplexen Situationen mit mehreren Kraftwerken im gleichen Einzugsgebiet, auf einen noch späteren Zeitpunkt fertigstellt.

In Kapitel 1.2 des Moduls werden die neuen gesetzlichen Bestimmungen zu Schwall und Sunk und in Kapitel 1.3 deren Anwendungsbereich erläutert. Kapitel 1.4 behandelt die Entstehung von Schwall und Sunk, und in Kapitel 1.5 werden einige bestehende Bewertungsansätze vorgestellt. Kapitel 1.6 gibt einen Überblick über den Ablauf des ganzen Planungs- und Umsetzungsprozesses (inkl. jener Phasen, die hier nicht behandelt werden) und über die daran Beteiligten (Ämter, Inhaber).

Im Zentrum des Moduls steht die 1. Phase der Planung durch die Kantone. Dabei macht der Kanton eine Bestandesaufnahme aller schwallerzeugenden Anlagen auf seinem Gebiet, untersucht, welche darunter sanierungspflichtig sind und bestimmt die Art der zu treffenden Sanierungsmassnahmen und deren Fristen. Soweit als möglich schätzt er auch das notwendige Ausmass der schwalldämpfenden Massnahmen grob ab.

Für diese 1. Phase soll im vorliegenden Modul eine möglichst vollständige und detaillierte Vorgehensweise aufgezeigt werden (Kap. 2 bis 4).

**Abb. 1 > Schematische Übersicht über alle Schritte und Phasen der Planung und Umsetzung im Bereich Schwall und Sunk sowie über die entsprechenden Kapitel des Moduls**



In Kapitel 5 wird, soweit das aus heutiger Sicht schon möglich ist, ein kurzer Ausblick auf die 2. Phase der Planung durch die Inhaber und auf die Erfolgskontrolle (vgl. Abb. 3) gegeben. Nach dem Anhang folgt ein ausführliches Literaturverzeichnis sowie ein Glossar zur Erläuterung der wichtigsten Fachbegriffe.

Das Modul richtet sich hauptsächlich an die Kantone, aber auch an die Inhaber von schwallerzeugenden, durch die Kantone als sanierungspflichtig eingestuften Anlagen. Diese Inhaber werden schon in der 1. Phase in die grobe Planung von schwalldämpfenden Massnahmen einbezogen.

Anhang A6 enthält die Minimalanforderungen des BAFU an die kantonale Planung.

Um das Modul möglichst übersichtlich und lesbar zu machen, sind einige theoretische und konzeptionelle Grundlagen der Untersuchungs- und Bewertungsmethodik sowie die ausführlichen Beschreibungen der einzelnen Indikatoren im Anhang zusammengestellt. Diese Einzelheiten sind integrale Bestandteile der beschriebenen Vorgehensweise und bei der Ausführung deshalb ebenfalls zu beachten.

## 1.2

### Rechtliche Grundlagen

Das GSchG verpflichtet die Inhaber von Wasserkraftwerken in Artikel 39a dazu, kurzfristige künstliche Änderungen des Wasserabflusses, (Schwall und Sunk), welche die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume *wesentlich beeinträchtigen*, mit baulichen Massnahmen zu verhindern oder zu beseitigen. Auf Antrag eines Inhabers kann dies auch mit betrieblichen Massnahmen geschehen. Eine wesentliche Beeinträchtigung liegt gemäss Artikel 41e der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) dann vor, wenn die Abflussmenge bei Schwall mindestens 1,5mal grösser ist als bei Sunk und gleichzeitig die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften nachteilig verändert werden. Anhang A1 gibt die Bestimmungen des GSchG und der GSchV zu Schwall und Sunk im Wortlaut wieder.

Die schwalldämpfenden Massnahmen müssen im Einzugsgebiet aufeinander abgestimmt werden und richten sich nach dem Grad der Beeinträchtigung, dem ökologischen Potenzial des Gewässers, der Verhältnismässigkeit des Aufwandes, den Interessen des Hochwasserschutzes sowie den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien (Artikel 39a Absatz 2 und 3 GSchG). Bei der Festlegung des ökologischen Potenzials ist bei einem naturnahen Gewässer dessen ökologische Bedeutung im heutigen Zustand zu berücksichtigen und bei einem nicht naturnahen Gewässer dessen mögliche Bedeutung im Zustand, in dem die vom Menschen verursachten Beeinträchtigungen so weit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten machbar ist (Art. 33a GSchV).

In Artikel 83a GSchG ist festgelegt, dass die bestehenden schwallerzeugenden Wasserkraftwerke innert 20 Jahren nach Inkrafttreten der Revision nach den Vorgaben von Artikel 39a GSchG saniert werden müssen. Diese Sanierungsfrist läuft bis zum 31. Dezember 2030. Die Kantone planen die notwendigen Sanierungsmassnahmen gemäss

Sanierungsziel,  
20jährige Sanierungsfrist



Artikel 83b G SchG und legen die Fristen zu deren Umsetzung fest. Die Kantone reichen die Planung bis Ende 2014 dem Bund ein und erstatten ihm alle vier Jahre Bericht über die durchgeführten Massnahmen. In Artikel 41f GSchV und Anhang 4a Ziffer 1 und 2 G SchV werden Inhalt und Vorgehen bei der Planung der Sanierungsmassnahmen präzisiert. So ist bis zum 30. Juni 2013 ein Zwischenbericht einzureichen, in dem insbesondere festgelegt wird, welche Wasserkraftwerke Massnahmen treffen müssen sowie Angaben über die voraussichtlichen Massnahmen gemacht werden. Das Vorgehen zur Umsetzung der geplanten Massnahmen ist in Artikel 41g GSchV näher ausgeführt. Vorgesehen ist unter anderem, dass die Inhaber von Wasserkraftwerken, welche gemäss der Planung der Kantone Massnahmen treffen müssen, verschiedene Varianten von Sanierungsmassnahmen prüfen und dass die kantonale Behörde vor ihrem Entscheid über das Sanierungsprojekt das BAFU anhört.

### 1.3 Anwendungsbereich der Vollzugshilfe: Eingrenzung von Schwall und Sunk

Als Schwall/Sunk-Betrieb oder kurz Schwallbetrieb bezeichnet man mehr oder weniger regelmässige tägliche Abflussschwankungen, die durch den intermittierenden Betrieb von Wasserkraftwerken entstehen. Dabei werden in Zeiten mit hohem Strombedarf grosse Wassermengen turbinert und ins Gewässer zurückgegeben, was dort zu einem Abflussmaximum führt (Schwall). In den Zeiten mit geringerer Nachfrage, also meist in der Nacht, an Wochenenden und über Feiertage, geht die turbinerte Wassermenge und damit auch der Abfluss im Rückgabegewässer auf ein Minimum zurück (Sunk). Wichtige Eigenheiten (Kennwerte) einer schwallbeeinflussten Ganglinie sind neben dem Schwall- und dem Sunkabfluss auch deren Verhältnis und Amplitude sowie die maximalen Geschwindigkeiten (Raten) des Pegel-Anstiegs und -Rückgangs beim Übergang zwischen den beiden Abflusszuständen (Abb. 2).

Definition und Charakteristik

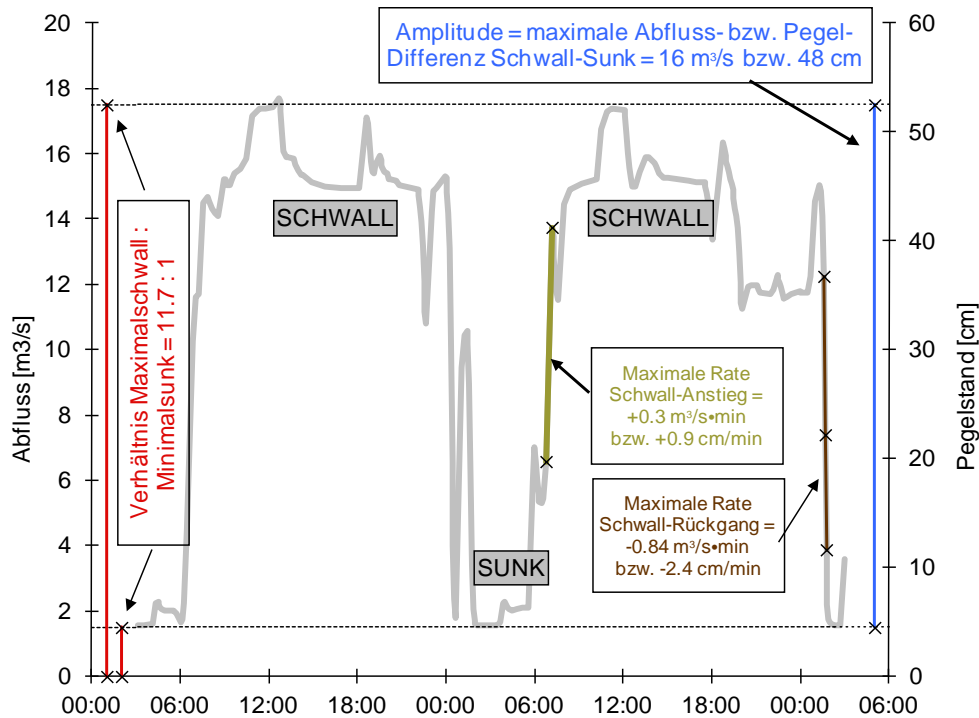
Als Verursacher von schwallbedingten Abflussschwankungen in Fliessgewässern kommen hauptsächlich die Speicherkraftwerke in Frage, die das Wasser in Speicherseen über kürzere oder längere Zeit (einige Tage bis Monate) zurückhalten und zur Zeit der grössten Stromnachfrage «konzentriert» abturbinieren können. Die Bestimmungen des GSchG zu Schwall und Sunk betreffen aber ausdrücklich auch jene Flusskraftwerke, die «an grossen Flüssen durch kleine Variationen des Wasserpegels im Stau ebenfalls grosse Abflussschwankungen unterhalb der Zentrale verursachen» (UREK SR 2008). Derartige Abflussschwankungen aus Laufwerken werden teilweise auch als *Schwell*betrieb bezeichnet, um sie vom häufigeren Schwallbetrieb aus Speicherwerken sprachlich abzugrenzen.

Unter Schwall und Sunk werden in UREK SR (2008) sinngemäss nur jene regelmässigen und kurzfristigen Abflussschwankungen verstanden, die sich direkt aus der tageszeitlich variierenden, «ordentlichen» Abarbeitung des Betriebswassers in Wasserkraftwerken ergeben. Dabei können auch Anlagen mit einer verhältnismässig kleinen Rückhalte-Kapazität (z. B. Wochenspeicher) durchaus Schwälle erzeugen. Ob gelegentlich auch noch kleinere Anlagen, z. B. wasserbetriebene Mühlen oder Sägen mit Speicherweihern, als schwallerzeugend zu behandeln sind, ist von Fall zu Fall zu entscheiden. Gemäss UREK SR (2008) wäre dies dann zu prüfen, wenn solche Anlagen «problematische Abflussschwankungen verursachen».

**Abb. 2 > Wichtige Kennwerte des Schwallbetriebes, dargestellt anhand der Abfluss- bzw. Pegelganglinie eines schwallbeeinflussten Fließgewässers**

Prinzip-Darstellung aus Baumann & Klaus (2003), verändert.

Die Kennwerte beruhen auf Messdaten im Intervall von  $\leq 10$  Minuten.



Nicht als Schwallbetrieb im Sinne von Artikel 39a GSchG gelten alle übrigen anthropogen bedingten Veränderungen des Abflusses, z. B. tagesrhythmische Abflussschwankungen, die nicht vom Betrieb von Wasserkraftwerken herrühren. Dies trifft etwa zu für die Einleitung von gereinigtem Abwasser aus einer Kläranlage, welches ebenfalls zu gewissen Tageszeiten in grösserer Menge anfällt. Die dadurch hervorgerufenen Tagesschwankungen in der Wasserführung sind aber kaum je so stark ausgeprägt wie kraftwerksbedingte Schwälle. Ebenfalls nicht unter den Begriff Schwall und Sunk fallen sodann jene Abflussspitzen aus Wasserkraftwerken, die normalerweise eher unregelmässig auftreten (Spülungen von Stauffassungen oder Entsandern, Notabschaltungen, reiner Schaubetrieb von Kleinwasserkraftwerken an Wochenenden usw.).

Nicht als Schwall und Sunk gelten schliesslich auch regelmässige natürliche Abflussschwankungen, wie sie, bedingt durch die Schnee- und Gletscherschmelze, im Sommerhalbjahr besonders in Hochgebirgs- und Gebirgsbächen sehr ausgeprägt sein können. Auch unregelmässige, meist durch Hochwasser ausgelöste Abflussspitzen erreichen oft viel höhere Werte als Kraftwerks-Schwälle. Sie treten dafür aber viel weniger häufig auf und verlaufen, v. a. auf ihrem absteigenden Ast, ausserdem meist wesentlich flacher.

Die neuen Bestimmungen zu Schwall und Sunk in GSchG und GSchV gelten, wie aus den Erläuterungen in UREK SR (2008) hervorgeht, nur für die Rückgabe von turbinier-tem Wasser in ein Fliessgewässer, nicht jedoch für die Rückgabe direkt in einen See (Beispiel 1).

#### **Beispiel 1: Direkteinleitung in einen See**

*Es gibt in der Schweiz nur wenige Kraftwerks-Zentralen, die ohne dazwischenliegendes Fliessgewässer direkt in einen See einleiten. Ein Beispiel ist die Zentrale am Lago Maggiore bei Brissago. In dieser Zentrale wird das gesamte Wasser aus den zahlreichen Fassungen im ganzen Maggiatal, nachdem es über verschiedene Stufen ins Ausgleichsbecken Palagnedra gelangt ist, nochmals turbiniert und anschliessend direkt in den See eingeleitet. Bis dahin wird dieses Betriebswasser auf seinem ganzen Weg immer in separaten Stollen oder Druckleitungen geführt und gelangt somit nie in ein Fliessgewässer zurück. Deshalb ist diese ausgedehnte Kraftwerksanlage von den Bestimmungen im GSchG zu Schwall und Sunk zum vornherein nicht betroffen.*

#### 1.4

### **Entstehung von Schwall und Sunk – Bedeutung der Wasserkraft für einen stabilen Betrieb des Elektrizitätsnetzes**

Der stabile Betrieb des Elektrizitätsnetzes bedingt, dass immer so viel elektrische Leistung eingespeist wird, wie gerade von den Verbrauchern benötigt wird. Dies folgt aus der physikalischen Gegebenheit, dass elektrische Stromnetze keine Energie speichern können. Kleinere Abweichungen zwischen Einspeisung und Verbrauch führen zur Änderung der Netzfrequenz, grössere können Stromausfälle verursachen. Der Leistungsbedarf der Verbraucher («Stromverbrauch») ist im heutigen Elektrizitätsnetz kaum steuerbar und hängt vom Tagesrhythmus der Industrie, des Verkehrs sowie der Haushalte ab.

Ursache und Bedeutung  
für die Stromversorgung

Im Tagesverlauf kommt es am Morgen und am späten Nachmittag zu Verbrauchsspitzen, wo hingegen der Leistungsbedarf während der Nachtstunden stark zurück geht. In der Schweiz stammt die Elektrizität zu 38 % aus Kernkraftwerken, zu 6 % aus konventionell-thermischer und anderer (neue erneuerbare Energien) Erzeugung, zu 24 % aus Laufwasserkraftwerken und zu 32 % aus Wasserkraftwerken mit Speicher (Elektrizitätsstatistik 2010). Kernkraftwerke und Laufwasserkraftwerke erzeugen sogenannte Grundlast und erlauben es nicht, die eingespeiste Leistung dem Verbrauch anzupassen. Die einzigen Kraftwerkstypen, die es in der Schweiz erlauben, die Produktion kurzfristig dem Bedarf anzupassen, sind Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke (auch möglich wäre der Einsatz von Gaskraftwerken zur Deckung der Verbrauchsspitzen, diese Produzieren jedoch erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub>). Wenn in den Morgenstunden der Stromverbrauch ansteigt, müssen die Speicherkraftwerke mehr Wasser turbinieren und geben somit mehr Wasser ins Gewässer zurück. Es entsteht ein Schwall. Während der Nachtstunden geht der Leistungsbedarf der Verbraucher (Industrie, Verkehr und Haushalte) soweit zurück, dass dieser von den Grundlastkraftwerken (Kernkraftwerke und

Laufwasserkraftwerke) gedeckt werden kann. Die Speicherkraftwerke reduzieren ihre Leistung oder werden ganz abgestellt, was im Gewässer zu einem Sunk führt. Ohne diese Leistungsregelung durch die Speicherkraftwerke, wäre der zuverlässige Betrieb des Elektrizitätsnetzes nicht möglich.

1.5

## Bestehende Bewertungsansätze für Schwall und Sunk

Um Art und Ausmass der Abfluss-Veränderungen durch den Schwallbetrieb zu beschreiben, können verschiedene hydrologische Kennwerte herangezogen werden. Neben den in Abb. 2 dargestellten sind noch eine ganze Reihe von weiteren solchen Indikatoren vorgeschlagen worden (Meile et al. 2005, 2011).

Kennwerte

Einige dieser Kennwerte werden auch dazu verwendet, um die mutmasslichen gewässerökologischen Auswirkungen eines bestimmten Schwallbetriebes abzuschätzen bzw. zu bewerten. Es sind dies in erster Linie das Verhältnis von Schwall- zu Sunkabfluss sowie die Raten der Pegelveränderung bei Schwallanstieg und -rückgang. Diese Bewertungen beruhen bisher jedoch erst auf verhältnismässig wenigen gut untersuchten Fällen, und auch innerhalb dieser Fälle weichen die resultierenden Einstufungen teilweise beträchtlich voneinander ab (Baumann & Klaus 2003, Linnex 2004, Meile et al. 2005). Es ist daher nach heutigem Wissensstand immer noch mit grossen Unsicherheiten verbunden, wenn der gewässerökologische Eingriff durch schwallbedingte Abflussschwankungen allein aufgrund von hydrologischen Kennwerten beurteilt wird.

Eine hydrologische Bewertung stellt aber oft eine sinnvolle Ergänzung zu gewässerökologischen Beurteilungen dar, weil sich die hydrologischen Kennwerte einfach berechnen und damit problemlos auf andere als die aktuell herrschenden Abflussregimes anwenden lassen. Bei vielen ökologischen Indikatoren, wie etwa der Häufigkeit oder Biomasse verschiedener Organismen, ist diese Übertragung (Extrapolation) hingegen mit viel grösseren Schwierigkeiten verbunden oder überhaupt nicht möglich.

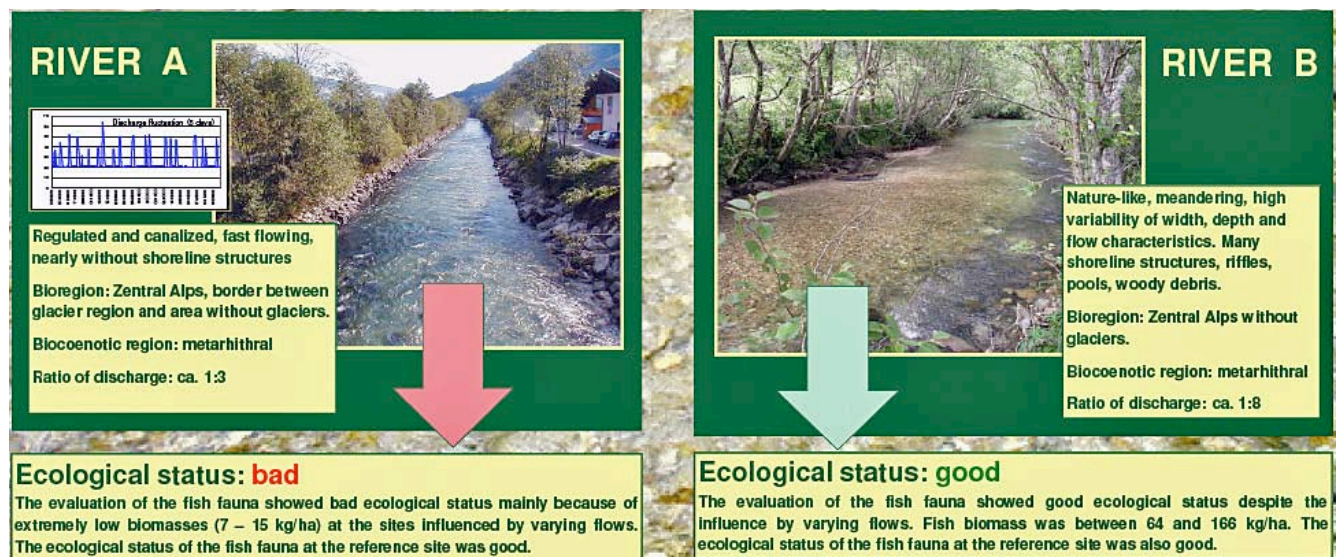
In der Schweiz existiert mit dem Modul Hydrologie–Abflussregime (kurz HYDMOD) auf Stufe F des Modul-Stufen Konzepts (MSK) eine Methode, welche auch die Bewertung des «Schwall/Sunk-Phänomens» anhand von rein hydrologischen Kriterien umfasst (Pfaundler et al. 2011). Erfasst und bewertet werden dabei hauptsächlich das Schwall/Sunk-Verhältnis (für die Intensität des Schwall/Sunk-Impulses) und das Verhältnis zwischen aktuellem Schwallabfluss und mittlerem jährlichem Abfluss im unbeeinflussten Zustand (für den hydraulischen Stress durch Schwallabfluss). Als Korrekturfaktoren mit weniger grossem Einfluss auf das Endresultat gehen zudem Pegeländerungsraten zwischen Schwall- und Sunkabfluss sowie die Fläche des Einzugsgebietes in die Berechnung ein (Kap. 2.2.1).

Die Klassierungsregeln, d. h. die Kriterien für die Einteilung des untersuchten Gewässers in eine bestimmte Zustandsklasse, sind letzten Endes auch im HYDMOD auf ökologische Überlegungen abgestützt (Pfaundler et al. 2011), weil aus der Hydrologie selbst offenbar gar keine entsprechenden Anforderungen an die Natürlichkeit des Abflussregimes abzuleiten sind. Die Hydrologie ist hier gleichsam ein Hilfsmittel, womit die häufig recht unscharfen ökologischen Befunde und (noch unschärferen) Vorhersa-

gen besser gefasst und stark vereinfacht werden können. Der «Preis» für diese einheitlichen und breit anwendbaren Kriterien ist jedoch eine weniger gute Auflösung (Differenzierung) im Einzelfall. So sind Fälle bekannt, in denen die aquatische Lebensgemeinschaft effektiv deutlich besser einzustufen ist, als dies aufgrund der hydrologischen Kennwerte an sich zu erwarten wäre (Beispiel 2).

### Beispiel 2: Hydrologische und ökologische Bewertung

Im österreichischen Bundesland Salzburg untersuchten Petz-Glechner & Petz (2006) den Fischbestand in zwei verschiedenen, aber typologisch vergleichbaren Gewässerstrecken mit Schwallenfluss. In der hart kanalisierten Strecke von «River A» betrug das Schwall/Sunk-Verhältnis um 3:1, was zumindest in kleineren bis mittleren Gewässern oft als ökologisch noch vertretbar eingestuft wird (vgl. Abb. 5). Dennoch erwies sich der ökologische Zustand dieses Gewässers, beurteilt anhand der Fischfauna, als stark beeinträchtigt («bad», links). Umgekehrt wurde in der morphologisch naturnahen Strecke von «River B» mit einem viel höheren Schwall/Sunk-Verhältnis um 8:1 eine qualitativ und quantitativ gute Besiedlung durch Fische festgestellt («good», rechts). Als Ursache für dieses starke Auseinanderklaffen von hydrologischem und ökologischem Befund wird die natürlichere Morphologie von «River B» genannt, welche entlang der strukturreichen Ufer auch bei Schwall viele strömungsgeschützte Bereiche entstehen lässt (hydraulische Refugien). Bilder aus Petz-Glechner & Petz (2006).



Die Gewässermorphologie gilt generell als einer der wichtigsten Regelfaktoren, welche über die Auswirkungen eines bestimmten Schwallbetriebes bestimmen (Baumann & Klaus 2003, Schweizer et al. 2009). Ähnlich wie in Beispiel 2 hat sich dabei auch in einigen näher untersuchten Fällen aus der Schweiz ergeben, dass morphologisch vielfältigere Gewässerstrecken bei vergleichbarem Schwall insgesamt einen besseren

Zustand aufweisen als eintönig kanalisierte (z. B. ARGE Trübung Alpenrhein 2001). Der mögliche günstige Einfluss einer natürlichen Morphologie wird dabei allerdings immer geringer, je stärker der Schwalleinfluss wird (Limnex 2007). Durch morphologische Aufwertungen (Revitalisierungen) lassen sich schwallbedingte Beeinträchtigungen damit bis zu einem gewissen Grad vermindern. Solche Massnahmen können ergänzend zu den schwalldämpfenden, baulichen oder (auf Antrag der Inhaber) betrieblichen Massnahmen geplant werden. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass in morphologisch naturnahen bis natürlichen Gewässerstrecken bei Sunk zunehmend grössere Flächen trockenfallen. Auf der anderen Seite führen schwalldämpfende Massnahmen allein in morphologisch stark degradierten Abschnitten unter Umständen noch nicht zum Ziel (siehe Anhang A2-3 für ausführlichere Angaben).

1.6

## Planung und Umsetzung von schwalldämpfenden Massnahmen im Überblick

Die Planung und Umsetzung von Massnahmen im Bereich Schwall und Sunk nach GSchG und GSchV kann in folgende Phasen eingeteilt werden (Abb. 3):

Planungs- und Umsetzungsablauf

- > Die 1. Phase umfasst die kantonale Planung für die Sanierung von bestehenden Anlagen bis zum 31.12. 2014. Sie wird geregelt in Artikel 83b Absatz 1 und 2 GSchG sowie Artikel 41f GSchV inkl. des zugehörigen Anhangs 4a mit dem Vorgehen in zwei Teilschritten. Über jeden dieser Teilschritte reicht der Kanton dem BAFU einen Bericht ein.
- > In der anschliessenden 2. Phase verfügt der Kanton, gestützt auf seine Planung und auf die Rückmeldung des BAFU, die Sanierungspflicht für die betroffenen Anlagen. Die Inhaber der einzelnen Anlagen werden gemäss Artikel 41g Absatz 2 GSchV damit beauftragt, verschiedene Varianten von Massnahmen auszuarbeiten.
- > Ebenfalls noch in der 2. Phase bestimmt der Kanton für jede Anlage die vorteilhafteste der ihm von den Inhabern unterbreiteten Massnahmen (Best-Variante) und erteilt den Inhabern den Auftrag zur Ausarbeitung eines entsprechenden Bauprojektes (und je nach dessen Umfang einer begleitenden UV-Untersuchung). Vor der endgültigen Entscheidung über das Sanierungsprojekt werden auch das BAFU (Artikel 41g Absatz 2 GSchV) und das BfE (Artikel 5 Absatz 3 WRG) nochmals angehört.
- > In der 3. Phase kann das Gesuch um Finanzierung der Massnahmen eingereicht werden (17d Absatz 1 der Energieverordnung vom 7. Dezember 1998, EnV, SR 730.01) und nach deren Zusicherung werden die Massnahmen realisiert. Diese Umsetzungsphase muss gemäss Artikel 83a GSchG spätestens Ende 2030 abgeschlossen sein.
- > In der 4. und letzten Phase überprüft der Inhaber, wie in Artikel 41g Absatz 3 GSchV verlangt, die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen (Erfolgskontrolle).

Abb. 3 &gt; Ablauf der Planung für die Sanierung im Bereich Schwall und Sunk

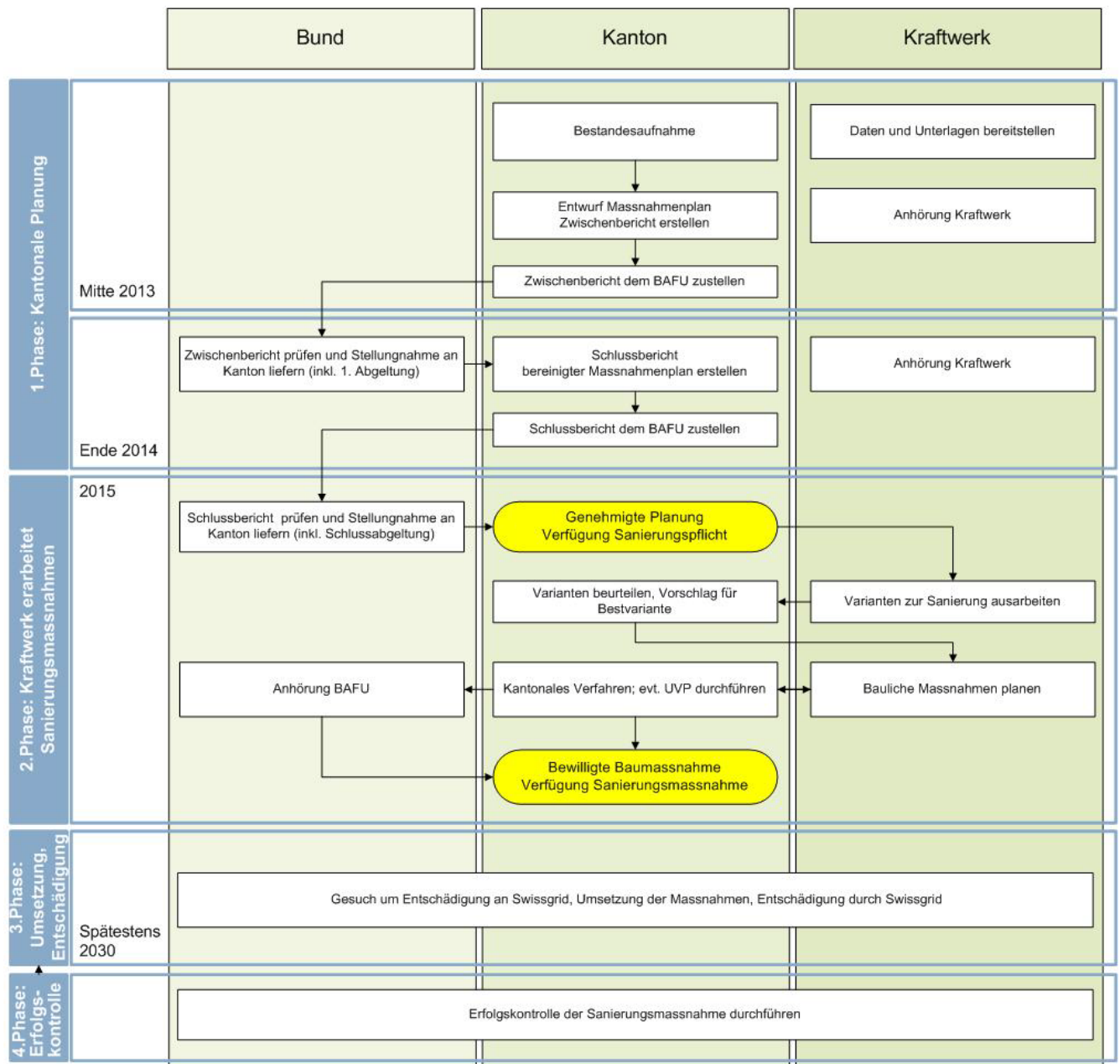


Abbildung aus BAFU (2011a)

## 2 > Bestimmen der wesentlichen Beeinträchtigungen

---

### 2.1 Übersicht

Eine zentrale Aufgabe der kantonalen Planung ist es zu bestimmen, in welchen Gewässerabschnitten und aus welchen Kraftwerksanlagen künstliche Abflussschwankungen (Schwall und Sunk) entstehen, welche die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume gemäss Artikel 39a GSchG *wesentlich beeinträchtigen*. Diese Abflussschwankungen müssen durch schwalldämpfende Massnahmen bei den entsprechenden Kraftwerken grundsätzlich soweit vermindert werden, dass die verbleibenden Beeinträchtigungen kein wesentliches Ausmass mehr erreichen (Sanierung gemäss Artikel 83a GSchG). Diejenigen Kraftwerksanlagen, die keine wesentlichen Beeinträchtigungen hervorrufen, müssen auch keine Massnahmen treffen, sind also nicht sanierungspflichtig.

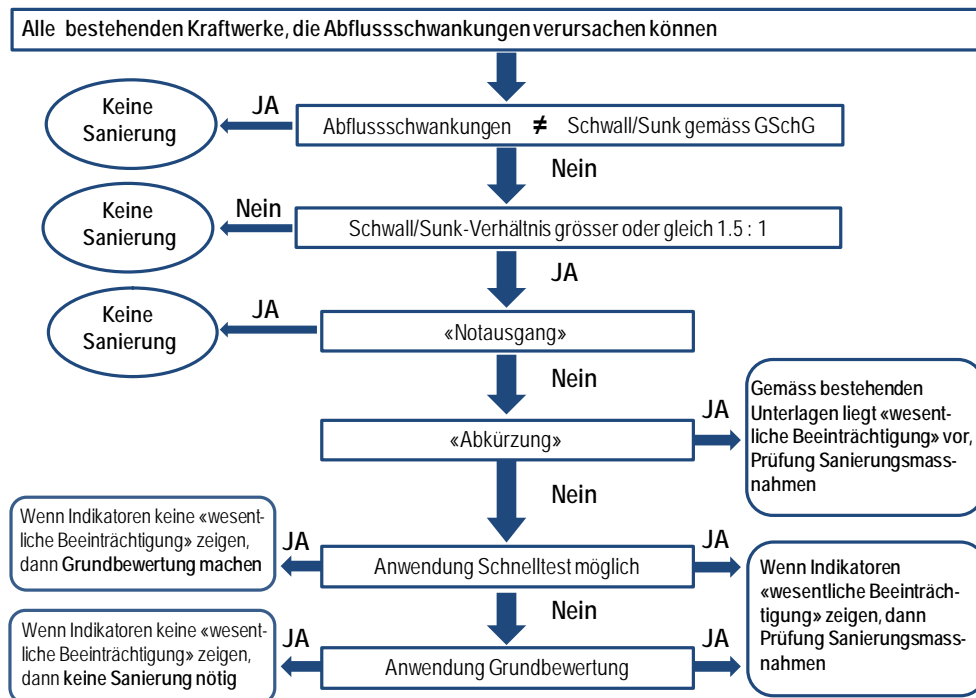
Abb. 4 zeigt in der Übersicht, mit welchen Schritten die bestehenden wesentlichen Beeinträchtigungen bestimmt werden. Damit wird gleichzeitig auch festgestellt, wo ein Sanierungsbedarf besteht und wo nicht.

Wann muss saniert werden?  
Abklärung des Sanierungsbedarfs



**Abb. 4 > Übersicht über die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk im Rahmen der kantonalen Planung**

Die drei untersten Schritte («Abkürzung», «Schnelltest» und «Grundbewertung») werden in Abb. 6 detaillierter dargestellt.



Zu Beginn der Planung müssen alle Anlagen und Gewässerabschnitte betrachtet werden, für die Hinweise auf einen bestehenden oder möglichen Schwallbetrieb bzw. -einfluss bestehen (Kap. 3.1). Aus dieser oft noch umfangreichen «Auslegeordnung» werden in einem ersten Schritt (Abb. 4) zuerst jene Fälle aussortiert, bei denen es sich nicht um Schwall und Sunk im Sinne des Gesetzes handelt, weil beispielsweise die Abflussschwankungen nur selten auftreten (Kap. 1.3).

Diese zum vornherein nicht relevanten Fälle kann der Kanton ohne weitere Untersuchung gleichsam «in eigener Regie» aus dem weiteren Verfahren ausschliessen.

Wenn ein Schwalleinfluss nur eine sehr kurze Fliessstrecke betrifft, kann er allein deshalb noch *nicht* als vernachlässigbar eingestuft werden, denn auch kurze Gewässerabschnitte können wichtige ökologische Funktionen erfüllen. Ob und wie stark dies zutrifft, muss von den beteiligten Fachleuten im Einzelfall entschieden und vom Kanton dann entsprechend begründet werden.

Wo kein Schwalleinfluss im Sinne des Gesetzes besteht, aber dennoch ökologisch problematische Abflussschwankungen auftreten, ist zu prüfen, ob diese anderweitig geregelt sind (z. B. bei der Spülung von Stauräumen oder Entsandern; siehe Gerster & Rey 1994, Limnex 2005).

Im weiteren Verlauf der Planung kann der Kanton die verbleibenden Anlagen auf seinem Gebiet, für die er zuständig ist, nach dem hier aufgezeigten, einheitlichen Vorgehen behandeln. In den nächsten Schritten (Abb. 4) werden dabei auf möglichst einfache Weise jene Fälle bestimmt, bei denen entweder keine wesentlichen Beeinträchtigungen bestehen und die damit sicher *nicht* sanierungspflichtig sind (Schwall/Sunk-Verhältnis, Notausgang), oder bei denen im Gegenteil schon bei grober Prüfung eindeutig wesentliche Beeinträchtigungen bestehen und die deshalb sicher sanierungspflichtig sind (Abkürzung oder Schnelltest). Diese Fälle werden in den Kapiteln 2.2, 2.3 und 2.4 eingehender besprochen.

Für jene Fälle, die auf eine einfache Weise nicht schon eindeutig als sanierungspflichtig oder nicht sanierungspflichtig ausgewiesen werden können, ist schliesslich eine vollständige Grundbewertung durchzuführen (Kap. 2.5).

## 2.2 Ausscheiden der nicht sanierungspflichtigen Anlagen

Um die sicher nicht sanierungspflichtigen Anlagen auszuschneiden, wird in erster Linie auf das Verhältnis zwischen Schwall- und Sunkabfluss abgestützt. Für bestimmte Fälle kann der Kanton ausserdem noch einen sogenannten Notausgang benutzen (Abb. 4; Kapitel 2.2.2).

### 2.2.1 Schwall/Sunk-Verhältnis kleiner als 1.5 zu 1

Nach Artikel 41e Buchstabe a GSchV liegt keine wesentliche Beeinträchtigung im Sinne von Artikel 39a Absatz 1 GSchG vor, wenn das Schwall/Sunk-Verhältnis kleiner als 1.5 : 1 ist.

Unwesentliche Beeinträchtigung

Warum der absolute Grenzwert nach unten auf 1.5 : 1 festgelegt ist, illustriert Abb. 5. Für die Bewertung des «Schwall/Sunk-Phänomens» werden im Modul Hydrologie des schweizerischen Modul-Stufen-Konzeptes (HYDMOD; Kapitel 1.5) zwei Kennwerte definiert, die sich jeweils aus verschiedenen Faktoren zusammensetzen. Der Kennwert auf der Y-Achse (als Intensität des Impulses bezeichnet) wird dabei hauptsächlich durch das Schwall/Sunk-Verhältnis ( $V_{S/S}$ ) gebildet. Je nach Höhe des zweiten, auf der X-Achse aufgetragenen Kennwertes (als Hydraulischer Stress bezeichnet), liegt die Intensität des Impulses bei Werten zwischen 3.0 und ca. 1.3 noch im Bereich des guten hydrologischen Zustand (Klasse 2, Signalfarbe grün). Ein reines Schwall/Sunk-Verhältnis ( $V_{S/S}$ ) unter 1.5 : 1 wird damit normalerweise ebenfalls in diesen guten Zustand fallen (vgl. Abb. A2 in Anhang A2-2). Die entsprechende Anlage kann damit ohne weitere Untersuchung als nicht wesentlich beeinträchtigt ausgeschieden werden.

Bewertung, HYDMOD

**Abb. 5 > Einteilung der Zustandsklassen für die Bewertung des Schwall/Sunk-Phänomens im Modul Hydrologie des MSK (HYDMOD)**

Auf der Y-Achse steht das Schwall/Sunk-Verhältnis ( $V_{S/S}$ ), korrigiert um einen Faktor für die Pegeländerungsrate ( $k_{PR,S/S}$ ). Auf der X-Achse steht das andere massgebende Verhältnis zwischen Schwallabfluss und mittlerem natürlichem Jahresabfluss ( $Q_{Schwall}/MQ_r$ ), korrigiert um einen Faktor für die Grösse des Einzugsgebietes ( $k_{EZG}$ ). Die Einteilung in eine der fünf Zustands- bzw. Güteklassen ergibt sich aus der Kombination der beiden Verhältniszahlen.

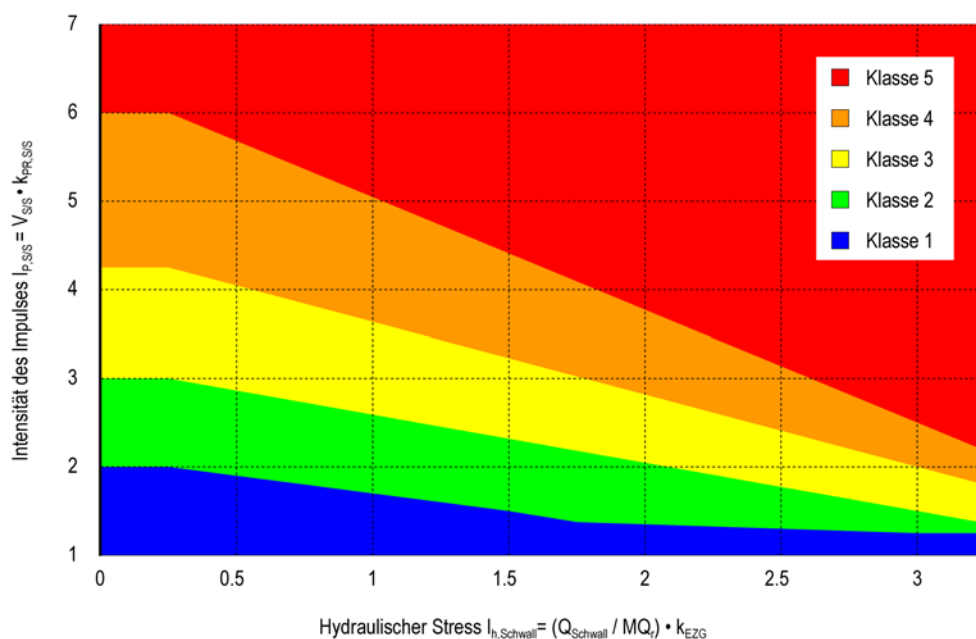


Abbildung aus Pfaundler et al. 2011

Das Verhältnis der Abflussmengen bei Schwall und Sunk, wie es in Artikel 41e Buchstabe a G SchV als massgebendes Kriterium angeführt wird, entspricht ausdrücklich dem *reinen* Schwall/Sunk-Verhältnis ( $V_{S/S}$ , ohne Berücksichtigung von Korrekturfaktoren). Dieses Verhältnis kann *nicht* anhand von Abb. 5, sondern muss strikt nach den Vorgaben in Kapitel 3.7.3 von Pfaundler et al. (2011) bestimmt werden.

Bei der Bewertung nach HYDMOD können gewisse ökologisch relevante Abfluss-Erscheinungen aus der Betrachtung herausfallen, beispielsweise einzelne aussergewöhnlich hohe Schwallspitzen oder ungewöhnlich tiefe Sunkabflüsse über die Weihnachtsfeiertage. In Anbetracht des tiefen absoluten Grenzwertes für das Schwall/Sunk-Verhältnis von 1.5 : 1 ändern solch vereinzelte Abweichungen die Bewertung aber nicht grundsätzlich.

Es versteht sich von selbst, dass die Abfluss-Schwankungen aus einem bestimmten Kraftwerk heraus dort erfasst und bewertet werden müssen, wo sie am stärksten sind, normalerweise also unmittelbar nach der Einleitung des Betriebswassers ins Fließgewässer. Wird der Schwallenfluss erst in einer gewissen Entfernung flussabwärts betrachtet, so kann sich das Schwall/Sunk-Verhältnis wegen der gewöhnlich auftretenden Abflachung der Schwallwelle im Fließverlauf und/oder aufgrund von seitlichen Zuflüssen bereits messbar verringert haben. Wegen dieser Abschwächung gilt in der

Regel aber auch: Wenn das Schwall/Sunk-Verhältnis in einiger Entfernung vom Kraftwerk noch über 1.5 : 1 liegt, so ist auch unmittelbar nach der entsprechenden Zentrale mit einer Überschreitung dieses Grenzwertes zu rechnen, sofern in die dazwischenliegende Fliessstrecke keine weiteren Wasserrückgaben oder schwallbeeinflussten Zuflüsse münden, welche die Abflussschwankungen verstärken können.

Kann der Einfluss einer Kraftwerkszentrale nicht aus Abflussdaten einer relativ nahe gelegenen Abfluss-Messstation ermittelt werden, so bestehen für die Bestimmung des Schwall/Sunk-Verhältnisses nach HYDMOD zwei Möglichkeiten:

- Berechnungsmöglichkeit 1: Die Abflusswerte der im Fliessverlauf nächstfolgenden Station (Messdaten) werden bis zur Zentrale hinauf extrapoliert. Dies ist nur möglich, wenn im Zwischeneinzugsgebiet keine zusätzlichen anthropogenen Eingriffe in das Abflussregime bestehen und wenn auch die übrigen Voraussetzungen nach HYDMOD erfüllt sind. Diese Voraussetzungen und das Vorgehen bei der Extrapolation werden in Anhang A4 von Pfändler et al. (2011) erläutert.
- Berechnungsmöglichkeit 2: Die Berechnung erfolgt aufgrund von Betriebsdaten, wie dies in Kapitel 3.7.3 von Pfändler et al. (2011) beschrieben ist.

Es ist damit zu rechnen, dass sich aus den Betriebsdaten eher ungünstigere Schwall/Sunk-Verhältnisse ergeben als aus den Messdaten.

Liegen mehrere Kraftwerksanlagen am gleichen Gewässer, so müssen die Beiträge der einzelnen Werke zum resultierenden Schwall/Sunk-Verhältnis entweder aus Betriebsdaten oder dann mittels einer Abflussmodellierung über das ganze Einzugsgebiet (Anhang A4) berechnet werden. Nur auf diese Weise kann das Schwall/Sunk-Verhältnis für jede Anlage separat bestimmt und bewertet werden.

In HYDMOD wird vorausgesetzt, dass sowohl der Schwall- als auch der Sunkabfluss entweder aus Messwerten oder aus Betriebsdaten zuverlässig bestimmt werden können. Bei kleineren Wasserkraftwerken, die teilweise ebenfalls schwallartige Abflussschwankungen erzeugen (Kap. 1.3), kann es jedoch durchaus sein, dass v. a. für die Berechnung des Sunkabflusses keine ausreichenden Grundlagen bestehen (weil z. B. auf der Restwasserstrecke vor der Wasserrückgabe ein unbekannter Anteil der Restwassermenge versickert). In solchen Fällen sind die fehlenden Abflussdaten zuerst zu erheben, bevor die Bewertung durchgeführt werden kann. Eine solche Bestimmung der Sunkabflusses sollte, analog zu den Vorgaben in HYDMOD, mindestens 10 Kalenderwochen mit Niedrigwasserverhältnissen und in dieser Zeit entweder eine durchgehende Aufzeichnung oder 10 Einzelmessungen der Wasserführung umfassen.

Jene Gewässerstrecken, in denen das Schwall/Sunk-Verhältnis nach der beschriebenen Bewertung unter dem Grenzwert von 1.5 : 1 liegt, gelten zum vornherein als nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt. Die Kraftwerksanlagen, welche diese Abflussschwankungen hervorrufen, sind nicht sanierungspflichtig und werden dementsprechend nicht mehr weiter behandelt. Dieser Fall dürfte in der Praxis vor allem bei den Flusskraftwerken mit geringfügiger Variation des Abflusses aus der Stauhaltung heraus (Schwellbetrieb) recht häufig sein.

### 2.2.2 Notausgang für offensichtlich vernachlässigbare Einwirkungen

Es kann vorkommen, dass aufgrund eines Schwall/Sunk-Verhältnisses von über 1.5:1 einzelne Gewässer oder Anlagen in die Sanierungsplanung aufgenommen werden müssten, bei denen dies offensichtlich nicht im Sinne des Gesetzgebers ist (Beispiel 3). Dann kann der Kanton einen sogenannten Notausgang benutzen, indem er in seinem Zwischenbericht (Kap. 3.2) genau begründet, wieso aus seiner Sicht sicher kein Sanierungsfall vorliegt. Sofern das BAFU diese Einschätzung teilt, können auf diesem Weg Einzelfälle ohne weitere Untersuchung aus dem Verfahren ausscheiden.

Spezialfälle

#### Beispiel 3: Der Notausgang

*Ein Beispiel dafür, dass auch bei einem Schwall/Sunk-Verhältnis von über 1.5:1 nicht immer ein Sanierungsfall vorliegen muss, sind jene Flusskraftwerke, welche die von weiter oben zufließenden Schwälle unverändert weitergeben. Bestimmt man das Schwall/Sunk-Verhältnis gemäss HYDMOD für die Flussabschnitte nach solchen Anlagen, können sich Werte von weit über 1.5:1 ergeben. Es ist aber nicht im Sinne des Gesetzes, dass ein Kraftwerk Schwälle dämpfen muss, zu denen es selber nicht «aktiv» beiträgt.*

### 2.3 Die Abkürzung für klar wesentliche Beeinträchtigungen

In einigen Fällen kann der Kanton eine Beeinträchtigung als wesentlich einstufen, ohne dass er dazu die Indikatoren des Schnelltests heranziehen müsste. Dazu kann er eine Abkürzung nehmen, die gleichsam das Gegenstück zum Notausgang darstellt (Abb. 4; Beispiel 4). Eine solche Abkürzung ist nur dann möglich, wenn schon anhand von bestehenden Grundlagen eindeutig belegt werden kann, dass eine wesentliche Beeinträchtigung besteht. So kann aus Abfischungen durch die kantonale Fischereiverwaltung oder durch Private (z. B. im Rahmen von Umweltverträglichkeits-Untersuchungen) bekannt sein, dass der Fischbestand einer Schwallstrecke durch ein mässig verändertes Artenspektrum, eine schlechte Populationsstruktur der Indikatorarten, eine geringe Fischdichte und das weitgehende Fehlen einer erfolgreichen Naturverlaichung gekennzeichnet ist. Aufgrund dieser Befunde ist der Zustand der Indikatoren F1 (MSK-Modul Fische) und F4 (Reproduktion der Fischfauna) als unbefriedigend bis schlecht zu bewerten, wodurch diese Strecke als wesentlich beeinträchtigt ausgewiesen wird (Kap. 2.4.4). Wie beim Schnelltest ist auch bei dieser Abkürzung sicherzustellen, dass die Voraussetzungen für die Anwendung der betreffenden Indikatoren erfüllt sind (Kap. 2.4.2) oder dass eine geeignete Referenzstrecke zur Verfügung steht (Kap. 2.4.3).

Abkürzung

Bei der Abkürzung kann eine wesentliche Beeinträchtigung auch anders begründet werden als über die vorgegebenen Indikatoren. Die Begründung muss aber in jedem Fall auf Artikel 41e Buchstabe b GSchV abgestützt und fachlich überprüfbar sein.

Stellt der Kanton eine wesentliche Beeinträchtigung auf dem Weg über die Abkürzung fest, so muss er dies auch den Inhabern der Wasserkraftwerke gegenüber vertreten. Wenn auch das BAFU keine Einwände zu dieser Einschätzung hat (im Rahmen einer Vorkonsultation oder anlässlich der Beurteilung des Zwischenberichtes), so kann die Sanierungspflicht auf diesem abgekürzten Weg verfügt werden.

Für die Abkürzung gilt ausserdem,

- > dass im Rahmen der kantonalen Planung auch für Anlagen, die im abgekürzten Verfahren behandelt werden, im Zwischenbericht zuhanden des BAFU die Begründung der wesentlichen Beeinträchtigung und zumindest die voraussichtliche Art der möglichen bzw. bevorzugten schwalldämpfenden Massnahmen angeführt werden müssen (Kap. 3.4). Zudem müssen auch die verlangten Angaben zum ökologischen Potenzial und zum Grad der Beeinträchtigung (Kap. 3.3) gemacht werden.
- > dass das notwendige *Ausmass* von schwalldämpfenden Massnahmen nur dann abgeschätzt werden kann, wenn zusätzlich noch die dafür geeigneten Indikatoren untersucht und bewertet werden (Kap. 3.4; Abb. 6);
- > dass die «ausgelassenen» Indikatoren des Schnelltests spätestens bei der Planung durch die Inhaber in der 2. Phase untersucht und bewertet werden müssen (Kap. 5).

#### Beispiel 4: Mögliche Kandidaten für die Abkürzung

*Sowohl für den Alpenrhein als auch für die Rhone liegen schon zahlreiche Untersuchungen vor, die sich ausführlich mit den Auswirkungen des Schwallbetriebes befassen. Mit Hilfe dieser Grundlagen können schon einige, allenfalls auch die meisten im Schnelltest vorgesehenen Indikatoren bestimmt werden. Im Alpenrhein wurden die Aufnahmen zudem meist schon für die ganze Bandbreite der vorhandenen Morphologien (von den naturnahen Mastrilser Auen bis zur kanalisierten Internationalen Rheinstrecke) durchgeführt. In der Rhone ist heute praktisch die ganze Schwallstrecke kanalisiert, und die Aufnahmen des IST-Zustandes umfassen entsprechend nur den Schwalleinfluss auf diese eine (unnatürliche) Morphologie (Beispiel A1 in Anhang A2-1). Dennoch können bis zu einem gewissen Grad auch für die Rhone Aussagen über die ökologischen Auswirkungen des Schwallbetriebes auf revitalisierte Flussabschnitte gemacht werden, weil diese im Rahmen der bisherigen Untersuchungen schon modelliert worden sind (Pellaud 2007). Auch über das aus ökologischer Sicht notwendige Ausmass der Schwalldämpfung bestehen für beide Flüsse schon gewisse Vorstellungen (Pellaud 2007, Schälchli et al. 2003), welche beim Alpenrhein in einer laufenden Studie zur Zeit nochmals konkretisiert werden.*

## 2.4 Der Schnelltest

Analog wie die sicher nicht sanierungspflichtigen werden in diesem Schritt auch die sicher sanierungspflichtigen Fälle auf möglichst einfache Weise frühzeitig bestimmt. Dies kann aber nicht mehr mit den Abflussverhältnissen als alleinigem Indikator erfolgen, sondern stützt sich auf mehrere Indikatoren ab, darunter mehrheitlich biologi-

Schnelltest

sche (Kap. 2.4.1). Der Grund dafür liegt darin, dass die hydrologische und ökologische Bewertung stark auseinanderklaffen können (Beispiel 2) und eine Ausweisung von sicher sanierungspflichtigen Anlagen allein aufgrund von hydrologischen Merkmalen daher mit zu grossen Unsicherheiten verbunden wäre.

Als Merkmale für die Bestimmung der sicher sanierungspflichtigen Anlagen werden einige biologische und zwei abiotische Gewässermerkmale festgelegt, die verhältnismässig rasch und einfach zu messen sind. Deshalb wird dieser Schritt auch als Schnelltest bezeichnet. Dieser kann nur eindeutige Beeinträchtigungen anzeigen. Wie stark diese Beeinträchtigungen wirklich sind und ob in weniger eindeutigen Fällen überhaupt wesentliche Beeinträchtigungen vorliegen, kann nur mit einer vollständigen Grundbewertung ermittelt werden (Kap. 2.5).

Einige wichtige konzeptionelle Grundlagen für die hier verwendete Untersuchungs- und Bewertungsmethodik werden in Anhang A2 beschrieben. Sie sollten für das Verständnis des Schnelltests ebenfalls beachtet werden.

#### 2.4.1 Die Indikatoren für den Schnelltest

Die Indikatoren des Schnelltests decken eine breite Palette von Merkmalen ab, welche in schwallbeeinflussten Gewässern beeinträchtigt sein können. Es sind dies im Einzelnen:

Indikatoren

- > **F1** (MSK-Modul Fische) entspricht der Bewertungsmethode von Schager & Peter (2004) und umfasst verschiedene fischökologische Merkmale wie Artenspektrum und -vielfalt, natürliche Reproduktion, Populationsaufbau der Hauptfischart oder Anomalien und Deformationen der Fische.
- > **F4** (Reproduktion der Fische) untersucht und bewertet ergänzend zu F1 die Brüttingsdichte der Hauptfischarten zum Zeitpunkt, an dem diese Brütlinge aus dem Sediment herauskommen (emergieren).
- > **F5** (Produktivität der Fische) schätzt die theoretische fischereiliche Ertragsfähigkeit des Gewässers anhand verschiedener Einflussfaktoren ab.
- > **B1** (Biomasse des Makrozoobenthos') untersucht die Menge der in und auf der Sohle vorhandenen, von blossen Auge noch sichtbaren wirbellosen Tiere (Makroinvertebraten). B1 fliesst als einer der Einflussfaktoren auch in die Bewertung von F5 ein.
- > **B2** (MSK-Modul Makrozoobenthos) bewertet die Wirbellosen-Fauna der Gewässer-sohle anhand eines schweizerischen «Index Biologique» (kurz IBCH) nach der Methode von Stucki (2010). In den für B2 entnommenen Proben werden auch die übrigen Benthos-Indikatoren bestimmt.
- > **B4** (EPT-Familien) nimmt die Anzahl vorhandener Familien aus den Insekten-Ordnungen der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen als Mass für die Vielfalt von besonders empfindlichen (sensitiven) aquatischen Organismen.
- > **H1** (Kolmation) bewertet die innere Kolmation anhand der Schwebstoff-Konzentration bei Schwall.
- > **A1** (Mindestabfluss) überprüft, ob die Wasserführung bei Sunk die Anforderungen im GSchG an die Mindest-Restwassermenge einhält.

Mit diesen Indikatoren wird stellvertretend untersucht, ob im fraglichen Gewässer die einheimischen Tiere (bzw. die tierische Lebensgemeinschaft) sowie deren Lebensräume im Sinne von Artikel 39a Absatz 1 GschG und Artikel 41e GSchV wesentlich beeinträchtigt sind. Die in diesen Artikeln ebenfalls angeführten einheimischen Pflanzen (bzw. die pflanzliche Lebensgemeinschaft) reagieren auf hydrologische Veränderungen im Allgemeinen weniger oder zumindest in weniger gut erkennbarer Art und Weise (Hering et al. 2006, Baumann & Langhans 2010). Die höheren Wasserpflanzen oder Makrophyten, die als Schwall-Indikatoren vermutlich noch am ehesten geeignet wären, kommen in den meisten Schwallstrecken gar nicht vor. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die Ansprüche der pflanzlichen Lebensgemeinschaft durch jene der empfindlicheren tierischen Organismen mit abgedeckt werden.

Die meisten der im Schnelltest verwendeten *biologischen* Indikatoren können für andere als die bestehenden Morphologien ausdrücklich *nicht* umgerechnet oder abgeschätzt werden. Im Gegensatz dazu enthalten der biologische Indikator F5 und der eine abiotische Indikator H1 (Kolmation) eine Bewertungsskala für alle (auch heute nicht vorhandene) Morphologien, während die Bewertung des anderen abiotischen Indikators A1 (Mindestabfluss) von der Morphologie unabhängig ist.

Eine genaue Beschreibung sowie die Anleitung für die praktische Untersuchung und Bewertung jedes Indikators ist den ausführlichen Indikatorblättern in Anhang A7 dieser Vollzugshilfe zu entnehmen.

## 2.4.2 Anwendung und Grenzen des Schnelltests

Beim Schnelltest werden in der Regel alle in Kapitel 2.4.1 aufgezählten Indikatoren nach den methodischen Vorgaben in Anhang A7 untersucht und bewertet (Abb. 6).

Voraussetzungen  
für die Anwendung

Für etliche Schwallstrecken, v. a. für solche an den grösseren Alpenflüssen, bestehen schon umfangreiche, im Auftrag des Bundes, der Kantone oder der Inhaber durchgeführte gewässerökologische Untersuchungen. Je nach deren Art und Umfang können diese Grundlagen für die Ermittlung der bestehenden Beeinträchtigungen verwendet werden, was die kantonale Planung stark vereinfacht:

- In Ausnahmefällen, in denen sich eine wesentliche Beeinträchtigung schon aus bestehenden Grundlagen eindeutig belegen lässt, kann der Kanton eine Abkürzung nehmen und dabei auf die Untersuchung und Bewertung der Indikatoren ganz verzichten (Kap. 2.3; Abb. 6).
- Auch wenn dies nicht möglich ist, können die Indikatoren für den Schnelltest anhand der bestehenden Grundlagen oft mit geringerem oder sogar ohne zusätzlichen Untersuchungsaufwand direkt bestimmt und bewertet werden. Fehlen für einzelne Indikatoren noch die benötigten Daten, sind diese für die Durchführung des Schnelltests zusätzlich zu erheben.

Ob vorhandene Grundlagen sich zur Bewertung der hier vorgesehenen Indikatoren eignen, ist durch die beteiligten Fachleute von Fall zu Fall zu entscheiden. Untersuchungen, die mehr als 10 Jahre zurückliegen, sollten aber nur dann berücksichtigt



werden, wenn sie auch aus heutiger Sicht als absolut zuverlässig gelten können und wenn sich in der Zwischenzeit keine massgebenden Rahmenbedingungen verändert haben. Welche Grundlagen schliesslich verwendet wurden, ist bei der Bewertung der Indikatoren anzugeben.

Da es sich bei den Indikatoren des Schnelltests um eine Auswahl von einfacheren Methoden handelt, sind insbesondere die biologischen Indikatoren nicht durchwegs sehr schwallspezifisch. Einige darunter sind eher Breitband-Indikatoren, die nicht nur den hydrologischen Einfluss des Schwallbetriebes, sondern ebenso gut auch andere abiotische Einflussfaktoren widerspiegeln können. Bei diesen anderen massgebenden Einflussfaktoren handelt es sich gemäss dem Leitbild Fliessgewässer Schweiz (BUWAL/BWG 2003) in erster Linie um die Morphologie des Gewässers und um die Wasserqualität.

Der Breitband-Indikator B2 (MSK-Modul Makrozoobenthos) ist sogar oft stärker von der Wasserqualität abhängig als vom Schwallbetrieb (Limnex 2007). Er wurde trotzdem in die vorliegende Methode aufgenommen, weil diese standardisierte Probenahme auch einheitliche Ausgangsdaten für die Bewertung der übrigen Benthos-Indikatoren liefert. Die übrigen Breitband-Indikatoren sind F1, F4, B1 und B4.

Die Breitband-Indikatoren könnten theoretisch dazu führen, dass in einer Schwallstrecke eine Beeinträchtigung diagnostiziert wird, die in Wirklichkeit nicht auf den Schwalleinfluss, sondern auf eine unnatürliche Gewässermorphologie und/oder eine ungenügende Wasserqualität zurückzuführen ist. Um dies zu verhindern, gelten für die Anwendung des Schnelltests folgende Einschränkungen:

- > Es muss gewährleistet sein, dass die Wasserqualität der untersuchten Schwallstrecke die Anforderungen der GSchV an die Konzentration von Nähr- und Schadstoffen erfüllt. Der Schwallbetrieb betrifft meistens mittlere bis grössere Gewässer, und für viele darunter dürften bei den Kantonen die Resultate von chemischen Analysen oder biologischer Indikation der Wasserqualität vorliegen. Dazu geeignete biologische Indikatoren sind z. B. die Kieselalgen (Hürlimann & Niederhauser 2007). Zeigen die aktuellen Werte eine ungenügende Wasserqualität an, so können festgestellte Beeinträchtigungen bei den untersuchten Indikatoren nicht ohne weiteres dem Schwalleinfluss zugeschrieben werden. In diesem Fall ist der Schnelltest nicht möglich, sondern es muss eine vollständige Grundbewertung durchgeführt werden (Kap. 2.5). Liegen keine aktuellen Analysen für das Gewässer vor, so können diese entweder parallel zum Schnelltest vom Kanton noch gemacht werden, oder es bleibt in der Regel ebenfalls nur eine vollständige Grundbewertung übrig. Die einzige Ausnahme von dieser Regel bilden Fälle, in denen eine vergleichbare Referenzstrecke ohne Schwalleinfluss untersucht werden kann (Kap. 2.4.3).
- > Morphologische Eingriffe ins Gewässer, besonders die Kanalisierung des Gerinnes und die Verbauung der Ufer, können ähnliche biologische Auswirkungen haben wie der Schwallbetrieb. Um diesen Störeinfluss möglichst auszuschalten, kann der Schnelltest nur dann durchgeführt werden, wenn in der Schwallstrecke noch Abschnitte mit natürlicher oder naturnaher Morphologie bestehen. Die vielfältigsten unter diesen Abschnitten bzw. Morphologien reagieren normalerweise auch am empfindlichsten auf den Schwalleinfluss (Anhang A3). Dieses sogenannte Prinzip

des empfindlichsten Zustandes, nach dem die wesentlichen Beeinträchtigungen zu bestimmen sind, wird in BAFU (2011a) explizit gefordert und in Anhang A2-3 näher erläutert. Die empfindlichste Morphologie kann für den Schnelltest aus den ökomorphologischen Aufnahmen nach der MSK-Methode (auf Stufe F; Hütte & Niederhauser 1998) ermittelt werden, die in der Schweiz nahezu flächendeckend durchgeführt wurden (Zeh, Weissmann et al. 2009). Dabei können blau oder grün gekennzeichnete Gewässerstrecken, von denen zudem nicht schon ein grösseres Geschiebedefizit bekannt ist, als natürlich bis wenig beeinträchtigt (= naturnah) gelten. Steht keine solche Strecke mit Schwalleinfluss zur Verfügung, kann der Störeinfluss der Morphologie also nicht ausgeschaltet werden, so ist der Schnelltest nicht möglich, sondern es muss in der Regel eine vollständige Grundbewertung durchgeführt werden. Die einzige Ausnahme von dieser Regel bilden Fälle, in denen eine vergleichbare Referenzstrecke ohne Schwalleinfluss untersucht werden kann (Kap. 2.4.3). Welche Länge eine Strecke mit natürlicher oder naturnaher Morphologie mindestens haben sollte, um überhaupt gezählt zu werden, lässt sich nicht pauschal angeben. Anhang A3 enthält jedoch einige Hinweise zur Bestimmung dieser Mindestlänge.

Nur in den ausreichend langen, noch natürlich oder naturnah strukturierten Abschnitten der Schwallstrecke, in denen gleichzeitig auch eine ausreichende Wasserqualität herrscht, sind bestehende Beeinträchtigungen als Folge des Schwallbetriebes zu betrachten. Beispiele dafür sind etwa die Mastrilser Auen am Alpenrhein (Beispiel 5) oder die Rhäzünser Auen am Hinterrhein.

#### **Beispiel 5: Die natürlichen und die heutigen Morphologien des Alpenrheins**

*Zu Beginn des 19. Jahrhunderts, also vor den grossen Flusskorrekturen, gehörten von den ungefähr 93 km langen Fliessstrecke des Alpenrheins zwischen Reichenau und dem Bodensee ca. 71 km (76 %) dem verzweigten Flusstyp an, ca. 13 km (14 %) dem gewundenen oder mäandrierenden Typ und ca. 9 km (10 %) dem gestreckten oder geraden Typ (Eberstaller et al. 1997, Pottgiesser et al. 2004).*

*Heute ist der durch das Abschneiden von Fluss Schleifen etwas verkürzte Lauf des Alpenrheins überwiegend gerade/gestreckt (ca. 47 km oder 51 %) oder durch alternierende Kiesbänke geprägt (ca. 44 km oder 47 %). Die Mastrilser Auen bilden mit 3 km (3 %) den letzten noch verbliebenen, verzweigten Abschnitt. Dafür war die heute sehr verbreitete Morphologie der alternierenden Bänke am natürlichen Alpenrhein nicht oder höchstens ansatzweise vorhanden.*

*Die natürlicherweise dominierende, verzweigte Morphologie des Alpenrheins existiert in den Mastrilser Auen somit heute noch und ist auch schon mehrfach intensiv untersucht worden (Beispiel 4). Am Alpenrhein können deshalb alle Indikatoren ohne Einschränkung verwendet werden.*

Auch wenn eine morphologisch naturnahe Strecke für die Untersuchung zur Verfügung steht, sind auch die übrigen vorhandenen Morphologien mit zu untersuchen (z. B. Strecken mit alternierenden Kiesbänken, Kanalstrecken). Der Hauptgrund dafür ist, dass die «Reaktion» der verschiedenen Morphologien auf den Schwallbetrieb nicht

Bedeutung der Morphologie

zwingend immer dieselbe sein muss und ohne nähere Prüfung deshalb nicht in jedem Fall zuverlässig abzuschätzen ist. Hinzu kommt, dass die Strecke kurz nach einer Kraftwerks-Zentrale, wo der Schwallenfluss am ausgeprägtesten ist, unabhängig von der Morphologie in jedem Fall mit untersucht werden muss. Wie die Untersuchungsstellen in verschiedenen Situationen auszuwählen sind, wird in Anhang A4 ausgeführt.

#### 2.4.3 Die Untersuchung einer Referenzstrecke

Wenn möglich, soll zusammen mit den Schwallstrecken auch eine hydrologisch nicht beeinflusste, sonst aber (bezüglich Wasserqualität und Morphologie) vergleichbare Referenzstrecke desselben Gewässers untersucht und bewertet werden. Die Abweichungen der Schwall- von der Referenzstrecke sind dann als schwallbedingt zu betrachten. In den meisten Fällen sind aber keine geeigneten Referenzstrecken vorhanden, weil

Referenzstrecken

- > die Wasserfassungen so weit von der Wasserrückgabe entfernt sind, dass das Gewässer oberhalb der Fassungen typologisch zu stark von der Schwallstrecke abweicht;
- > die anschliessenden Gewässerstrecken bis zur Wasserrückgabe als Restwasserstrecken ebenfalls hydrologisch beeinflusst sind, einfach auf eine andere Weise. Wenn sich aus einem grossen Zwischeneinzugsgebiet aber wieder ausreichend hohe und dynamische Abflüsse bilden, kann eine Restwasserstrecke vor der Wasserrückgabe durchaus als Referenz dienen.

Es muss von den beteiligten Fachleuten von Fall zu Fall entschieden werden, ob eine geeignete Referenzstrecke vorhanden ist oder nicht. Wenn die in Kapitel 2.4.2 genannten Bedingungen erfüllt sind, kann der Schnelltest auch angewendet werden, *ohne* dass eine Referenzstrecke vorhanden ist.

#### 2.4.4 Das Bestimmen der wesentlichen Beeinträchtigung anhand des Schnelltests

Sind die vorgenannten Bedingungen erfüllt, so ist die Beeinträchtigung durch den Schwallbetrieb als wesentlich einzustufen, wenn beim Schnelltest:

Bewertung

- > mindestens ein Indikator einen schlechten Zustand anzeigt (Signalfarbe rot), oder
- > mindestens zwei Indikatoren einen unbefriedigenden Zustand anzeigen (orange), oder
- > mindestens drei Indikatoren einen mässigen Zustand anzeigen (gelb), oder
- > ein Indikator einen unbefriedigenden Zustand und zwei weitere Indikatoren einen mässigen Zustand anzeigen.

Zeigen weniger oder gar keine Indikatoren eine Überschreitung an, so kann eine wesentliche Beeinträchtigung nicht angenommen, aber auch noch nicht ausgeschlossen werden. Dasselbe gilt auch, wenn Zweifel daran bestehen, ob die durchgeführte Untersuchung und Bewertung zuverlässig ist (z. B. wegen Felderhebungen bei ungünstigen Verhältnissen). In diesen Fällen ist die vollständige Grundbewertung durchzuführen, bevor über die Sanierungspflicht einer Anlage entschieden werden kann. Es wird

empfohlen, bei dieser Grundbewertung die Indikatoren des Schnelltests nochmals aufzunehmen und soweit als möglich auch zu bewerten (Kap. 2.5.2).

Zeigt dagegen schon beim Schnelltest eine ausreichende Zahl von Indikatoren einen mässigen, unbefriedigenden oder schlechten Zustand an, so wird die Beeinträchtigung durch die Anlage als wesentlich eingestuft. In diesem Fall kann der Kanton die Grundbewertung überspringen und die Planung von schwalldämpfenden Massnahmen einleiten. Aufgrund des Schnelltests kann dabei v. a. die *Art* der Massnahmen eingegrenzt werden. Soll hingegen auch der notwendige Umfang der Massnahmen grob abgeschätzt werden, so sind zusätzlich zum Schnelltest die dafür geeigneten Indikatoren noch zu untersuchen und zu bewerten (Kap. 3.4; Abb. 6).

Jene Indikatoren der Grundbewertung, die im Schnelltest nicht enthalten sind und die der Kanton auch nicht zusätzlich noch «nachuntersucht», müssen bei der ergänzenden Bewertung durch die Inhaber der Wasserkraftwerke in der zweiten Planungsphase auf jeden Fall berücksichtigt werden. Ausserdem sind die Resultate des Schnelltests auch in diesem Fall später nochmals zu überprüfen und abzusichern, indem die schon im Schnelltest enthaltenen Indikatoren bei der ergänzenden Bewertung möglichst nochmals untersucht und bewertet werden (Kap. 5).

Erfüllt eine Schwallstrecke die genannten Voraussetzungen für den Schnelltest nicht (siehe oben) und kann alternativ dazu auch keine Referenzstrecke ohne Schwalleinfluss mit untersucht werden, so ist eine vollständige Grundbewertung durchzuführen, bei der mehrere Indikatoren auf andere als die bestehenden Morphologien übertragen werden können (Kap. 2.5).

Keine oder nur sehr beschränkte Aussagen erlaubt der Schnelltest auch dann, wenn komplexe Situationen mit mehreren schwallerzeugenden Kraftwerks-Zentralen am selben Gewässer vorliegen (vgl. Anhang A4). Der Grund dafür ist, dass im Schnelltest jene aufwendigeren Indikatoren fehlen, mit denen die Beeinträchtigungen grob auf verschiedene Anlagen aufgeteilt werden können (Beispiel 6). In solchen Fällen wird man in der Regel ebenfalls nur mit einer vollständigen Grundbewertung zum Ziel kommen.

---

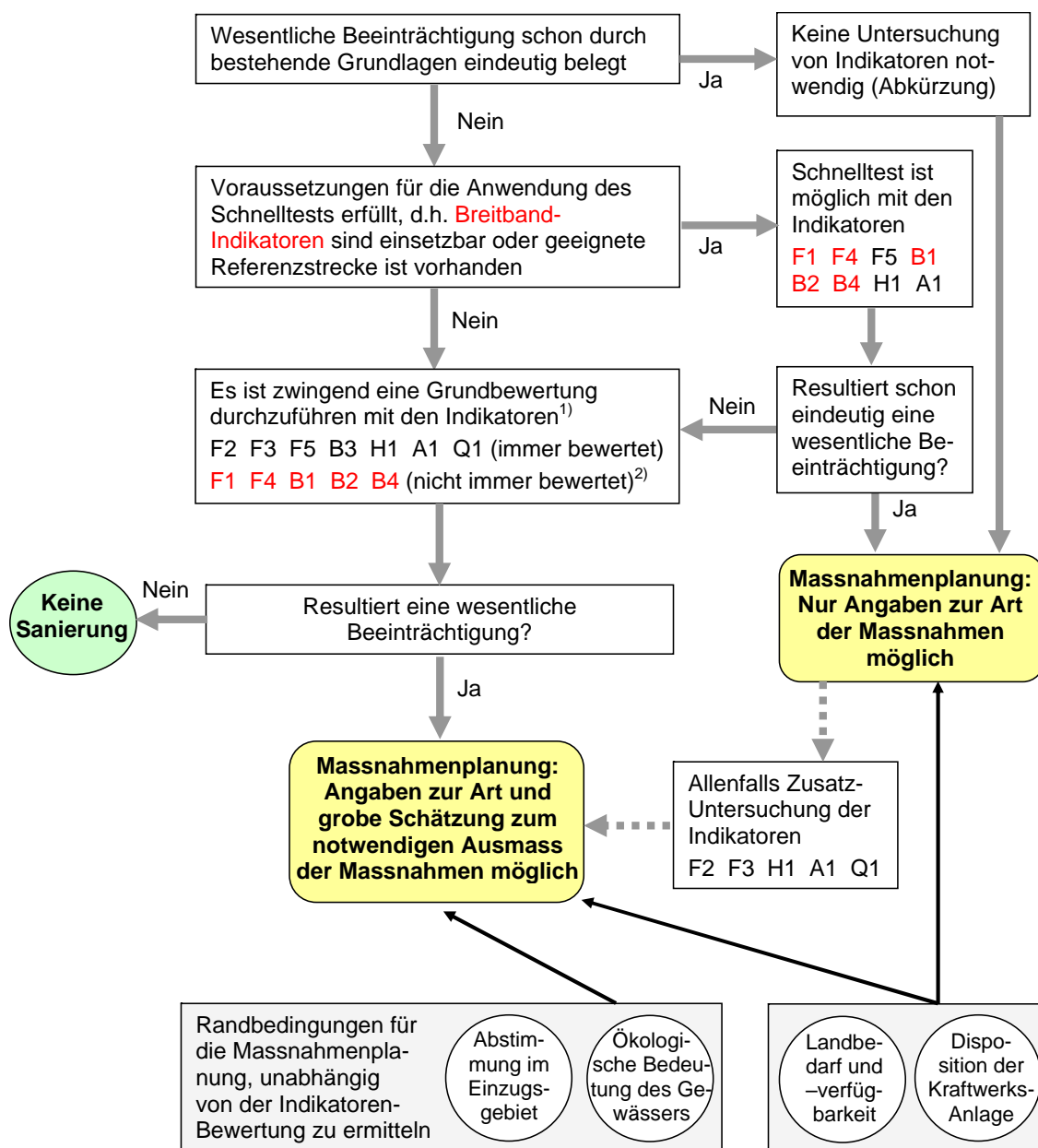
#### **Beispiel 6: Kein Fall für den Schnelltest**

*Betrachtet wird die Zentrale A eines Speicher-Kraftwerks, das relativ weit unten an einem Fluss mit mehreren anderen schwallerzeugenden Zentralen liegt. Die Zentrale A erhöht den maximalen Schwallabfluss, der schon vorher um 80 m<sup>3</sup>/s beträgt, nochmals um bis zu 25 m<sup>3</sup>/s. Falls das Rückabegewässer sowohl vor als auch nach der Zentrale A wesentlich beeinträchtigt ist, so kann allein mit dem Schnelltest nicht ermittelt werden, ob diese Zentrale auch für sich alleine schon sanierungspflichtig wäre. Es muss dann zunächst im Rahmen einer vollständigen Grundbewertung mit den dafür geeigneten Indikatoren abgeschätzt werden, ob die Zentrale A auch dann noch zu einer wesentlichen Beeinträchtigung führen würde, wenn alle oberliegenden Werke bereits nach den gesetzlichen Anforderungen saniert wären.*

---

**Abb. 6 > Möglicher Planungs- und Untersuchungsablauf mit den jeweils zu untersuchenden Indikatoren und mit der detaillierten Vorgehensweise für die drei Schritte «Abkürzung», «Schnelltest» und «Grundbewertung»**

Die rot hervorgehobenen Breitband-Indikatoren können nur unter bestimmten Voraussetzungen uneingeschränkt angewendet werden (Kap. 2.4.2).



<sup>1</sup> Indikatoren, die schon beim Schnelltest eingesetzt worden sind, müssen bei der Grundbewertung nicht mehr zwingend untersucht werden, eine nochmalige Aufnahme wird aber empfohlen (Kap. 2.5.2).

<sup>2</sup> Die Breitband-Indikatoren werden auch bei der Grundbewertung mit untersucht. Sie können aber nur bewertet werden, wenn die Voraussetzungen dafür erfüllt sind

## 2.5 Die Grundbewertung

In den ersten Schritten der kantonalen Planung ist ein Teil der Anlagen als sicher nicht sanierungsbedürftig ausgeschieden (Kap. 2.1 und 2.2). Im anschliessenden Schnelltest oder über die Abkürzung ist ein weiterer Teil als sicher sanierungsbedürftig eingestuft worden (Kap. 2.3 und 2.4).

Grundbewertung

Für alle übrigen Anlagen ist im weiteren Verlauf der kantonalen Planung eine vollständige Grundbewertung gemäss dem nachfolgend beschriebenen Vorgehen durchzuführen. In welchen Fällen und auf welche Weise die Grundbewertung eingesetzt wird, ist in Abb. 6 schematisch dargestellt.

Einige wichtige konzeptionelle Grundlagen für die hier verwendete Untersuchungs- und Bewertungsmethodik werden in Anhang A2 besprochen. Sie sollten für das Verständnis der Grundbewertung ebenfalls beachtet werden.

### 2.5.1 Die Indikatoren für die Grundbewertung

Mit der Grundbewertung wird geprüft, ob die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume im Sinne von Artikel 39a Absatz 1 GSchG wesentlich beeinträchtigt sind oder nicht. Durchgeführt wird diese Prüfung hauptsächlich mit Indikatoren für die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaft gemäss Artikel 41e Buchstabe b GSchV. Wie schon beim Schnelltest, haben die Pflanzen bzw. die pflanzliche Lebensgemeinschaft auch in der Grundbewertung keinen eigenen Indikator, weil sie auf hydrologische Veränderungen allgemein weniger sensitiv reagieren als Fische und Makroinvertebraten (Kap. 2.4.1). Die Grundbewertung setzt daher voraus, dass auch für pflanzliche Organismen keine wesentlichen Beeinträchtigungen mehr bestehen, wenn die Indikatoren für die tierischen Organismengruppen der Fische und des Makrozoobenthos sowie für den aquatischen Lebensraum einen ausreichenden Gewässerzustand anzeigen.

Indikatoren

Ein Teil der Indikatoren für die Grundbewertung wird auch für den Schnelltest eingesetzt und ist schon in Kapitel 2.4.1 besprochen worden. Die Grundbewertung umfasst darüber hinaus die folgenden zusätzlichen Indikatoren (vgl. Abb. 6):

- > F2 (Stranden) untersucht in erster Linie mittels hydraulischer Berechnungen, wie rasch bei Schwallrückgang welche Flächen trockengelegt werden und welches Risiko zu stranden sich für die Fische daraus ergibt. Ergänzt und abgesichert werden diese Berechnungen durch Aufnahmen im Feld. Dabei werden auch auffällige Häufungen von gestrandeten wirbellosen Organismen mit dokumentiert.
- > F3 (Laichareale) berechnet mit ein- oder zweidimensionalen hydraulischen Modellen (je nach Morphologie), wie gross die potentiellen Fisch-Laichareale sind, die bei Sunk nicht trockenfallen und bei Schwall nicht erodiert werden. Überprüft und abgesichert werden können diese Berechnungen mit den Feldaufnahmen von Brütlingen der Hauptfischarten durch den Indikator F4, der als Breitband-Indikator auch im Schnelltest eingesetzt wird.

- > B3 (Längenzonation Makrozoobenthos) bewertet, wie gut die Wirbellosen-Fauna den Erwartungen für die entsprechende biologische Fließgewässer-Region entspricht. Dabei können dieselben Proben wie für die anderen Benthos-Indikatoren verwendet werden, die Makroinvertebraten sind aber genauer zu bestimmen.
- > Q1 (Wassertemperatur) bewertet die kurzfristigen, schwallbedingten Veränderungen der Wassertemperatur anhand einer mindestens einjährigen Messreihe.

Eine genaue Beschreibung sowie die Anleitung für die praktische Untersuchung und Bewertung jedes Indikators ist den ausführlichen Indikatorblättern in Anhang A7 dieser Vollzugshilfe zu entnehmen.

### 2.5.2 Anwendung und Grenzen der Grundbewertung

Bei der vollständigen Grundbewertung werden alle verfügbaren Indikatoren nach den methodischen Vorgaben in Anhang A2 untersucht. Darunter können die Indikatoren F2, F3, F5, B3, H1, A1 und Q1 unabhängig von der Wasserqualität und der Morphologie, also in allen zu untersuchenden Fällen bewertet werden, so dass das Gesamtbild breiter abgestützt ist als beim Schnelltest (Tab. 1).

#### Grenzen der Grundbewertung

Die sogenannten Breitband-Indikatoren werden bei der Grundbewertung ebenfalls mit untersucht. Das ist notwendig, weil einzelne Breitband-Indikatoren Grundlagen enthalten für andere, immer anwendbare Indikatoren (B1 für F5) oder weil sie für die Überprüfung und Absicherung anderer Indikatoren verwendet werden (F4 für F3; siehe Anhang A7).

Bei der eigentlichen Bewertung sind die Breitband-Indikatoren jedoch nur eingeschränkt verwendbar. Sie können in jenen Fällen *nicht* bewertet werden, in denen die Voraussetzungen dafür nicht erfüllt sind und deshalb auch kein Schnelltest möglich war. Wenn sich der Kanton direkt für eine Grundbewertung entscheidet, ohne zuvor den Schnelltest geprüft zu haben, ist die Anwendbarkeit der Breitband-Indikatoren nach den Vorgaben in Kapitel 2.4.2 zuerst abzuklären. Auch bei der Grundbewertung zählen diese Indikatoren nur, wenn die Konzentrationen von Nähr- und Schadstoffen die gesetzlichen Vorgaben erfüllen und wenn der Schwallenfluss auch in einer morphologisch naturnahen bis natürlichen Strecke untersucht werden kann. Alternativ dazu ist der Einsatz der Breitband-Indikatoren auch dann möglich, wenn eine bezüglich Wasserqualität und/oder Morphologie vergleichbare Referenzstrecke ohne Schwallenfluss zur Verfügung steht (Kap. 2.4.3).

Wenn mit dem Schnelltest allein keine wesentliche Beeinträchtigung festgestellt wurde, ist vom Kanton zwingend auch noch eine Grundbewertung durchzuführen (Abb. 6). In solchen Fällen wird empfohlen, die Breitband-Indikatoren bei der Grundbewertung nochmals zu überprüfen. Das erlaubt eine bessere Absicherung der Resultate, was in den nicht zum vornherein eindeutigen Fällen insbesondere für die biologischen Indikatoren angezeigt ist. So ist sichergestellt, dass die teilweise ausgeprägten natürlichen Schwankungen im Bestand und in der Zusammensetzung der Organismen bei der Bewertung berücksichtigt werden.

**Tab. 1 > Anwendung der Indikatoren im Schnelltest, in der Grundbewertung und bei der Abschätzung des notwendigen Umfanges von schwalldämpfenden Massnahmen (vgl. Tab. 2) durch die Kantone**

Indikatoren	Schnelltest	Grundbewertung	Umfang Sanierungs-massnahmen
Breitband = F1, F4, B1, B2, B4	Untersuchung immer möglich, Bewertung aber nur, wenn Voraussetzungen bezüglich Wasserqualität und Gewässermorphologie erfüllt sind		Nicht aussagekräftig
F5	Anwendung (d.h. Untersuchung <i>und</i> Bewertung) immer möglich, da Wasserqualität und Morphologie bei Bewertung berücksichtigt		Nicht aussagekräftig
H1	Anwendung immer möglich, da von Wasserqualität unabhängig und Morphologie bei Bewertung berücksichtigt		Aussagekräftig
A1	Anwendung immer möglich, da von Wasserqualität und Gewässermorphologie unabhängig		Aussagekräftig
F2, F3	Im Schnelltest nicht enthalten	Anwendung immer möglich, da sehr Schwall-spezifisch	Aussagekräftig
Q1	Im Schnelltest nicht enthalten	Anwendung immer möglich, da sehr Schwall-spezifisch	Aussagekräftig
B3	Im Schnelltest nicht enthalten	Anwendung in der Regel möglich, da ziemlich Schwall-spezifisch	Nicht aussagekräftig

Auch bei der Grundbewertung können die zu untersuchenden Indikatoren soweit als möglich aufgrund schon bestehender Untersuchungen bestimmt werden (vgl. Kapitel 2.4.2).

Im Gegensatz zum Schnelltest wird die Grundbewertung nicht nur für den heutigen Zustand (IST-Zustand), sondern auch für den sogenannt absehbaren Zustand durchgeführt. Dieser Zustand umfasst hauptsächlich jene Veränderungen der Gewässermorphologie und/oder der Wasserqualität, die aus heutiger Sicht bis zum Ablauf der Umsetzungsfrist für schwalldämpfende Massnahmen, also bis Ende 2030, zu erwarten sind (Anhang A2-1). Vereinzelt können darunter aber auch hydrologische Veränderungen fallen, wenn etwa

Absehbarer Zustand

- > bis 2030 der Ausbau einer Zentrale geplant ist und dabei die Ausbauwassermenge (d. h. der maximal mögliche Schwallabfluss) erhöht wird. Auskünfte dazu muss der Inhaber dem Kanton gemäss Artikel 41f Absatz 2 Buchstabe e GSchV erteilen;
- > innerhalb dieser Zeit die Konzession eines Kraftwerks zu erneuern ist und dabei auch die Restwassermengen (d. h. der Sunkabfluss) nach Artikel 31–33 GSchG erhöht werden müssen (siehe Indikator A1 in Anhang A7).

Die Wasserqualität entspricht heute schon in vielen, v. a. alpinen Schwallstrecken weitgehend den gesetzlichen Anforderungen und dürfte sich in absehbarer Zukunft auch nicht entscheidend verändern. Ausserdem sind diese Veränderungen aus heutiger Sicht vermutlich oft schwierig abzuschätzen.

Morphologisch werden in den nächsten 20 Jahren etliche Schwallstrecken durch Revitalisierungsmassnahmen (z. B. Aufweitungen) und durch die Sanierung des Geschiebehaushaltes aufgewertet werden. In einigen Fällen sind solche Massnahmen und damit auch der absehbare Zustand heute schon teilweise bekannt, so etwa bei der Walliser



Rhone (Beispiel A1 in Anhang A2-1). In vielen anderen Fällen werden diese Massnahmen jedoch erst aus den breit angelegten Planungen der Kantone in den Bereichen Revitalisierung und Geschiebe hervorgehen, welche durch die neuen Bestimmungen in GSchG und GSchV ausgelöst werden. Diese kantonalen Planungen sind, ebenso wie jene für die Sanierung von Schwall und Sunk, bis zum 31. Dezember 2014 fertig zu stellen. Wichtige Grundlagen zum absehbaren morphologischen Zustand gewisser Schwallstrecken werden daher erst gegen Ende der kantonalen Planung zur Verfügung stehen.

Verändert sich die Morphologie einer Schwallstrecke im absehbaren gegenüber dem heutigen Zustand, so gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- > Entweder die Morphologien, die durch Revitalisierungsmassnahmen im absehbaren Zustand neu entstehen, sind in einzelnen Abschnitten der Schwallstrecke schon heute vorhanden. In diesem Fall können alle Indikatoren in den bestehenden Morphologien auch stellvertretend für den absehbaren Zustand untersucht und bewertet werden. Für die Breitband-Indikatoren ist eine zuverlässige Bewertung allerdings nur dort möglich, wo heute auch noch eine ausreichend lange, naturnahe bis natürliche Morphologie vorhanden ist. Wie beim Schnelltest, können solche Abschnitte auch hier anhand der ökomorphologischen Einstufung bestimmt werden (Kap. 2.4.2). So besteht beispielsweise am Alpenrhein die Möglichkeit für eine vollständige Bewertung aller Indikatoren dank der morphologisch noch natürlichen Strecke der Mastrilser Auen (Beispiel 5).
- > Oder die zukünftig erwarteten Morphologien sind heute noch nicht vorhanden, wie etwa an der Rhone (Beispiel A1 in Anhang A2-1). In einem solchen Fall kann der absehbare Zustand nicht mit den Breitband-Indikatoren, sondern nur mit jenen anderen Indikatoren bewertet werden, die von der Morphologie unabhängig oder durch Modellrechnungen auf andere Morphologien übertragbar sind (Abb. 6; Tab. 1).

Wenn keine der im heutigen und im absehbaren Zustand vorhandenen Morphologien auch nur annähernd naturnah ist (weil als Revitalisierungsmassnahmen z. B. nur kleine Aufweitungen geplant sind), sollten zur besseren Einordnung der Resultate auch noch die natürlichen Morphologien bestimmt werden (Anhang A3). Eine Berechnung und Bewertung der dazu (theoretisch) geeigneten Indikatoren für diese natürlichen Morphologien ist jedoch nicht vorgesehen.

Wie schon für den Schnelltest sind auch für die Grundbewertung neben der eigentlichen Schwallstrecke hydrologisch nicht beeinflusste, sonst aber vergleichbare Referenzstrecken mit zu untersuchen, soweit solche vorhanden sind. Abweichungen zwischen der Schwall- und der Referenzstrecke sind dabei als schwallbedingt zu betrachten (vgl. Kapitel 2.4.3).

In komplexen Situationen mit mehreren Kraftwerks-Zentralen am gleichen Gewässer (Anhang A4) können die Auswirkungen einer einzelnen, weit unten gelegenen Zentrale nicht unabhängig von den oberliegenden Zentralen untersucht und bewertet werden. In diesen Fällen ist es empfehlenswert, über das ganze Einzugsgebiet ein Abflussmodell zu erstellen (Anhang A4). Sind mehrere Kraftwerks-Zentralen gemeinsam zu bearbei-

ten, liegen ausserdem besondere Verhältnisse gemäss Anhang 4a GSchV vor, und die Frist für die kantonale Planung kann über 2014 hinaus verlängert werden (Kap. 4.4).

### 2.5.3 Das Bestimmen der wesentlichen Beeinträchtigung anhand der Grundbewertung

Bisher sind für den IST-Zustand und für den absehbaren Zustand die dafür jeweils geeigneten Indikatoren der Grundbewertung untersucht und soweit wie möglich bewertet worden (Kap. 2.5.2).

Bewertung

Aus diesen Bewertungen ergeben sich die Beeinträchtigungen in gleicher Weise wie beim Schnelltest (Kap. 2.4.4). Eine wesentliche Beeinträchtigung besteht dann, wenn in der Grundbewertung für den IST-Zustand *oder* für den absehbaren Zustand:

- > mindestens ein Indikator einen schlechten Zustand anzeigt (Signalfarbe rot), oder
- > mindestens zwei Indikatoren einen unbefriedigenden Zustand anzeigen (orange), oder
- > mindestens drei Indikatoren einen mässigen Zustand anzeigen (gelb), oder
- > ein Indikator einen unbefriedigenden Zustand und zwei weitere Indikatoren einen mässigen Zustand anzeigen.

Zeigen weniger oder gar keine Indikatoren eine Überschreitung an, so besteht keine wesentliche Beeinträchtigung.

Weil im absehbaren Zustand vermutlich oft weniger Indikatoren untersucht werden können als im IST-Zustand, zeigen im absehbaren Zustand möglicherweise auch weniger Indikatoren eine Beeinträchtigung an. Andererseits kann sich die Zahl der «ungenügenden» Indikatoren im absehbaren Zustand auch effektiv verändern. Wenn ein bestimmter Indikator sowohl für den IST- als auch für den absehbaren Zustand bewertet werden kann, so ist für die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung nur die Einstufung dieses Indikators im absehbaren Zustand massgebend. Ansonsten zählen die jeweils vorliegenden Bewertungen unabhängig davon, welchen Zustand sie wiedergeben.

Wenn unter den genannten Bedingungen weder im IST-Zustand noch im absehbaren Zustand eine massgebende wesentliche Beeinträchtigung festgestellt wird, scheidet die entsprechende Anlage als nicht sanierungspflichtig aus dem weiteren Verfahren aus (Abb. 4 und Abb. 6). Ergibt sich aus der Grundbewertung hingegen eine wesentliche Beeinträchtigung, so leitet der Kanton für diese Anlage die Planung von schwalldämpfenden Massnahmen ein (Kap. 4.2).

Erscheint die Bewertung – unabhängig von ihrem Resultat – als zweifelhaft, so kann der Kanton die Untersuchung der fraglichen oder aller Indikatoren für die Grundbewertung nochmals wiederholen lassen. Wird eine solche Wiederholung notwendig, liegen besondere Verhältnisse im Sinne von Anhang 4a GSchV vor, bei denen die erforderlichen Angaben nach den gesetzlich vorgesehenen Fristen eingereicht werden können (Kap. 3.5 und 4.4).

Qualität der Grundlagen

---

Bei der ergänzenden Bewertung in der anschliessenden Planung durch die Inhaber (2. Phase) werden die Indikatoren der Grundbewertung dann nochmals aufgenommen und bewertet (Kap. 5). Das erlaubt es, die teilweise ausgeprägten natürlichen Schwankungen im Bestand und in der Zusammensetzung der Organismen bei der Bewertung zu berücksichtigen und die Resultate so besser abzusichern.

## 3 > Erstellen des Zwischenberichtes

Über die ersten Schritte seiner Planung reicht der Kanton dem BAFU bis zum 30. Juni 2013 einen Zwischenbericht ein. Dieser enthält die in Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 GSchV verlangten Angaben.

Anforderungen an den  
Zwischenbericht

In Anhang A6 sind die Minimalanforderungen des BAFU an den Zwischenbericht und die mit dem Bericht einzureichenden Unterlagen zusammengestellt.

### 3.1 Liste der Kraftwerke, die Abflussschwankungen verursachen können

Der Zwischenbericht enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 Buchstabe a GSchV

> *pro Einzugsgebiet eine Liste der bestehenden Wasserkraftwerke, die Abflussschwankungen verursachen können (Speicherkraftwerke und Flusskraftwerke).*

Zu Beginn seiner Planung verschafft sich der Kanton deshalb einen Überblick über die schwallerzeugenden Kraftwerks-Zentralen und über die Fliessgewässer mit künstlichen Abflussschwankungen auf seinem Gebiet. Diese beiden Informationen ergänzen sich, denn ein schwallerzeugendes Kraftwerk im Kanton B kann sein Betriebswasser in ein Gewässer zurückgeben, das schon durch die Schwälle aus anderen Zentralen im oberliegenden Kanton A beeinflusst ist (vgl. Anhang A4). In einem solchen Fall wird der Kanton B nicht diese oberliegenden Zentralen (für die er gar nicht zuständig ist), sondern vielmehr den Schwalleinfluss im betroffenen Gewässer an der Kantonsgrenze als bestehende «Vorbelastung» aufnehmen.

Welcher Kanton für eine bestimmte Zentrale zuständig ist, hängt in der Regel allein vom geografischen Standort dieser Zentrale (d. h. des Maschinenhauses) ab und nicht vom juristischen Firmensitz der Inhaber-Gesellschaft. Die Standorte aller Zentralen samt Kantons-Zugehörigkeit sind in der Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz (WASTA) verzeichnet (BFE 2011), welche auch über das schweizerische Gewässerinformationssystem GEWISS zugänglich ist (<http://gewiss.admin.ch>). Dieses Verzeichnis wird jährlich aktualisiert.

Speziell geregelt ist die Zuständigkeit bei den Grenzkraftwerken (siehe z. B. BAFU 2011a, Limnex 2001). Für die Verleihung von Wasserrechten an Gewässerstrecken, welche die Landesgrenzen berühren, ist der Bund zuständig. Damit vollzieht er auch das Gewässerschutz- und Fischereirecht des Bundes im Zusammenhang mit den konzessionierten Grenzkraftwerken und ordnet deren Sanierung an. Die Planung dieser Sanierungen wird von den Kantonen, auf deren Gebiet die Kraftwerke liegen, unter Beizug des Bundes durchgeführt.

Im Zwischenbericht werden alle Gewässerstrecken und Kraftwerksanlagen aufgelistet, die vom Kanton in einem ersten Schritt als relevant eingestuft werden (Abb. 4). Es sind dies alle Fälle, bei denen es sich um Schwall und Sunk im Sinne des Gesetzes handelt (Kap. 2.1). Als relevant gelten nach UREK SR (2008) ausdrücklich auch die Flusskraftwerke (Kap. 1.3) und die von ihnen beeinflussten Flussabschnitte.

Es gibt in der Schweiz kein einheitliches und lückenloses Verzeichnis von Kraftwerken, die schwallartige Abflussschwankungen erzeugen. Die Kantone stützen sich daher mit Vorteil auf verschiedene Quellen ab, um einen möglichst vollständigen Überblick zu erhalten.

### **Verzeichnisse und Angaben zum Schwallbetrieb**

Gesamtschweizerisch liegen bisher folgende Verzeichnisse über schwallerzeugende Kraftwerks-Zentralen und/oder vom Schwallbetrieb beeinflusste Gewässerstrecken vor (in der Reihenfolge ihres Erscheinens):

- > EAW (1973): Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz auf 1. Januar 1973. Herausgegeben vom Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, Bern. Enthält Angaben zu Art und Grösse der genutzten Speicher, die in den späteren Auflagen der Statistik nicht mehr enthalten sind;
- > Limnex (2001): Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fliessgewässern. Grundlagenstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Abteilung Gewässerschutz und Fischerei, Bern  
([www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de));
- > Margot et al. (2010): Beeinflussung der Fliessgewässer und Kraftwerke ( $\geq 300$  kW) und Seeregulierungen. Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES), herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Abteilung Landeshydrologie, Bern, Blatt 5.3.
- > Balmer, M.A. (in Vorb.): Nachhaltigkeitsbezogene Typologisierung der schweizerischen Wasserkraftanlagen – GIS-basierte Clusteranalyse und Anwendung in einem Erfahrungskurvenmodell. Dissertation, ETH Zürich.

Solche Verzeichnisse sind nie vollständig. So fehlen darin in der Regel Angaben zu den meist geringfügigen Abfluss-Schwankungen aus den Stauhaltungen von Laufkraftwerken (Schwallbetrieb) und zu kleinen bis sehr kleinen Kraftwerks-Zentralen oder Gewässern.

Es empfiehlt sich somit, von Anfang an zusätzliche Informationsquellen mit genaueren Angaben für einzelne Kantone heranzuziehen, insbesondere

- > die Daten von kantonalen Abfluss-Messstationen und andere hydrologische Grundlagen der kantonalen Fachstellen;
- > die kantonalen Wasserrechts-Verzeichnisse und -Karten;
- > das Wissen und die Erfahrung der Fachleute in den kantonalen Fachstellen für Gewässerschutz, Fischerei und Energie, bei den Kraftwerken sowie bei den örtlichen Fischereivereinen und Sektionen von Umweltverbänden.

Dass unter diesem Punkt nicht nur die Kraftwerke, sondern auch gewisse Gewässerstrecken aufgeführt werden, ermöglicht insbesondere in folgenden Fällen eine schnellere Beurteilung:

- > Wenn in Flussabschnitten mit vielen aufeinanderfolgenden Flusskraftwerken die bestehenden Abfluss-Messstationen keine oder nur geringe Abflussschwankungen (mit Schwall/Sunk-Verhältnissen von deutlich unter 1,5:1) zeigen, so muss nicht mehr zwingend jedes oberliegende Kraftwerk einzeln untersucht werden. Wenn jedoch das Schwall/Sunk-Verhältnis bei einer Messstation nahe bei oder über 1,5:1 liegt, dann ist zu prüfen, durch welche der oberliegenden Flusskraftwerke diese Abflussschwankungen erzeugt werden und wie stark sie kurz nach der schwallerzeugenden Zentrale sind.
- > Wenn sich in komplexen Situationen die Einflüsse von mehreren bis vielen schwallerzeugenden Zentralen in einem Einzugsgebiet überlagern, so kann der Schwalleinfluss anhand der bestehenden Abfluss-Messstationen zumindest schon für die entsprechenden Gewässerstrecken untersucht werden. Diesen Einfluss auf die einzelnen Zentralen aufzuteilen, benötigt unter solch besonderen Verhältnissen hingegen meist wesentlich mehr Zeit (Kap. 3.5).

### 3.2 Angaben über die wesentlichen Beeinträchtigungen

Der Zwischenbericht enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 Buchstabe b GSchV

Kartographische Darstellung

- > *Angaben darüber, welche Wasserkraftwerke in welchen Gewässerabschnitten die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume durch Schwall und Sunk wesentlich beeinträchtigen.*

Hier sind zunächst jene Fälle anzuführen, bei denen es sich zwar um Schwall und Sunk im Sinne von Artikel 39a GSchG handelt, die aber aufgrund eines Schwall/Sunk-Verhältnisses von weniger als 1,5:1 (Kap. 2.2.1) oder über den Notausgang trotzdem als nicht sanierungspflichtig ausgeschieden wurden. Wenn der Kanton den Notausgang (Kap. 2.2.2) verwendet hat, ist dies nachvollziehbar zu begründen.

Anzuführen sind sodann auch diejenigen Kraftwerke, für welche die Grundbewertung schon eindeutig ergeben hat, dass sie *keine* wesentlichen Beeinträchtigungen hervorrufen und die deshalb definitiv als *nicht* sanierungspflichtig eingestuft werden (Kap. 2.5). Die Ergebnisse sind nachvollziehbar zu begründen.

Auf einer Karte werden schliesslich alle Schwallstrecken und schwallerzeugenden Anlagen verzeichnet, für die schon aufgrund des Schnelltests oder der Abkürzung eindeutig feststeht, dass sie die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume wesentlich beeinträchtigen (Kap. 2.3 und 2.4). Hier sind auch schon diejenigen Kraftwerke zu bezeichnen, für welche die bereits durchgeführten Untersuchungen im Rahmen der Grundbewertung eine wesentliche Beeinträchtigung anzeigen (Kap. 2.5). Die Ergebnisse sind nachvollziehbar zu begründen, insbesondere sind Angaben dazu zu machen, auf welchem Weg der Sanierungsbedarf festgestellt wurde (verwendete

Grundlagen, Resultate des Schnelltests). Wenn der Kanton die Abkürzung (Kap. 2.3) verwendet hat, ist dies nachvollziehbar zu begründen.

Ergänzend werden auch noch jene Strecken und Anlagen aufgeführt, bei denen aufgrund des Schnelltests noch nicht über das Ausmass der bestehenden Beeinträchtigungen entschieden werden kann und für welche die vollständige Grundbewertung noch nicht durchgeführt werden konnte.

### 3.3 Ökologisches Potenzial und Grad der Beeinträchtigung

Der Zwischenbericht enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 Buchstabe c GSchV

> *eine Beurteilung des ökologischen Potenzials der wesentlich beeinträchtigten Gewässerabschnitte und des Grads der Beeinträchtigung.*

Das ökologische Potenzial eines Gewässers kann in diesem frühen Planungsstadium erst grob abgeschätzt werden. Es ergibt sich nach Artikel 33a GSchV bei naturnahen Gewässern aus der ökologischen Bedeutung des Gewässers in seinem heutigen und bei bereits beeinträchtigten Gewässern aus seiner Bedeutung in einem gedachten zukünftigen Zustand, bei dem die vom Menschen verursachten Beeinträchtigungen so weit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten möglich ist. Für die Beurteilung der heutigen Bedeutung eines Gewässers sind verschiedene Kriterien zu berücksichtigen, darunter die Lage in nationalen und kantonalen Inventaren, die Lebensräume gefährdeter oder prioritärer Arten, die Möglichkeit für eine eigendynamische Entwicklung, die Lage innerhalb des Gewässersystems oder der landschaftsprägende Charakter (Einzelheiten siehe in BAFU, 2011b). Die mögliche zukünftige Bedeutung eines Gewässers kann entweder aus dem Zustand der Referenzstrecke (wo eine solche vorhanden ist) oder aus ersten Anhaltspunkten zum absehbaren Zustand bzw. zu einem mutmasslichen Entwicklungsziel abgeleitet werden (Anhang A2-1). Diese Anhaltspunkte können aus den bereits vorhandenen Grundlagen, aus den parallel laufenden Planungen in den Bereichen Revitalisierung und Geschiebe oder allenfalls aus der Bestimmung der natürlichen Morphologien (Anhang A3) hervorgehen.

Ökologisches Potential

Der Grad der Beeinträchtigung ist dagegen klarer zu fassen. Er ergibt sich direkt aus der Anzahl der Indikatoren, die beim Schnelltest oder bei der Grundbewertung einen unbefriedigenden, mässigen oder schlechten Gewässerzustand anzeigen (Signalfarben gelb bis rot; Anhang A2-2). Bei Anlagen, für die der Kanton die Abkürzung (Kap. 2.3) gewählt hat, ist eher von einer grossen Beeinträchtigung auszugehen.

Grad der Beeinträchtigung

Weitere Grundlagen, um den Grad der Beeinträchtigung zu beurteilen, können auch aus der Anwendung des Moduls Hydrologie des Modul-Stufen-Konzepts (HYDMOD) resultieren. Dabei kann entweder das reine Schwall/Sunk-Verhältnis herangezogen werden, wie es schon für das Ausscheiden der sicher nicht sanierungspflichtigen Anlagen berechnet worden ist (Kap. 2.2). Es kann aber auch eine vollständige Bewertung des Schwall/Sunk-Phänomens mit Einteilung in eine Zustandsklasse durchgeführt werden (Pfaundler et al. 2011; siehe Abb. 5).

## 3.4

**Mögliche und voraussichtliche Sanierungsmassnahmen**

Der Zwischenbericht enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 Buchstabe d GSchV

Mögliche  
Sanierungsmassnahmen

- > *für jedes Wasserkraftwerk, bei dem die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume durch Schwall und Sunk wesentlich beeinträchtigt werden: mögliche Sanierungsmassnahmen, deren Beurteilung und die Festlegung der voraussichtlich zu treffenden Massnahmen sowie Angaben über die Abstimmung dieser Massnahmen im Einzugsgebiet.*

Um schon in diesem frühen Planungsstadium die realisierbaren schwalldämpfenden Massnahmen ermitteln und bestenfalls auch schon die bevorzugten Massnahmen auswählen zu können, werden die Inhaber der Wasserkraftwerke in die Abklärungen einbezogen. Dabei ist zu klären, welche Massnahmen sich aus der Disposition der Anlage heraus aufdrängen. Das Gesetz (39a Absatz 1 GSchG) sieht primär bauliche Massnahmen vor und nur auf Antrag des Inhabers des Wasserkraftwerks sind sekundär betriebliche Massnahmen möglich. Darum sind betriebliche Massnahmen nur dann zu prüfen, wenn ein Antrag des Inhabers vorliegt. Für bauliche Massnahmen können schon frühzeitig der ungefähre Landbedarf und die Verfügbarkeit von geeignetem Land im Umfeld der Anlage abgeklärt werden (Abb. 6). Angemessen zu berücksichtigen sind sodann auch die Anliegen des Natur- und Landschaftsschutzes (Kap. 4.2.2).

**Mögliche schwalldämpfende Massnahmen**

Nach Meile et al. (2005) sind bei Wasserkraftwerken folgende bauliche (k) oder betriebliche (b) Massnahmen zur Dämpfung des Schwalls möglich (ohne morphologische Massnahmen am Gewässer):

- > Bauliche Massnahmen
  - Direktableitung des Schwalls in einen See (k)
  - Ableitung des Schwalls in einem separaten Kanal oder Stollen (k)
  - Bau von grösseren Rückhaltebecken oder -kavernen zur Dämpfung der Schwall/Sunk-Amplitude (k)
  - Bau von kleineren Gradientenbecken zur Dämpfung der Anstiegs-/Rückgangsraten (k)
- > Betriebliche Massnahmen – nur auf Antrag Inhaber
  - Erhöhung des Minimalabflusses (Sunk) ab Speicher oder ab Zentrale (b)
  - Verminderung des Maximalabflusses (Schwall) durch Beschränkung der Leistung (b)
  - Verringerung der Anstiegs-/Rückgangsraten durch langsames oder stufenweises An-/Zurückfahren der Turbinen (b)
  - Antizyklisches Turbinieren hintereinander gelegener Kraftwerks-Stufen (b)

Unter den baulichen Massnahmen sollten nicht nur Ausgleichsbecken, sondern auch die anderen möglichen Massnahmen gründlich geprüft werden. Darunter können auch innovative Kombinationslösungen sein, mit denen sich zusätzliche Synergieeffekte nutzen lassen, wie etwa:



- > Mehrzweckbecken, welche neben der Schwalldämpfung auch dem Hochwasserschutz, der Erholungsnutzung, der Stromproduktion oder weiteren Schutz- bzw. Nutzungsanliegen dienen (EPFL 2007).
- > Der gleichzeitige Einsatz von Ausgleichsbecken zur Schwalldämpfung und Pumpspeicherung, wie dies Artikel 39a Absatz 4 GSchG auch ohne Konzessionsänderung ausdrücklich zulässt. Ein Beispiel dafür ist das Ausgleichsbecken Tierfehd in Linthal (AXPO 2006).
- > Die separate Ableitung des Schwall über einen Druckstollen und die anschliessende Turbinierung dieses Wassers in einer zusätzlichen Kraftwerksstufe (Schwallkraftwerk). Ein Beispiel dafür ist das geplante Kraftwerk Chlus der Repower (2010) im unteren Prättigau.

Nach BAFU (2011a) ist schon zu Beginn eine möglichst breite Palette von Massnahmen in die Überlegungen mit einzubeziehen, einschliesslich der gemäss Artikel 39a Absatz 1 GSchG nur auf Antrag der Inhaber zu prüfenden betrieblichen Massnahmen. Aus dieser «Auslegeordnung» sind zuerst jene Massnahmen einzugrenzen, die in einem konkreten Fall überhaupt als möglich, d.h. realisierbar erscheinen. Weil bei dieser Entscheidung auch die Disposition der Kraftwerks-Anlage eine wichtige Rolle spielt, sollten die Inhaber möglichst von Anfang an in die Planung einbezogen werden.

Wenn der Kanton die Sanierungspflicht einer Anlage mit den relativ unspezifischen Indikatoren des Schnelltests oder mit der noch einfacheren Abkürzung festgestellt hat (Kap. 2.3), so können in diesem Stadium der Planung ausdrücklich nur Angaben über die voraussichtliche *Art der Sanierungsmassnahmen* gemacht werden (Abb. 6). Zudem werden auch diese Angaben in gewissen Fällen noch nicht abschliessend sein, nämlich dann, wenn eine bestimmte Massnahme ihren Zweck erst ab einem minimalen Umfang erfüllt, dieser notwendige Umfang aber aus den rudimentären Angaben des Schnelltests oder der Abkürzung noch nicht zu bestimmen ist. So kann beispielsweise ein Ausgleichsbecken schon in einem frühen Planungsstadium als bevorzugte Massnahme festgelegt werden; Solange das notwendige Volumen dieses Beckens noch nicht berechnet oder zumindest grob abgeschätzt worden ist, kann jedoch auch über die Realisierbarkeit der Massnahme noch nicht definitiv entschieden werden.

In solchen Fällen kann der Kanton in seiner weiteren Planung noch ausgewählte zusätzliche Indikatoren untersuchen und bewerten, mit denen die Art der Massnahmen genauer und bis zu einem gewissen Grad auch schon der notwendige Umfang dieser Massnahmen bestimmt werden können (Kap. 4.2). Es handelt sich dabei um die zusätzlichen Indikatoren F2, F3, H1, A1 und Q1 (Abb. 6). Anderenfalls ist der notwendige Umfang der Massnahmen (z.B. das Volumen eines Ausgleichsbeckens) erst in der zweiten Planungsphase durch die Inhaber definitiv festzulegen (Kap. 5).

Auch eine Abstimmung der Massnahmen innerhalb von Einzugsgebieten ist in dieser ersten Planungsphase erst beschränkt möglich, v.a. wenn es sich um grosse Einzugsgebiete mit zahlreichen schwallerzeugenden Kraftwerks-Anlagen handelt. In solchen Fällen ist in der Regel eine vollständige Grundbewertung notwendig um zu ermitteln, in welchem Ausmass die einzelnen Zentralen das Gewässer beeinträchtigen und welche Massnahmen in jedem Fall möglich bzw. sinnvoll sind. In einigen Fällen kann aber schon bei den ersten Planungsschritten festgestellt werden, dass verschiedene Zentralen

Abstimmung im EZG

in einem Einzugsgebiet jeweils auch für sich alleine genommen wesentliche Beeinträchtigungen bewirken dürften (z. B. anhand bestehender Grundlagen oder anhand der nach HYDMOD aus den Betriebsdaten berechneten Schwall/Sunk-Verhältnisse). In diesen Fällen kann auch schon frühzeitig mit der Abstimmung von möglichen (wenn auch noch nicht genau quantifizierbaren) Massnahmen innerhalb des Einzugsgebietes begonnen werden. Wenn das Einzugsgebiet sich über mehrere Kantone erstreckt (vgl. Abb. A7 in Anhang A4), ist die Planung dabei schon in dieser Phase zwischen den Kantonen zu koordinieren.

Ausführlichere Angaben zur Planung der Massnahmen und zu deren Abstimmung im Einzugsgebiet finden sich in den Kapiteln 4.2 und 4.3.

## 3.5

**Kraftwerke, bei denen besondere Verhältnisse vorliegen**

Der Zwischenbericht enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 Buchstabe e GSchV

Unzureichende Datengrundlage

*> für Wasserkraftwerke, bei denen die voraussichtlich zu treffenden Sanierungsmassnahmen nach Buchstabe d aufgrund von besonderen Verhältnissen noch nicht festgelegt werden können: eine Frist, innert welcher die Angaben nach Buchstabe d beim BAFU eingereicht werden.*

Besondere Verhältnisse liegen nach Anhang 4a Ziffer 1 GSchV hauptsächlich dann vor, wenn komplexe Situationen mit mehreren schwallerzeugenden Zentralen am gleichen Gewässer behandelt werden müssen. Es können aber auch andere Gründe für eine Fristverlängerung geltend gemacht werden, etwa wenn sich die im Zuge der Grundbewertung durchgeführten Untersuchungen als zuwenig zuverlässig oder aussagekräftig erweisen und deshalb wiederholt werden müssen (Kap. 2.5.3).

## 4 > Erstellen der Planung bis 2014

Über die Resultate seiner Planung reicht der Kanton dem BAFU bis am 31. Dezember 2014 einen Bericht ein. Dieser enthält die in Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 2 GSchV verlangten Angaben.

Anforderung an die von den  
Kantonen beschlossene Planung

In Anhang A6 sind die Minimalanforderungen des BAFU an den Bericht zur kantonalen Planung und die mit dem Bericht einzureichenden Unterlagen zusammengestellt.

### 4.1 Definitive Festlegung der sanierungspflichtigen Kraftwerke

Der Bericht zur kantonalen Planung enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 2 Buchstabe a GSchV zunächst

Wer muss sanieren?  
Wo muss saniert werden?

> *eine Liste der Wasserkraftwerke, deren Inhaber Massnahmen zur Beseitigung von wesentlichen Beeinträchtigungen der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie von deren Lebensräumen durch Schwall und Sunk treffen müssen (...)*

Es werden alle Anlagen aufgeführt und auf einer Karte verzeichnet, die sich im Rahmen der kantonalen Planung als eindeutig sanierungsbedürftig erwiesen haben. Darunter werden auch jene Anlagen nochmals genannt, für die aufgrund des Schnelltests schon im Zwischenbericht eine wesentliche Beeinträchtigung festgestellt wurde (Kap. 3.2).

Kartographische Darstellung

Für jene Gewässerstrecken und Kraftwerksanlagen, die in den ersten Planungsschritten nicht schon ausgeschieden (Kap. 2.2) oder als sicher sanierungspflichtig eingestuft worden sind (Kap. 2.3 und 2.4), führt der Kanton eine vollständige Grundbewertung durch (Abb. 4). Damit wird festgestellt bei welchen Strecken und Anlagen wesentliche Beeinträchtigungen gemäss Artikel 41e GSchV bestehen (Kap. 2.5). Für die betreffenden Kraftwerks-Anlagen müssen gemäss Artikel 39a Absatz 1 GSchG Massnahmen zur Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigungen getroffen werden (Sanierungsmassnahmen, Kapitel 4.2).

Es ist anhand der Grundlagen von Kapitel 2 sowie von Anhang A2 nachvollziehbar darzulegen, wie die Grundbewertung durchgeführt wurde und zu welchem Resultat sie geführt hat (Verwendung von bestehenden Grundlagen, durchgeführte eigene Untersuchungen, Bewertung der Indikatoren, gegebenenfalls Gründe für den Ausschluss gewisser Indikatoren).

## 4.2 Planung der Sanierungsmassnahmen

Der Bericht zur kantonalen Planung ergänzt die Liste der sanierungspflichtigen Anlagen gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 2 Buchstabe a GSchV ausserdem

Art und Fristen der  
Sanierungsmassnahmen

> (...) mit Angabe der zu treffenden Sanierungsmassnahmen sowie der Fristen, innert welcher diese geplant und umgesetzt sein müssen. Die Fristen richten sich nach der Dringlichkeit der Sanierung.

Der Kanton führt eine grobe Planung konkreter schwalldämpfender Massnahmen durch, wobei es sich gemäss Artikel 39a Absatz 1 GSchG in der Regel um bauliche und nur auf Antrag der Inhaber um betriebliche Massnahmen handelt. Bei dieser Massnahmenplanung sind hauptsächlich die folgenden zwei Punkte zu klären:

- a) Auf welche Weise und wie stark muss der Schwallbetrieb gedämpft werden, um die bestehenden wesentlichen Beeinträchtigungen zu beseitigen?
- b) Mit welchen, im konkreten Fall auch tatsächlich realisierbaren Massnahmen ist eine solche Dämpfung zu erreichen?

Die beiden Punkte folgen sich zwar im Planungsablauf, sie können am Anfang aber unabhängig voneinander untersucht werden. Mit der Suche nach möglichen schwalldämpfenden Massnahmen kann auch schon begonnen werden, wenn die bestehenden Beeinträchtigungen noch nicht vollständig bekannt sind.

### 4.2.1 Ausmass und Wirkungsart der Sanierungsmassnahmen

Für Punkt a) werden aus den Bewertungen der einzelnen Indikatoren die Art und das Ausmass der bestehenden Beeinträchtigungen bestimmt (Defizitanalyse). Je mehr Indikatoren bei der Grundbewertung eine wesentliche, starke oder sehr starke Beeinträchtigung anzeigen, desto stärker ist der Schwalleinfluss einzuschätzen und desto stärker muss tendenziell auch die Schwalldämpfung ausfallen. Dabei ist auch zu berücksichtigen, wie viele der Indikatoren effektiv für die Bewertung des IST-Zustandes und des absehbaren Zustandes eingesetzt werden konnten (Kap. 2.5.2).

Defizitanalyse

Weitere Grundlagen, um den Grad der Beeinträchtigung zu beurteilen, können sich auch aus Anwendung des MSK-Moduls Hydrologie (HYDMOD) ergeben (Kap. 3.3).

In welcher Weise oder bezogen auf welche Kennwerte (Abb. 2) der Schwall gedämpft werden soll, geht bis zu einem gewissen Grad ebenfalls aus der Grundbewertung hervor. Tab. 2 zeigt, aus welchen Indikatoren sich Rückschlüsse auf die wichtigen Schwall-Kennwerte ziehen lassen. Ein Beispiel für die praktische Anwendung des Indikators F3 zur Festlegung eines ökologisch verträglichen Schwallabflusses an der Glarner Linth geben Kirchhofer & Breitenstein (2008).

**Tab. 2 > Wie ausgewählte Indikatoren der Grundbewertung angewendet werden können, um auf dem Weg über einige Schwall-Kennwerte die notwendige Schwalldämpfung grob zu bestimmen**

Schwall-Kennwerte	Indikator	Zusammenhang Indikator–Kennwert	Praktische Anwendung
Schwall- und Sunkhöhe (-Amplitude)	F3 Laichareale Fische	Die für Fische geeigneten Laichareale werden grösser, wenn der Schwallabfluss herunter- und/oder der Sunkabfluss heraufgesetzt wird (kleinere Amplitude). Ursache dafür sind abnehmender Geschiebetrieb bei Schwall und weniger trockenfallende Flächen bei Sunk.	Schwall- und Sunkabfluss werden iterativ verändert, bis der (berechnete) Indikator F3 keine wesentliche Beeinträchtigung mehr anzeigt.
Schwall- und Sunkhöhe (-Amplitude), Anstiegs- und Rückgangsrates des Abflusses	Q1 Wassertemperatur	Die Temperaturveränderungen zwischen Schwall und Sunk (und umgekehrt) werden umso grösser, je höher der Abfluss steigt bzw. je tiefer er sinkt und je rascher der Übergang erfolgt.	Die Amplitude bzw. die Änderungsraten zwischen Schwall und Sunk werden (durch Verdünnungsrechnung) soweit vermindert, bis die Temperatur-Kenngrössen die Anforderungen des Indikators Q1 erfüllen.
Schwallhöhe und Anstiegsrate des Abflusses	H1 Kolmation	Nehmen die Schwallhöhe und die Anstiegsrate des Abflusses ab, so vermindert sich auch die Resuspension von Schwebstoffen aus der Flussole und in der Folge die Trübung. Dies wiederum reduziert die Kolmation.	Die maximale Schwebstoff-Konzentration geht aus der Bewertung von Indikator H1 hervor. Welche Schwallhöhe bzw. Anstiegsrate sich daraus ergibt, ist nur grob abzuschätzen (Schälchli et al. 2003, Limnex 2010, OIKOS 2010).
Sunkhöhe	A1 Mindestabfluss	Der Indikator zeigt eine wesentliche Beeinträchtigung an, wenn der Sunkabfluss ab Zentrale die Anforderungen von Art. 31–33 GSchG nicht erfüllt.	Der Sunkabfluss wird ab Wasserrückgabe (Zentrale) auf die nach Art. 31–33 GSchG erforderliche Höhe festgesetzt.
Pegelrückgangsrates	F2 Stranden (Berechnung)	Das Risiko zu stranden wird für Fische und Makroinvertebraten geringer, wenn der Pegel- bzw. Abflussrückgang, also der Übergang von Schwall zu Sunk, langsamer erfolgt.	Der Pegelrückgang wird rechnerisch soweit verlangsamt, dass der Indikator F2 keine wesentliche Beeinträchtigung mehr anzeigt.

Auf welche Weise und wie stark der Schwallbetrieb gedämpft werden muss, kann in dieser Phase der Planung erst grob festgelegt werden. Eine genauere Bestimmung der bestehenden Defizite und eine feinere Planung der Massnahmen aufgrund von Modellrechnungen für verschiedene Abflusszenarien erfolgt erst in der 2. Phase der Planung durch die Inhaber ab 2015 (Kap. 5).

#### 4.2.2 Festlegung der zu treffenden Sanierungsmassnahmen

Für Punkt b) ist zuerst die Art der schwalldämpfenden Massnahmen einzugrenzen, die im konkreten Fall überhaupt in Frage kommen. In Kapitel 3.4 sind verschiedene Arten von schwalldämpfenden Massnahmen aufgeführt, die der Kanton bei seiner Planung berücksichtigen kann.

Art der Sanierungsmassnahmen

Auf Antrag der Inhaber kann anstelle einer baulichen auch eine betriebliche Massnahme getroffen werden, indem z. B. der Unterlieger die Abflussschwankungen des Oberliegers durch eine antizyklische Bewirtschaftung des Stauraumes ausgleicht. Andere mögliche betriebliche Massnahmen reichen von Optimierungen bei der Regelung von Kraftwerksketten bis hin zur vollständigen Umstellung der Betriebsweise (z. B. von Spitzen- zu Grundlastproduktion). Aktuelle Beispiele für die Planung solcher Massnahmen finden sich z. B. an der Reuss im Kanton Uri (Misurio 2010, Werlen 2011) oder am Aabach im Kanton Zürich (Entegra 2011).

In vielen Fällen werden allerdings in erster Linie oder ausschliesslich bauliche Massnahmen in Frage kommen. Die meisten darunter bedingen zusätzliche Bauten in der Landschaft (Ausgleichsbecken, Ableitungskanäle, neue Kraftwerksstufen usw.). Die «platzsparenden» unterirdischen Varianten (Ausgleichskavernen, Ableitungsstollen) sind in der Regel viel teurer. Die Verfügbarkeit von geeigneten Flächen im Umfeld einer Zentrale und der Landbedarf für bestimmte Massnahmen werden daher oft entscheidend sein dafür, welche baulichen Massnahmen im konkreten Fall überhaupt näher geprüft werden können (Abb. 6).

Bei der Erarbeitung der baulichen Sanierungsmassnahmen ist deshalb frühzeitig abzuklären ob Konflikte und Synergien auftreten (Natur-, Landschafts- und Heimatschutz, Landwirtschaft, Wald, Erholungsnutzung, Möglichkeiten für Pumpspeicherung). Dazu sind die raumplanerischen Regelungen und Instrumente (Sach-, Nutzungs- und Zonenpläne) zu berücksichtigen.

Konflikte und Synergien

In komplexen Situationen mit mehreren Zentralen am gleichen Gewässer ist die Planung der Massnahmen von Anfang an über das ganze Einzugsgebiet hinweg zu koordinieren. Dabei beginnt die Planung mit Vorteil bei den obersten Anlagen im Einzugsgebiet und wird dann Schritt für Schritt auf die nachfolgenden Anlagen ausgedehnt. Nur auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die Auswirkungen der schwalldämpfenden Massnahmen in den oberliegenden Anlagen bei der Planung für die Unterlieger schon bekannt sind und entsprechend berücksichtigt werden können.

Schlussendlich sollten alle Anlagen auf Kantonsgebiet einzeln oder im Verbund soweit saniert sein, dass in keiner Schwallstrecke mehr wesentliche Beeinträchtigungen bestehen.

Verlässt ein schwallbeeinflusstes Gewässer das Kantonsgebiet in einem gerade noch gesetzeskonformen Zustand und befinden sich im anschliessenden Kanton eine oder mehrere weitere schwallerzeugende Zentralen, so besteht für diese theoretisch überhaupt kein zusätzlicher Spielraum mehr. Um die gesetzlichen Anforderungen auch auf der anschliessenden Gewässerstrecke einzuhalten, müssten die Zentralen im zweiten Kanton den Schwall deshalb vergleichmässigen. Um eine derart einseitige Verteilung der Sanierungspflicht zu vermeiden, ist die Planung bei kantonsübergreifenden Einzugsgebieten von Anfang an nicht nur innerhalb, sondern gemäss Artikel 46 Absatz 1 GSchV zwingend auch zwischen den Kantonen zu koordinieren. So kann es beispielsweise sein, dass bei einer oberliegenden Zentrale ein grösseres Ausgleichsbecken erstellt wird, als für diese alleine nötig wäre, damit die nachfolgende Zentrale (bei der vielleicht aufgrund der Platzverhältnisse nur ein kleines Becken möglich ist), mit entsprechend geringerer Dämpfung auskommen kann. Eine weitere Ausgleichsmöglichkeit ist etwa die separate Ableitung des Schwalls von einer oberliegenden zur nächstfolgenden Zentrale, wo das vereinigte Betriebswasser beider Zentralen in einem gemeinsamen Ausgleichsbecken zwischengespeichert werden kann.

Steht als schwalldämpfende Massnahme ein Ausgleichsbecken (oder eine unterirdische Ausgleichskaverne) im Vordergrund, so kann dessen Grösse mit einer einfachen iterativen Annäherung grob abgeschätzt werden (Anhang A5). Die notwendigen Ausgangsgrössen für diese Abschätzung ergeben sich aus den Resultaten der Grundbewer-

tung, hauptsächlich aber aus den Kennwerten Schwall- und Sunkhöhe sowie Rückgangsrates des Pegelstandes bzw. Abflusses (Tab. 2).

Nachdem die möglichen und wirkungsvollen schwalldämpfenden Massnahmen grob bestimmt und bei komplexen Situationen auch über das ganze Einzugsgebiet hinweg koordiniert sind, legt der Kanton noch die Reihenfolge, in der die einzelnen Anlagen zu sanieren sind, und die Planungs- und Umsetzungsfristen fest. Dabei orientiert er sich hauptsächlich an der ökologischen Bedeutung der betroffenen Gewässer (Abb. 6). Diese Priorisierung ist ausdrücklich *nicht* als Interessenabwägung zu verstehen, denn auf die zuvor schon bestimmten Massnahmen hat sie keinen Einfluss mehr. Es wird lediglich noch geprüft, wie dringlich die Sanierung der verschiedenen Anlagen aus ökologischer Sicht ist und gestützt darauf für jede Anlage eine Sanierungsfrist angesetzt.

Bei der Beurteilung der ökologischen Bedeutung der Gewässer kann sich der Kanton nach seiner kantonalen Schutz- und Nutzungsstrategie richten, soweit eine solche schon erarbeitet worden ist. Wo dies nicht der Fall ist, können die entsprechenden Empfehlungen des Bundes (BAFU, BFE, ARE 2011) als Richtlinie dienen.

#### 4.3 Abstimmung der Massnahmen im Einzugsgebiet

Der Bericht zur kantonalen Planung enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 2 Buchstabe b GSchV

Abstimmung im EZG

> *Angaben darüber, wie die Sanierungsmassnahmen im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers mit anderen Massnahmen zum Schutz der natürlichen Lebensräume und zum Schutz vor Hochwasser abgestimmt wurden.*

Diese Angaben betreffen gemäss BAFU (2011a) ein breites Spektrum von Massnahmen, welche neben den schwalldämpfenden Massnahmen ebenfalls einen Einfluss auf den ökologischen Zustand bzw. die ökologische Funktionsfähigkeit des Gewässers haben können. Unter Massnahmen zum Schutz der natürlichen Lebensräume sind dabei in erster Linie die Revitalisierung der Gewässer sowie die Sanierung des Geschiebehaushaltes und der Längsvernetzung zu verstehen. Für alle drei Bereiche werden die Kantone in den nächsten Jahren, parallel zur Planung im Bereich Schwall und Sunk, Sanierungsmassnahmen planen.

Die Abstimmung mit dem Hochwasserschutz erfolgt in Zusammenarbeit mit den dafür zuständigen kantonalen Amtsstellen.

Allgemeine Hinweise zur Abstimmung von Massnahmen zwischen den Bereichen und im Einzugsgebiet enthält das Modul Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer (BAFU, erscheint 2012).

Wenn das Einzugsgebiet sich über mehrere Kantone erstreckt (vgl. Abb. A7 in Anhang A4), hat die Koordination dabei nach ebenfalls Kantons-übergreifend zu erfolgen (vgl. Art. 46 GSchV).

## 4.4

**Kraftwerke, bei denen besondere Verhältnisse vorliegen**

Der Bericht zur kantonalen Planung enthält gemäss Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 2 Buchstabe c GSchV

- > *für Wasserkraftwerke, bei denen die zu treffenden Sanierungsmassnahmen aufgrund von besonderen Verhältnissen noch nicht festgelegt werden können: eine Frist, in- nert welcher der Kanton festlegt, ob und gegebenenfalls welche Sanierungsmass- nahmen bis wann geplant und umgesetzt werden müssen.*

Eine verlängerte Planungsfrist benötigen v. a. die komplexen Situationen mit mehreren, über ein grösseres Einzugsgebiet oder sogar über mehrere Kantone verteilten Anlagen. In solchen Situationen sind die Massnahmen gemäss Artikel 39a Absatz 3 GSchG innerhalb des ganzen Einzugsgebietes aufeinander abzustimmen, weshalb die geforder- ten Angaben z. T. nicht bis Ende 2014 gemacht werden können.

- > Die Planung kann sich aber auch aus anderen Gründen verzögern, z.B. weil die Untersuchung der Indikatoren für die Grundbewertung beim ersten Mal kein plau- sibles Resultat liefert und deshalb im Jahr darauf nochmals wiederholt werden muss (Kap. 2.5.3).
- > In der kantonalen Planung, die dem BAFU bis zum 31. Dezember 2014 einzureichen ist, wird begründet, warum die Angaben bisher nicht gemacht werden können und eine Frist für den Entscheid des Kantons über den Sanierungsbedarf sowie die allfäl- ligen Sanierungsmassnahmen und deren Fristen genannt.

Unzureichende Datengrundlagen,  
Sanierungsentscheid kann noch  
nicht getroffen werden



## 5 > Ausblick auf Planung durch die Inhaber (2. Phase) und Erfolgskontrolle

Das BAFU beurteilt den Bericht zur kantonalen Planung mit den darin aufgeführten sanierungspflichtigen Zentralen und den vorgesehenen schwalldämpfenden Massnahmen – soweit diese vom Kanton bis dahin schon bestimmt werden konnten. Stimmt das BAFU zu, so ordnet der Kanton für die entsprechenden Anlagen ab 2015 die Sanierungen an und beauftragt die jeweiligen Inhaber mit der weiterführenden Planung von schwalldämpfenden Massnahmen (Abb. 1). Nach Artikel 41g Buchstabe 1 GSchV werden die Inhaber damit auch ausdrücklich verpflichtet, verschiedene Varianten von Sanierungsmassnahmen auszuarbeiten und zu prüfen. Damit beginnt die 2. Phase der Planung, die in der vorliegenden Vollzugshilfe nicht mehr behandelt wird. Nachfolgend sollen aber kurz die Ideen und Vorschläge, aber auch die offenen Fragen zum Vorgehen in dieser 2. Phase erwähnt werden, wie sie sich aus der Entwicklung der Methode für die 1. Phase ergeben haben.

Ausführungsplanung  
durch die Inhaber

In der 2. Phase nehmen die Inhaber demnach eine ergänzende Bewertung vor. Dabei wird zunächst die vollständige Grundbewertung durchgeführt, soweit dies nicht schon in der kantonalen Planung erfolgt ist (Kap. 2.5). Auch in jenen Fällen, in denen schon eine vollständige Grundbewertung durch die Kanton vorliegt, wird eine nochmalige Untersuchung zumindest für einzelne Indikatoren empfohlen, um die Resultate besser abzusichern (Kap. 2.5.3).

Die ergänzende Bewertung geht voraussichtlich aber auch noch einen Schritt über die Grundbewertung hinaus, indem dabei zusätzliche Indikatoren und der neue Zustand des Entwicklungsziels bewertet werden. Damit können sowohl der Grad der bestehenden Beeinträchtigungen als auch das ökologische Potential, also zwei der nach Artikel 39a Absatz 2 GSchG massgeblichen Faktoren für die Massnahmenplanung, noch besser gefasst werden. Das Entwicklungsziel ist in Anhang A2-1 definiert und erläutert.

Mit den zusätzlichen Indikatoren der ergänzenden Bewertung sollen, im Gegensatz zu jenen der Grundbewertung (Kap. 2.5.1), weniger die von den längerfristigen Verhältnissen geprägten Merkmale der Lebensgemeinschaft und des Lebensraumes untersucht werden, als vielmehr die kurzfristigen, durch Schwall und Sunk direkt beeinflussten Veränderungen (vgl. Tab. A2 in Anhang A2-3). Beispiele für solche möglichen, abiotischen oder biologischen Zusatzindikatoren sind etwa die Veränderungen des Schwebstoffgehaltes (Trübung) und der Nähr-/Schadstoffe (Wasserqualität) während des Schwalldurchganges oder das Abtreiben (Drift) von Makroinvertebraten. Diese Zusatzindikatoren müssten im weiteren Verlauf der Methodenevaluation für die 2. Phase erst noch entwickelt werden.

Anschliessend an die ergänzende Bewertung werden die von Artikel 41g Absatz 1 GSchV geforderten Varianten von Sanierungsmassnahmen erarbeitet und bewertet.

Variantenstudium

Das Variantenstudium durch die Inhaber bedingt, dass die (ökologische) Wirksamkeit und die Kosten verschiedener Kombinationen von Massnahmen bzw. mehr oder weniger umfangreicher Massnahmen (z. B. unterschiedlich grosser Ausgleichsbecken) untersucht und einander gegenübergestellt werden können. Dabei werden Abflussverhältnisse bzw. -szenarien betrachtet, die heute noch gar nicht auftreten und die deshalb in der Natur auch nicht untersucht werden können.

Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, stellen die sogenannten Schwallversuche dar, bei denen bestimmte Schwall-Ganglinien aus den bestehenden Anlagen heraus meist über einige Stunden oder maximal über einen Tag hinweg nachgebildet werden. Damit können aber nur die kurzfristigen Veränderungen unmittelbar während des Schwall-Durchganges erfasst werden, also beispielsweise die Wirbellosen-Drift bei Schwall und das Trockenfallen (Stranden) von Organismen bei Sunk oder die direkten Auswirkungen auf den Verlauf von Temperatur und S chwebstoffgehalt (Limnex 2006, 2009, OIKOS 2010). Jene Beeinträchtigungen der Lebensgemeinschaft und des Lebensraumes, die sich erst über längere Zeit einstellen, lassen sich auf diese Weise nicht messen. Das betrifft insbesondere auch die in Artikel 41e Buchstabe b GSchV genannten nachteiligen Veränderungen der standortgerechten Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaft.

Schwallversuche

Hinzu kommt, dass Schwallversuche naturgemäss nur in den aktuell bestehenden Morphologien durchgeführt werden können und dass eine Übertragung der Resultate auf eine andere Morphologie in der Regel nicht möglich ist (vgl. Kapitel 2.4.2).

Eine weitere Möglichkeit, nicht nur fiktive Abflussszenarien, sondern auch aktuell nicht bestehende Morphologien zu untersuchen und miteinander zu vergleichen, besteht darin, die längerfristigen, nicht direkt messbaren biologischen Veränderungen zu berechnen. Dies kann entweder mit verhältnismässig einfachen, pragmatischen Ansätzen erfolgen, wie sie beispielsweise auch in den Indikatoren F2, F3, H1 und Q1 der Grundbewertung enthalten sind (Anhang A7). Es können aber auch sehr viel komplexere hydraulische und ökologische Modelle eingesetzt werden, deren Entwicklung und Einsatz einen grösseren Aufwand mit sich bringt. Welcher unter den bestehenden Modellansätzen sich für die Feinplanung der schwalldämpfenden Massnahmen am ehesten eignet oder ob zu diesem Zweck besser neue, speziell auf Schwall und Sunk zugeschnittene Ansätze zu entwickeln sind, wird zur Zeit noch diskutiert.

Modellierung

Nach der Realisierung der schwalldämpfenden Massnahmen schreibt Artikel 41g Absatz 3 GSchV zwingend vor, dass die Inhaber von Wasserkraftwerken die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen nach Anordnung der Behörde prüfen. Diese Erfolgskontrolle ist die 4. und letzte Phase des Umsetzungsprozesses (Abb. 3) und nicht mehr Gegenstand des vorliegenden Berichtes. Es wird aber schon an dieser Stelle empfohlen, auch die spätere Erfolgskontrolle mit denselben Indikatoren durchzuführen, welche schon bei der kantonalen Planung (1. Phase) und bei der anschliessenden Planung durch die Inhaber (2. Phase) untersucht und bewertet wurden. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Untersuchungen des Gewässers vor und nach Inbetriebnahme der schwalldämpfenden Massnahmen einwandfrei miteinander verglichen werden können.

Erfolgskontrolle zwingend

# > Anhang

## A1 Rechtliche Grundlagen

**Tab. A1 > Neue, den Schwall und Sunk betreffende Artikel im Gewässerschutzgesetz (GSchG) und in der zugehörigen Gewässerschutzverordnung (GSchV)**

GSchG	Titel und Wortlaut	GSchV	Titel und Wortlaut
Art. 39a Abs. 1	<b>Schwall und Sunk</b> Kurzfristige künstliche Änderungen des Wasserabflusses in einem Gewässer (Schwall und Sunk), welche die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume wesentlich beeinträchtigen, müssen von den Inhabern von Wasserkraftwerken mit baulichen Massnahmen verhindert oder beseitigt werden. Auf Antrag des Inhabers eines Wasserkraftwerks kann die Behörde anstelle von baulichen Massnahmen betriebliche anordnen.	Art. 41e	<b>Wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall und Sunk</b> Eine wesentliche Beeinträchtigung der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie von deren Lebensräumen durch Schwall und Sunk liegt vor, wenn: a. die Abflussmenge bei Schwall mindestens 1,5 Mal grösser ist als bei Sunk; und b. die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaft nachteilig verändert werden, insbesondere weil regelmässig und auf unnatürliche Weise Fische stranden, Fischlaichplätze zerstört werden, Wassertiere abgeschwemmt werden, Trübungen entstehen oder die Wassertemperatur in unzulässiger Weise verändert wird.
Art. 39a Abs. 2	Die Massnahmen richten sich nach: a. dem Grad der Beeinträchtigungen des Gewässers; b. dem ökologischen Potenzial des Gewässers; c. der Verhältnismässigkeit des Aufwandes; d. den Interessen des Hochwasserschutzes; e. den energiepolitischen Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien.	Art. 33a	<b>Ökologisches Potenzial</b> Bei der Festlegung des ökologischen Potenzials eines Gewässers sind zu berücksichtigen: a. die ökologische Bedeutung des Gewässers im heutigen Zustand; b. die mögliche ökologische Bedeutung des Gewässers im Zustand, in dem die vom Menschen verursachten Beeinträchtigungen soweit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten machbar ist.
Art. 39a Abs. 3	Im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers sind die Massnahmen nach Absatz 1 nach Anhörung der Inhaber der betroffenen Wasserkraftwerke aufeinander abzustimmen.	Art. 46 Abs. 1	<b>Koordination</b> Die Kantone stimmen die Massnahmen nach dieser Verordnung soweit erforderlich aufeinander und mit Massnahmen aus anderen Bereichen ab. Sie sorgen ausserdem für eine Koordination der Massnahmen mit den Nachbarkantonen.
Art. 39a Abs. 4	Ausgleichsbecken, die in Anwendung von Absatz 1 erstellt werden, dürfen zur Pumpspeicherung genutzt werden, ohne dass eine Konzessionsänderung erforderlich ist.		
Art. 62c Abs. 1	<b>Planung der Sanierung bei Schwall und Sunk</b> Der Bund gewährt den Kantonen im Rahmen der bewilligten Kredite Abgeltungen an die Planung gemäss Art. 83b, sofern diese bis zum 31. Dezember 2014 beim Bund eingereicht wird.		
Art. 62c Abs. 2	Die Abgeltungen betragen 35 Prozent der anrechenbaren Kosten.		
Art. 83a	<b>Sanierungsmassnahmen bei Schwall und Sunk</b> Die Inhaber bestehender Wasserkraftwerke und anderer Anlagen an Gewässern sind verpflichtet, innert 20 Jahren nach Inkrafttreten dieser Bestimmung die geeigneten Sanierungsmassnahmen nach den Vorgaben von Artikel 39a und Artikel 43a zu treffen.	Art. 41g Abs. 1	<b>Massnahmen zur Sanierung bei Schwall und Sunk</b> Die kantonale Behörde ordnet gestützt auf die Planung der Massnahmen die Sanierungen bei Schwall und Sunk an und verpflichtet die Inhaber von Wasserkraftwerken, zur Umsetzung der Planung verschiedene Varianten von Sanierungsmassnahmen zu prüfen.
		Art. 41g Abs. 2	Bevor sie über das Sanierungsprojekt entscheidet, hört sie das BAFU an. Das BAFU prüft im Hinblick auf das Gesuch nach Artikel 17d Absatz 1 der Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (EnV), ob die Anforderungen nach Anhang 1.7 Ziffer 2 EnV erfüllt sind.
		Art. 41g Abs. 3	Die Inhaber von Wasserkraftwerken prüfen nach Anordnung der Behörde die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen.

GSchG	Titel und Wortlaut	GSchV	Titel und Wortlaut
Art. 83b Abs. 1	<b>Planung und Berichterstattung bei Schwall und Sunk</b> Die Kantone planen die Massnahmen nach Artikel 83a und legen die Fristen zu deren Umsetzung fest. Die Planung umfasst auch die Massnahmen, die nach Artikel 10 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei von den Inhabern von Wasserkraftwerken zu treffen sind.	Art 41 f Abs. 1	<b>Planung der Massnahmen zur Sanierung bei Schwall und Sunk</b> Die Kantone reichen dem BAFU eine Planung der Massnahmen zur Sanierung von Wasserkraftwerken, die Schwall und Sunk verursachen, nach den in Anhang 4a Ziffer 2 beschriebenen Schritten ein.
		Art 41 f Abs. 2	Die Inhaber von Wasserkraftwerken müssen der für die Planung zuständigen Behörde Zutritt gewähren und die erforderlichen Auskünfte erteilen, insbesondere über: a. die Koordinaten und die Bezeichnung der einzelnen Anlagenteile; b. die Abflussmengen des betroffenen Gewässers mit Messwerten im Abstand von höchstens 15 Minuten (Ganglinie) über den Zeitraum der letzten fünf Jahre; liegen solche Messwerte nicht vor, kann die Ganglinie aus Angaben zur Produktion des Wasserkraftwerks und dem Abfluss im Gewässer berechnet werden; c. die durchgeführten und die geplanten Massnahmen zur Verminderung der Auswirkungen von Schwall und Sunk; d. die vorhandenen Untersuchungsergebnisse zu den Auswirkungen von Schwall und Sunk; e. die vorgesehenen baulichen und betrieblichen Veränderungen der Anlage.
Art. 83b Abs. 2	Die Kantone reichen die Planung bis zum 31. Dezember 2014 dem Bund ein.		
Art. 83b Abs. 3	Sie erstatten dem Bund alle vier Jahre Bericht über die durchgeführten Massnahmen.		

Tab. A1 enthält die neuen Bestimmungen zu Schwall und Sunk im GSchG und in der GSchV. Soweit möglich, stehen die Ausführungsbestimmungen in der GSchV dabei jeweils neben dem Artikel im GSchG, auf den sie sich beziehen. So werden etwa zwei massgebende Begriffe der vorliegenden Neuregelung in den zugehörigen Ausführungsbestimmungen präzisiert: In Artikel 41e GSchV wird festgelegt, ab wann eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall und Sunk im Sinne von Artikel 39a Absatz 1 GSchG vorliegt und Artikel 33a GSchV umschreibt, wie das ökologische Potenzial nach Artikel 39a Absatz 2 GSchG zu verstehen ist.

In Tab. A1 nicht enthalten sind die Bestimmungen zum Ablauf der kantonalen Planung von Massnahmen bei Schwall und Sunk in Anhang 4a der GSchV, auf die in Artikel 41f Absatz 1 verwiesen wird. Demnach gehen die Kantone für ihre Planung bis Ende 2014 wie folgt vor:

#### A1-1 Begriff

Besondere Verhältnisse liegen insbesondere vor, wenn:

- mehrere Anlagen im gleichen Einzugsgebiet die wesentliche Beeinträchtigung verursachen, und
- die Anteile der wesentlichen Beeinträchtigung den einzelnen Anlagenteilen noch nicht zugerechnet werden können.

**A1-2 Planungsschritte bei der Sanierung von Schwall und Sunk**

<sup>1</sup> Die Kantone reichen dem BAFU bis zum 30. Juni 2013 einen Zwischenbericht ein. Dieser enthält:

- a) pro Einzugsgebiet eine Liste der bestehenden Wasserkraftwerke, die Abflussschwankungen verursachen können (Speicherkraftwerke und Flusskraftwerke);
- b) Angaben darüber, welche Wasserkraftwerke in welchen Gewässerabschnitten die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume durch Schwall und Sunk wesentlich beeinträchtigen;
- c) eine Beurteilung des ökologischen Potenzials der wesentlich beeinträchtigten Gewässerabschnitte und des Grads der Beeinträchtigung;
- d) für jedes Wasserkraftwerk, bei dem die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume durch Schwall und Sunk wesentlich beeinträchtigt werden: mögliche Sanierungsmassnahmen, deren Beurteilung und die Festlegung der voraussichtlich zu treffenden Massnahmen sowie Angaben über die Abstimmung dieser Massnahmen im Einzugsgebiet;
- e) für Wasserkraftwerke, bei denen die voraussichtlich zu treffenden Sanierungsmassnahmen nach Buchstabe d aufgrund von besonderen Verhältnissen noch nicht festgelegt werden können: eine Frist, innert welcher die Angaben nach Buchstabe d beim BAFU eingereicht werden.

<sup>2</sup> Die beschlossene Planung reichen sie dem BAFU bis zum 31. Dezember 2014 ein. Sie enthält:

- a) eine Liste der Wasserkraftwerke, deren Inhaber Massnahmen zur Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigungen der einheimischen Tiere und Pflanzen sowie von deren Lebensräumen durch Schwall und Sunk treffen müssen, mit Angabe der zu treffenden Sanierungsmassnahmen sowie der Fristen, innert welcher diese geplant und umgesetzt werden müssen. Die Fristen richten sich nach der Dringlichkeit der Sanierung;
- b) Angaben darüber, wie die Sanierungsmassnahmen im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers mit anderen Massnahmen zum Schutz der natürlichen Lebensräume und zum Schutz vor Hochwasser abgestimmt wurden;
- c) für Wasserkraftwerke, bei denen die zu treffenden Sanierungsmassnahmen aufgrund von besonderen Verhältnissen noch nicht festgelegt werden können: eine Frist, innert welcher der Kanton festlegt, ob und gegebenenfalls welche Sanierungsmassnahmen bis wann geplant und umgesetzt werden müssen.

## A2 Konzeptionelle Grundlagen der Untersuchungs- und Bewertungsmethodik

### A2-1 Bewertungs- und Referenzzustände sowie ökologisches Potenzial

Für die praktische Umsetzung der Bestimmungen zu Schwall und Sunk sind die folgenden drei Zeitzustände von Bedeutung (Abb. A1):

Bewertungs- und  
Referenzzustände

- > Der IST-Zustand, der auch als heutiger, aktueller oder Ausgangs-Zustand bezeichnet werden kann. Dieser Zustand, der ohne Einschränkungen erfassbar ist, bildet die Grundlage für die Beurteilung der bestehenden wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk im Schnelltest (Kap. 2.4), in der Grundbewertung (Kap. 2.5) und voraussichtlich auch in der ergänzenden Bewertung durch die Inhaber in der 2. Phase (Kap. 5).
- > Der absehbare Zustand, der auch als Soll-Zustand bezeichnet werden kann, enthält alle Veränderungen des Gewässerzustandes, die nach heutiger Einschätzung neben einer allfälligen Dämpfung von Schwall und Sunk bis zum Jahr 2030 sonst noch eintreten werden. Dabei wird es sich in den meisten Fällen um morphologische Veränderungen (Revitalisierungen, Aufweitungen) handeln (Beispiel A1), denkbar ist aber auch eine ökologisch relevante Veränderung der Wasserqualität (z. B. durch die Verminderung von Mikroverunreinigungen oder durch klimatisch bedingte Erwärmung des Wassers im Sommer). Der Zeithorizont von 2030 rührt daher, dass bis dahin nach Artikel 83a GSchG auch alle notwendigen schwalldämpfenden Massnahmen umgesetzt sein müssen. Der absehbare Zustand ist recht gut bekannt und damit auch einigermaßen mess-, berechnen- oder schätzbar. Er wird in der Grundbewertung und in der ergänzenden Bewertung berücksichtigt, noch nicht jedoch beim Schnelltest.
- > Das Entwicklungsziel stellt im Sinne von Artikel 33a Buchstabe b GSchV jenen Zustand dar, «in dem die vom Menschen verursachten Beeinträchtigungen soweit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten machbar ist». Dieser Zustand kann auch als operationelles Leitbild oder als realistischerweise erreichbarer Zustand bezeichnet werden. Wann das Entwicklungsziel verwirklicht sein wird, ist aus heutiger Sicht noch unbestimmt. Entsprechend ist dieser Zustand nur noch teilweise berechnen- oder schätzbar, und er kann deshalb erst in der 2. Phase der Planung bewertet werden (Kap. 5).

Der (oft nicht mehr existierende, also vergangene) natürliche Zustand ist ebenfalls zu beachten, weil er für die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaft (Biozönose) steht. Artikel 39a Absatz 1 GSchG und Artikel 41e Buchstabe b GSchV verlangen, dass diese standortgerechte Gemeinschaft durch den Schwallbetrieb nicht nachteilig verändert werden darf und beziehen sich damit indirekt auf einen natürlichen oder zumindest naturnahen Bezugs- oder Referenzzustand.

Der am Ende der Zeitskala und damit am weitesten in der (unbekannten) Zukunft gelegene, nur schwer fassbare Zustand des visionären Leitbildes wird in der vorliegenden Methodik nicht mehr betrachtet oder bewertet. Das visionäre Leitbild ist jedoch oft

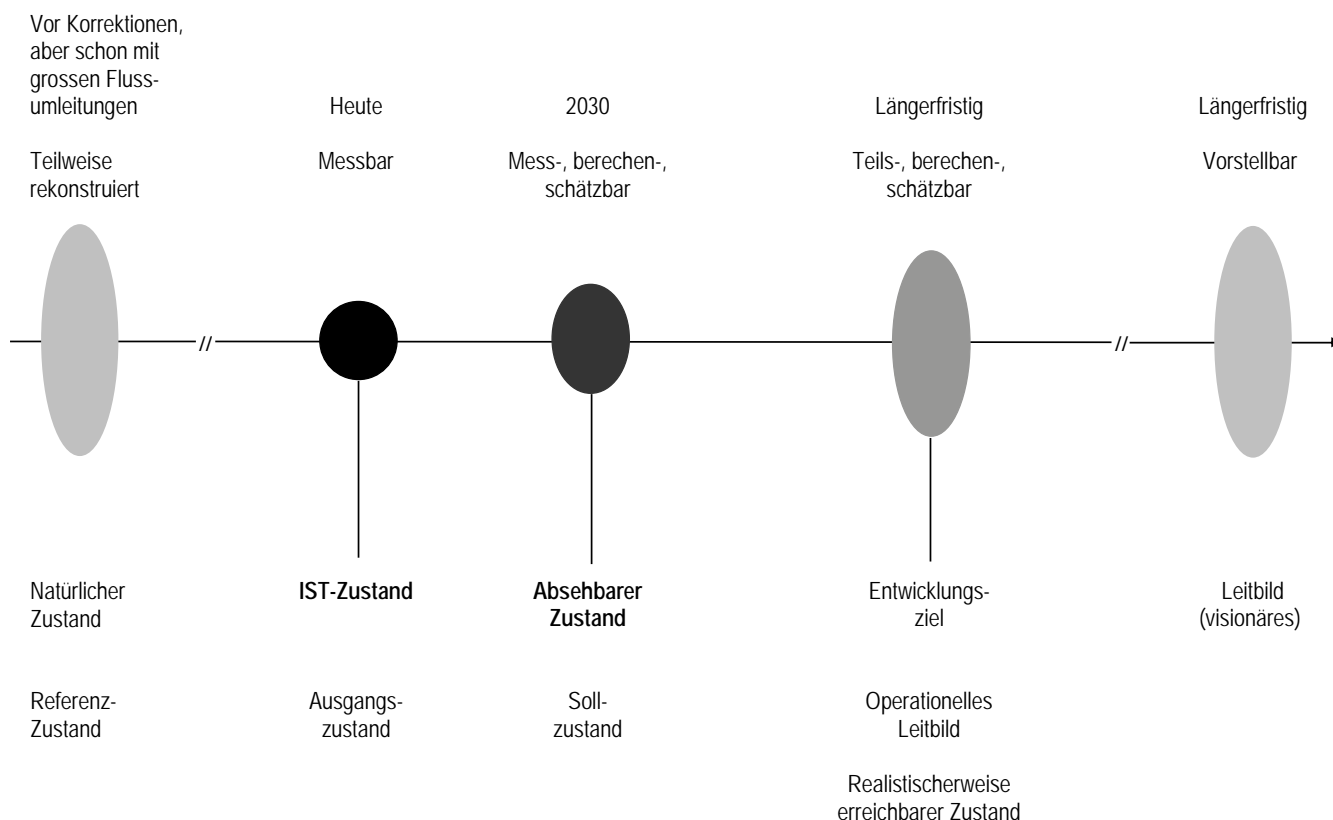
eine weitgehende Annäherung an den natürlichen Zustand ohne die Einschränkungen, die für das operationelle Leitbild noch gelten («realistischerweise»).

Das ökologische Potenzial des Gewässers ist gemäss Artikel 39a Absatz 2 GSchG, neben den anderen dort genannten Kriterien, für die Planung der Sanierungsmassnahmen massgebend. Bei der Festlegung des ökologischen Potenzials ist nach Artikel 33a GSchV die ökologische Bedeutung des Gewässers für zwei der in Abb. A1 definierten Zustände explizit zu berücksichtigen: für den heutigen Zustand (IST-Zustand) und für einen gedachten zukünftigen Zustand, in dem die von Menschen verursachten Beeinträchtigungen soweit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten machbar ist (Entwicklungsziel). Der zeitlich dazwischenliegende absehbare Zustand ist darin implizit eingeschlossen.

ökologisches Potential

**Abb. A1** > Definition verschiedener Zustände im Zeitablauf von links nach rechts

*Die Zustände, die in der vorliegenden Methode bewertet werden, sind fett hervorgehoben.*



### Beispiel A1: IST-Zustand und absehbarer Zustand der Rhone

Die schwallbeeinflusste Rhone bei Riddes ist heute noch stark kanalisiert (IST-Zustand, Bild links). Das Gerinne in diesem Bereich (und in anderen Bereichen) soll aber im Zuge der 3. Rhonekorrektur bis 2030 auf etwa die doppelte Breite aufgeweitet werden (absehbarer Zustand, Bild rechts). Ob zu diesen morphologischen auch noch weitere, anders geartete Veränderungen absehbar sind, ist vom Kanton zu beurteilen. Die Grundbewertung ist sowohl für den IST-Zustand als auch für den absehbaren Zustand durchzuführen.



### A2-2 Zustandsklassen und wesentliche Beeinträchtigung

Die Indikatoren des Schnelltests (Kap. 2.4) und der Grundbewertung (Kap. 2.5) werden grundsätzlich nach der fünfstufigen Skala bewertet, die auch für die meisten Methoden des Modul-Stufen-Konzeptes verwendet wird (Abb. A2). Beim Indikator F2 können allerdings nur drei und bei im Indikator A1 nur zwei Stufen unterschieden werden (Anhang A7).

Zustandsklassen

**Abb. A2 > Die verwendeten Zustandsklassen und Farben nach dem Modul-Stufen-Konzept**






Bewertung	Zustand	Beeinträchtigung	Zielvorgabe
	sehr gut	keine	erfüllt
	gut	geringe	erfüllt
	mässig	wesentliche	nicht erfüllt
	unbefriedigend	starke	nicht erfüllt
	schlecht	sehr starke	nicht erfüllt

Abbildung aus Baumann & Langhans 2010, ergänzt

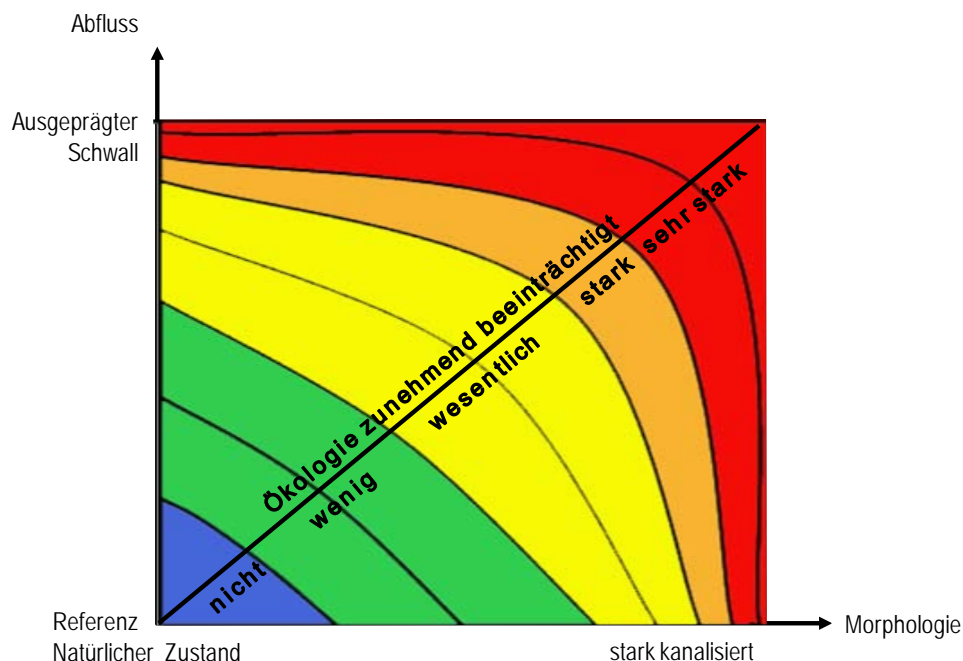


Für alle Indikatoren, die in der vorliegenden Methodik verwendet werden, sind in den Indikatorblättern von Anhang A7 die Kriterien für die Einteilung in die jeweiligen Zustandsklassen angeführt.

Von Meile et al. (2005) und Limnex (2007) sind die Zustandsklassen in Abhängigkeit der beiden meist massgebenden abiotischen Einflussfaktoren Abfluss (in diesem Fall speziell auf den Schwallenfluss bezogen) und Morphologie dargestellt worden (Abb. A3, siehe auch Beispiel A2). Dieses kombinierte Morphologie-Abfluss-Diagramm müsste eigentlich noch um die Wasserqualität als dritten Faktor auf einer vertikalen Achse ergänzt werden (vgl. Kapitel 2.4.2). Weil die Wasserqualität in Schwallstrecken aber oft weniger kritisch ist als der Abfluss oder die Morphologie, wird sie in der Darstellung vereinfachend weggelassen.

**Abb. A3 > Der Gewässerzustand in Abhängigkeit des Schwallenflusses (Abfluss) und der Morphologie**

Darstellung aus Limnex (2007), verändert.



Sanierungsbedarf besteht nach Artikel 39a Absatz 1 GSchG dann, wenn die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie von deren Lebensräumen wesentlich beeinträchtigt werden durch Schwall und Sunk. Als *wesentlich* kann eine Beeinträchtigung dann angesehen werden, wenn sie die Charakteristik (das «Wesen») eines Gewässers in eine bestimmte Richtung und in einem gewissen Ausmass verändert. Durch den Schwallbetrieb werden zunächst einmal die Abflussverhältnisse verändert, was dann wiederum Folgewirkungen auf andere, u.a. auch biologische Gewässermerkmale hat. Beispiele für wesentliche ökologische Veränderungen in diesem Sinne sind:

Wesentliche Beeinträchtigung

- > Die Lebensgemeinschaft in einem Gewässer, das ursprünglich der gewässerökologisch definierten Fließgewässerregion des Hyporhithrals (Äschenregion) angehörte,

wird durch den Schwallenfluss «rhithralisiert», d. h. in Richtung von weiter flussaufwärts gelegenen Regionen hin verschoben. Die Lebensgemeinschaft entspricht deshalb heute derjenigen einer Forellenregion (Epi- bis Metarhithral), und das Gewässer bietet der Äsche als angestammter Leitfischart entsprechend kaum mehr geeignete Lebensbedingungen.

- Ein alpines Gewässer wies ursprünglich, von wenigen Ausnahmen bei föhnbedingten Wärmeeinbrüchen abgesehen, im natürlichen Zustand während der Wintermonate durchgehend tiefe Abflüsse (Niedrigwasser) und entsprechend nur geringe Bewegungen von Feingeschiebe auf. Durch den Schwallenfluss ist diese sogenannte Sohlenruhe heute gestört, und es wird bei Schwall fast täglich Feingeschiebe rollend oder in der fliessenden Welle über die stärker angeströmten Sohlenbereiche hinweg verfrachtet.

In der Praxis wird diese Anforderung mit einer Auswahl von konkreten Indikatoren untersucht und überprüft (Anhang A7). Dabei ist von einer wesentlichen Beeinträchtigung auszugehen, wenn der Gewässerzustand nach der fünfstufigen Skala des MSK als mässig (Signalfarbe gelb) oder schlechter (orange bis rot) eingestuft wird (Abb. A2). Liegt jedoch ein sehr guter (blau) oder guter Zustand (grün) vor, so sind die gesetzlichen Zielvorgaben in diesem Bereich definitionsgemäss erfüllt, und es bestehen somit auch keine wesentlichen Beeinträchtigungen.

## A2-3 Die Bedeutung und Berücksichtigung der Morphologie

In gewissen Schwallstrecken sind heute morphologisch sehr unterschiedliche Abschnitte vorhanden, darunter auch noch natürliche oder naturnahe (Beispiel 5). Andere Schwallstrecken sind heute dagegen noch praktisch vollständig kanalisiert (Beispiel A1). Neben den Bestimmungen zu Schwall und Sunk enthält das Gewässerschutzgesetz neu auch weitergehende Anforderungen an die Revitalisierung von Gewässern und an die Sanierung des Geschiebehaushaltes. Die entsprechenden Planungen laufen zeitlich parallel zur Planung von schwalldämpfenden Massnahmen und werden zur Folge haben, dass zahlreiche Gewässer bis zur Inbetriebnahme dieser Massnahmen auch flussmorphologisch mehr oder weniger stark aufgewertet sein werden. Schwalldämpfende Massnahmen, die nur für die heutige (u.U. durchgehend kanalisierte) Morphologie geplant würden, könnten sich im schlechteren Fall für eine zukünftige Morphologie als unzweckmässig erweisen. Das geht schon allein aus der Tatsache hervor, dass die in Artikel 41e Buchstabe b GSchV genannten, nachteiligen Auswirkungen des Schwallbetriebes von der Morphologie in sehr unterschiedlicher Weise abhängen (Tab. A2). Gewisse dieser Auswirkungen oder der dadurch hervorgerufenen gewässerökologischen Defizite werden durch eine natürlichere Morphologie eher verstärkt (z.B. das Stranden der Fische), andere hingegen abgeschwächt (z.B. die Erosion von Fischlaichplätzen oder das Abschwemmen von Wassertieren). Wieder andere, wie die Veränderungen der Wassertemperatur, hängen nicht oder nicht so stark von der Morphologie ab.

Einfluss der Morphologie

Es ist deshalb unerlässlich, dass die schwallbedingten Beeinträchtigungen nicht nur für den heutigen (IST-) Zustand, sondern auch für die hier betrachteten zukünftigen Zustände (Anhang A2-1) bzw. Morphologien bewertet werden können. Bei der Grundbewertung (Kap. 2.5) betrifft dies erst einmal den absehbaren Zustand. Bei der anschlies-

senden ergänzenden Bewertung durch die Inhaber sollte zusätzlich auch noch das Entwicklungsziel in die Bewertung mit einbezogen werden (Kap. 5).

Welche Morphologien für ein bestimmtes Gewässer zu berücksichtigen sind, ist in Anhang A3 beschrieben.

**Tab. A2 > Abhängigkeit typischer, durch den Schwallbetrieb bedingter gewässerökologischer Beeinträchtigungen bzw. Defizite von der Flussmorphologie**

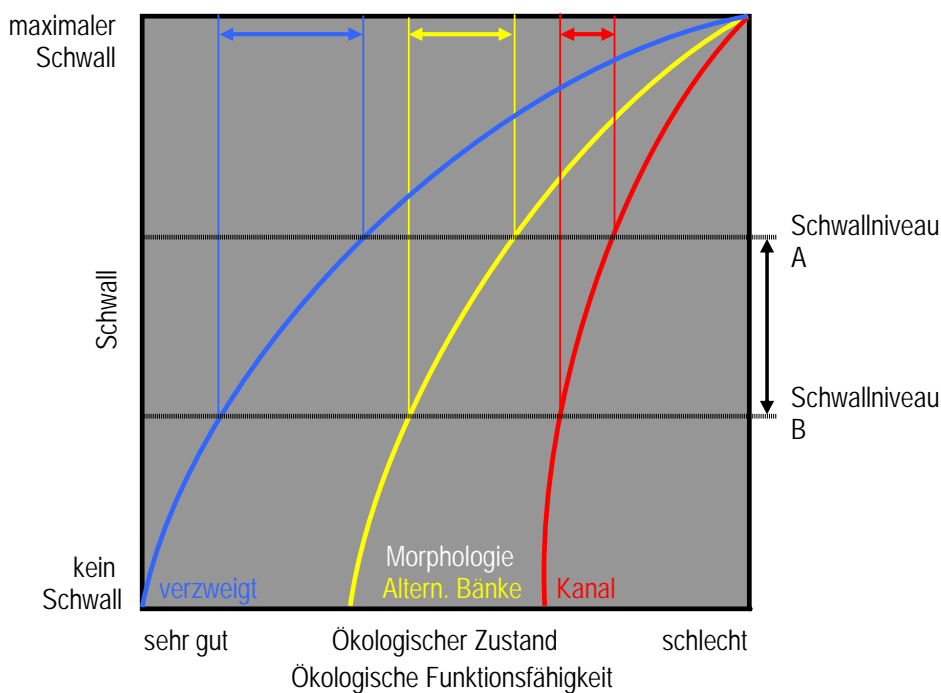
*Angegeben ist die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Defizit bei einer bestimmten Morphologie auftritt, wobei + = unwahrscheinlich und +++ = sehr wahrscheinlich.*

Typisches gewässerökologisches Defizit	Flussmorphologie		
	Gerade	Alternierende Kiesbänke	Verzweigt
Regelmässige Bewegungen von Teilen der Gewässersohle bei $Q_{\text{Schwall}}$	+++	++	+
Periodisches Trockenfallen von Teilen der Gewässersohle und damit verbundenes Stranden von Fischen und Wirbellosen während der Sunkphase	+	+ / +++	+++
Erhöhte Invertebratendrift beim Abflussanstieg	+++	++	+ / +++
Kurzzeitige Änderung der Wassertemperatur	+++	+++	+++
Kurzzeitige Änderung der Trübung	+++	+++	+++

Tabelle aus Schweizer et al. 2009

Sind an einem Gewässer heute oder zukünftig verschiedene Morphologien vorhanden, so ist die Bewertung der Schwall-Auswirkungen nach BAFU (2011a) ausdrücklich auch für jene Morphologie durchzuführen, die am stärksten auf einen Schwalleinfluss reagiert. Dieses sogenannte Prinzip des empfindlichsten Zustandes kann missverstanden werden und wird hier deshalb näher erläutert.

Abb. A4 verdeutlicht das Prinzip des empfindlichsten Zustandes anhand der drei grundlegenden Morphologien der verzweigten Fließstrecke, der Strecke mit alternierenden Kiesbänken und des Kanals. Wie der empfindlichste Zustand zu bestimmen ist, wird in Anhang A3 beschrieben.

**Abb. A4 > Das Prinzip des empfindlichsten Zustandes***Erläuterungen siehe im Text.*

Wird ein Kraftwerks-Schwall von Niveau B auf Niveau A heraufgesetzt, nimmt der ökologische Zustand oder (gleichbedeutend) die ökologische Funktionsfähigkeit in der verzweigten Strecke am stärksten und im Kanal am wenigsten stark ab. Umgekehrt lässt sich mit einer Dämpfung des Schwalls von Niveau A auf Niveau B in der morphologisch vielfältigsten verzweigten Strecke aber auch der grösste ökologische Gewinn erzielen. Von entscheidender Bedeutung ist zudem, dass der ökologische Zustand der verzweigten Strecke auch auf dem höheren Schwallniveau A oft immer noch deutlich besser ist als jener der übrigen Morphologien auf dem Niveau B. Es kann sogar sein (wie in Abb. A4 dargestellt), dass der Kanal auch ohne jeden Schwalleinfluss eine schlechtere ökologische Qualität aufweist als die deutlich (d. h. auf Niveau A) vom Schwall geprägte verzweigte Strecke (vgl. Beispiel 2).

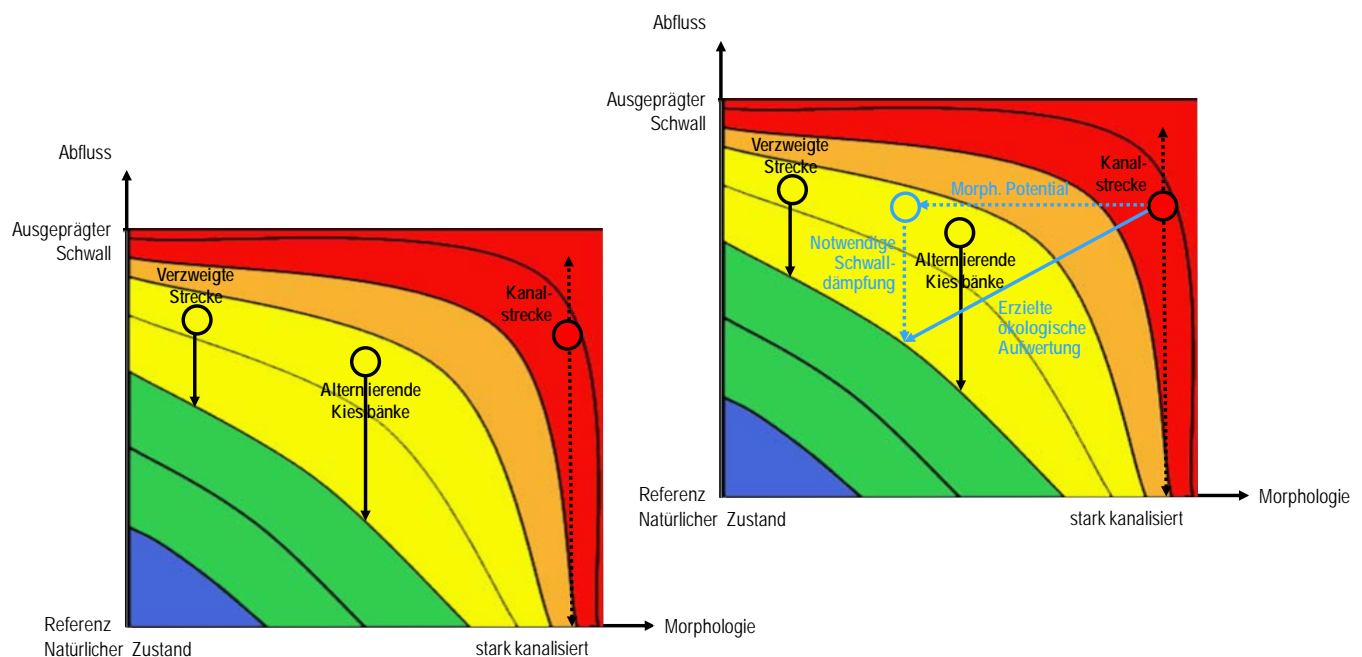
Die Prinzip-Darstellung in Abb. A4 gibt diese Zusammenhänge sehr verallgemeinert wieder und kann nicht unbesehen auf ein bestimmtes Fließgewässer übertragen werden.

Welchen zentralen Einfluss die Morphologie auf die Auswirkungen des Schwallbetriebes und damit auch auf die Planung von schwalldämpfenden Massnahmen haben kann, verdeutlicht auch das Beispiel A2.

### Beispiel A2: Möglicher Einfluss der Morphologie auf schwalldämpfende Massnahmen

An einem schwallbeeinflussten Gewässer werden drei unterschiedliche Morphologien untersucht: eine kanalisierte Strecke, eine Strecke mit alternierenden Kiesbänken und eine verzweigte Strecke (vgl. Anhang 3). Im Bild links sind die drei Teststrecken so ins Morphologie-Abfluss-Diagramm (Anhang A2-2) eingefügt, wie dies gewässerökologische Untersuchungen schon konkret ergeben haben. Alle Strecken wären in diesem Beispiel demnach als wesentlich (oder stärker) beeinträchtigt einzustufen. Die senkrechten Pfeile nach unten geben an, um wieviel die Abflussverhältnisse verbessert werden müssten, um einen gerade noch genügenden Gewässerzustand zu erreichen. Es wird deutlich, dass dazu in der Strecke mit alternierenden Bänken eine weitergehende Schwalldämpfung erforderlich wäre als in der verzweigten Strecke, was auch dem Prinzip des empfindlichsten Zustandes entspricht (Abb. A4). In der kanalisierten Strecke ist die Morphologie hingegen so stark degradiert, dass auch ohne jeden Schwallenfluss keine ausreichende Gewässerqualität erreicht würde.

Im Bild rechts ist zusätzlich eingezeichnet, was bei einer morphologischen Aufwertung der Kanalstrecke geschehen würde. Mit zunehmender morphologischer Vielfalt stiege dabei die Gewässerqualität auch ohne Veränderung des Schwallbetriebes an. Würde durch eine Revitalisierung das ganze morphologische Potenzial dieser Strecke ausgeschöpft, so könnte mit zusätzlichen schwalldämpfenden Massnahmen auch wieder ein guter Zustand erreicht werden.



### A3 Bestimmung der natürlichen Morphologie(n) und des empfindlichsten Zustandes

Als natürlich oder naturnah wird hier jener zeitlich nicht genau einzuordnende Zustand bezeichnet, in dem sich unsere Gewässer vor ihrer Korrektur (Laufverkürzungen, Begradigungen, Ufer- und Sohlenverbauungen, Einbau künstlicher Abstürze usw.), aber schon nach den grossen Flussumleitungen in nahegelegene Seen befanden (vgl. Abb. A1).

natürliche Morphologie

Welche Morphologie(n) ein Gewässer in seinem natürlichen Zustand aufwies, lässt sich grob anhand einiger einfacher hydraulischer Grössen bestimmen (Abb. A5). Zu diesen Grössen gehören die Flussbettbreite  $B_F$ , die mittlere Abflusstiefe  $h$  und der charakteristische Korndurchmesser  $d_m$ . Die Bestimmung der erwarteten bzw. natürlichen Morphologie, die in Marti & Bezzola (2004) beschrieben ist, wird für einen bettbildenden Abfluss (ca.  $Q_2$ ) durchgeführt.

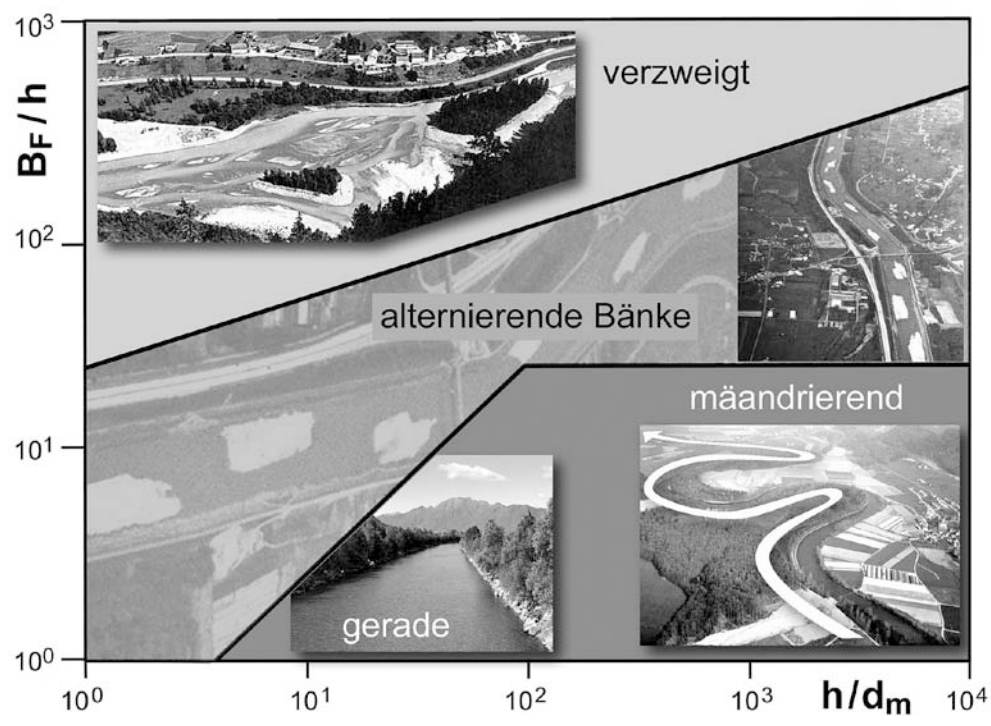
Die natürliche Morphologie kann oft auch mittels alter Dokumente wie Beschreibungen oder Karten sowie aus der Untersuchung von typologisch ähnlichen, naturbelassenen Gewässern zumindest teilweise rekonstruiert werden.

Viele, v. a. längere Schwallstrecken wiesen natürlicherweise nicht nur eine, sondern mehrere unterschiedliche Morphologien auf (Beispiel 5). Darunter reagieren die vielfältigsten Morphologien (z. B. verzweigte Strecken) in der Regel am empfindlichsten auf einen Schwalleinfluss (Abb. A4); sie sind deshalb auch massgebend für die Bewertung (Kap. 2.4.2). Welche Länge eine Strecke mit natürlicher Morphologie bzw. mit dem empfindlichsten Zustand mindestens haben sollte, um überhaupt gezählt zu werden, ist nicht pauschal anzugeben. Sie sollte aber mindestens so lang sein, dass sie ohne die schwallbedingten Beeinträchtigungen wichtige gewässerökologische Funktionen erfüllen kann (z. B. eine funktionierende natürliche Reproduktion bestimmter Fischarten), die sonst im Gewässer kaum mehr gewährleistet sind.

Empfindlichster Zustand

**Abb. A5** > Erwartete Flussmorphologie in Abhängigkeit der relativen Flussbettbreite  $Y = B_F/h$  und der mittleren relativen Abflusstiefe  $Z = h/d_m$  (da Silva-Diagramm)

Abbildung aus Marti & Bezzola (2004), Wiedergabe mit Genehmigung der VAW.



Je weniger lang ein Abschnitt mit natürlicher Morphologie bzw. mit dem empfindlichsten Zustand ist, desto stärker wirkt sich zudem die Morphologie der flussauf- und -abwärts gelegenen Abschnitte auf ihn aus (Strahlwirkung; DRL 2008, Kail & Hering 2009).

Gewisse Anhaltspunkte für die minimale Länge einer natürlichen bzw. naturnahen Strecke können sich auch aus der sogenannten Wellenlänge ergeben. Diese flussmorphologische Grösse bezeichnet die Länge, die ein Gewässerabschnitt aufweisen muss, um seine natürliche Morphologie gemäss Abb. A5 auszubilden (Zeller 1965, Mangelsdorf & Scheurmann 1980, Jäggi 1983). Berücksichtigt man neben den rein flussmorphologischen Kriterien auch noch ökologisch relevante Randeffekte (d. h. die Strahlwirkung), so beträgt die Wellenlänge ungefähr das 10- bis 20-fache der mittleren Gewässerbreite. Eine solche Mindestlänge kann bisher allerdings erst ansatzweise durch gewässerökologische Untersuchungen abgestützt werden (z. B. Weber et al. 2009).

## A4 Auswahl von Untersuchungsstellen und Referenzstrecken

Für die Abklärung der Sanierungspflicht ist festzulegen, welche Stellen eines schwallbeeinflussten Gewässers untersucht und bewertet werden sollen. In den Abb. A6 und A7 wird die Lage der Untersuchungsstellen beispielhaft für eine einfache und eine komplexe Situation dargestellt.

Auswahl der  
Untersuchungsstellen

In der denkbar einfachsten Situation gibt eine schwallerzeugende Zentrale ihr Betriebswasser in ein Gewässer zurück, das anschliessend in einen See mündet (Beispiel A3). In diesem Fall können die Untersuchungsstellen je nach Länge und Art der Schwallstrecke beschränkt werden auf:

- > eine Stelle kurz nach der Wasserrückgabe, wo der Schwalleinfluss am stärksten ist;
- > allenfalls eine weitere Stelle flussabwärts, sofern sich der Schwalleinfluss bis dahin aufgrund der Fliessdistanz und/oder aufgrund von seitlichen Zuflüssen merklich verändert;
- > allenfalls eine weitere Stelle in einem morphologisch abweichenden Gewässerabschnitt (z. B. in einer verzweigten Strecke) und/oder in einer inventarisierten Aue.

### Beispiel A3: Die einfache Situation der Aubonne

*Eine einfache Situation präsentiert sich etwa am Waadtländer Flüsschen Aubonne, wo nach einem Kraftwerk noch eine knapp 3 km lange Schwallstrecke bis zur Mündung in den Lac Léman folgt. Namhafte Zuflüsse sind auf dieser Strecke nicht zu verzeichnen, im Bereich des Mündungsdeltas durchfliesst die Aubonne jedoch eine Aue von nationaler Bedeutung (BLN-Gebiet Nr. 1210). Dieser unterste Abschnitt der Schwallstrecke ist morphologisch vielfältiger als die oberliegenden, kanalisierten Abschnitte. Für die Untersuchung und Bewertung des Schwalleinflusses sollten in diesem Fall zwei Stellen ausgewählt werden: eine obere kurz nach der Zentrale und eine untere mit möglichst naturnaher Morphologie in der Aue (vgl. Limnex 2007).*

In komplexeren Situationen sind wesentlich mehr Untersuchungsstellen notwendig, um den Schwalleinfluss in all seinen möglichen Ausprägungen erfassen und beurteilen zu können. Zusätzlich zu den schon für einfache Fälle erwähnten sind weitere Untersuchungsstellen vorzusehen:

- > vor und nach dem Zufluss von Betriebswasser aus jeder weiteren schwallerzeugenden Zentrale im Fliessverlauf;
- > vor und nach dem Zusammenfluss von zwei schwallbeeinflussten Gewässern;
- > allenfalls bei kleinräumigen Eingriffen innerhalb der Schwallstrecke wie Ausleitungen eines Teils der Schwälle durch «dazwischengeschaltete» Laufkraftwerke (Beispiel A4);
- > allenfalls an einer Kantonsgrenze.



---

**Beispiel A4: Laufkraftwerke an der Linth**

*Entlang der Schwallstrecke der Linth im Kanton Glarus bestehen zahlreiche Ausleitungen durch meist ältere, zu einstigen Textilfabriken gehörende Laufkraftwerke. In den entsprechenden Restwasserstrecken, die bis einige km lang sind, werden die Schwälle aus einer oberliegenden grossen Zentrale je nach Ausbauwassermenge des entsprechenden Laufkraftwerkes zwar um wenige  $\text{m}^3/\text{s}$  bis zu  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  vermindert. Gleichzeitig werden aber auch die Abflussmengen bei Sunk massiv herabgesetzt, weil die Restwasserstrecken der Laufkraftwerke entweder gar nicht oder nur wenig dotiert werden müssen. Unter dem Strich herrschen in diesen Ausleitungsstrecken deshalb viel höhere Schwall/Sunk-Verhältnisse als in den dazwischenliegenden Abschnitten, die «nur» vom Schwallbetrieb der oberliegenden Zentrale beeinflusst sind (Limnex 2006). Es ist daher zwingend, dass der abweichende Schwallbetrieb unter dem Einfluss dieser Laufkraftwerke stellvertretend in mindestens zwei bis drei Ausleitungsstrecken separat untersucht und bewertet wird.*

---

Ein ausserordentlich komplexes, zusammenhängendes System stellen der Vorder-, Hinter- und Alpenrhein bis zu dessen Mündung in den Bodensee dar. In diesem Flussgebiet gibt es auf Schweizer Seite 13 Speicherseen und grössere Ausgleichsbecken sowie rund 10 schwallerzeugende Zentralen (davon an drei Stellen jeweils zwei Zentralen nebeneinander oder gegenüber; Limnex 2001, Margot et al. 2010). Für einen Grossteil dieser Anlagen ist der Kanton Graubünden zuständig, eine der Anlagen untersteht als Grenzkraftwerk jedoch auch dem Bund. Eine weitere schwallerzeugende Zentrale befindet sich im anschliessenden St.Galler Abschnitt des Alpenrheins. Noch weiter flussabwärts wird der Abfluss durch mehrere Zentralen in den Einzugsgebieten des Liechtensteiner Binnenkanals und der Ill im österreichischen Bundesland Vorarlberg beeinflusst. Diese untersten Werke unterstehen aber nicht der schweizerischen Gesetzgebung, sondern der EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Um in längeren Schwallstrecken die Untersuchungsstellen sinnvoll festzulegen, muss man in gewissen Fällen auch einigermaßen abschätzen können, wie sich die Kraftwerks-Schwälle im Gewässer fortpflanzen. Diese Fragestellung kann nicht allgemein, sondern muss spezifisch für jedes Gewässer behandelt werden. Schwallwellen können sich ohne weiteres auch in 20 bis 50 km Entfernung noch bemerkbar machen, werden auf derart langen Fliessstrecken aber in der Regel deutlich abgeschwächt (Baumann & Klaus 2003). Entlang der ca. 12 km langen, vollständig kanalisierten Schwallstrecke der Hasliaare zwischen Meiringen und dem Brienzersee bleibt die Schwallganglinie jedoch praktisch unverändert (Limnex 2009). In der Glarner Linth wurde festgestellt, dass sich der Schwallanstieg auf dem über 20 km langen, überwiegend kanalisierten Lauf der Linth bis Mollis unter gewissen Randbedingungen sogar verstärken kann («Aufstellen» der Ganglinie; Limnex 2006).

In Strecken, die durch Strukturelemente wie alternierende Kiesbänke oder Bühnen morphologisch aufgelockert sind, werden die Abflussschwankungen schneller gedämpft (Limnex 2010). Das betrifft zuerst die Anstiegs- und Rückgangsraten des Abflusses bzw. Pegels, während sich der maximale Schwallabfluss (Schwallhöhe) erst

nach längerer Fliessstrecke zu vermindern beginnt. Wie sich Schwallwellen im Verlauf von morphologisch unterschiedlichen Gewässern verändern, kann hydraulisch verhältnismässig gut nachgebildet werden (Stranner 1996).

In komplexen Situationen mit zahlreichen schwallerzeugenden Zentralen und unterschiedlichen Morphologien im Verlaufe eines Gewässers ist der Einsatz eines Abflussmodells zu empfehlen, womit nicht nur die Beiträge der einzelnen Zentralen an der Wasserführung im Tagesverlauf, sondern auch die Fortpflanzung der Schwallwelle im Hauptgewässer berechnet werden können. Ein solches Modell wird aktuell beispielsweise im Rahmen einer Dissertation an der EPF Lausanne für die Hasliaare entwickelt (Bieri & Schleiss 2011).

Sowohl beim Schnelltest (Kap. 2.4.3) als auch bei der Grundbewertung (Kap. 2.5.2) sind unbeeinflusste Referenzstrecken mit zu untersuchen, sofern solche Strecken existieren. In der komplexeren Situation von Abb. A7 sind beispielhaft einige mögliche Referenzstrecken eingezeichnet.

**Abb. A6 > Lage der Untersuchungsstellen in einer einfachen Situation**

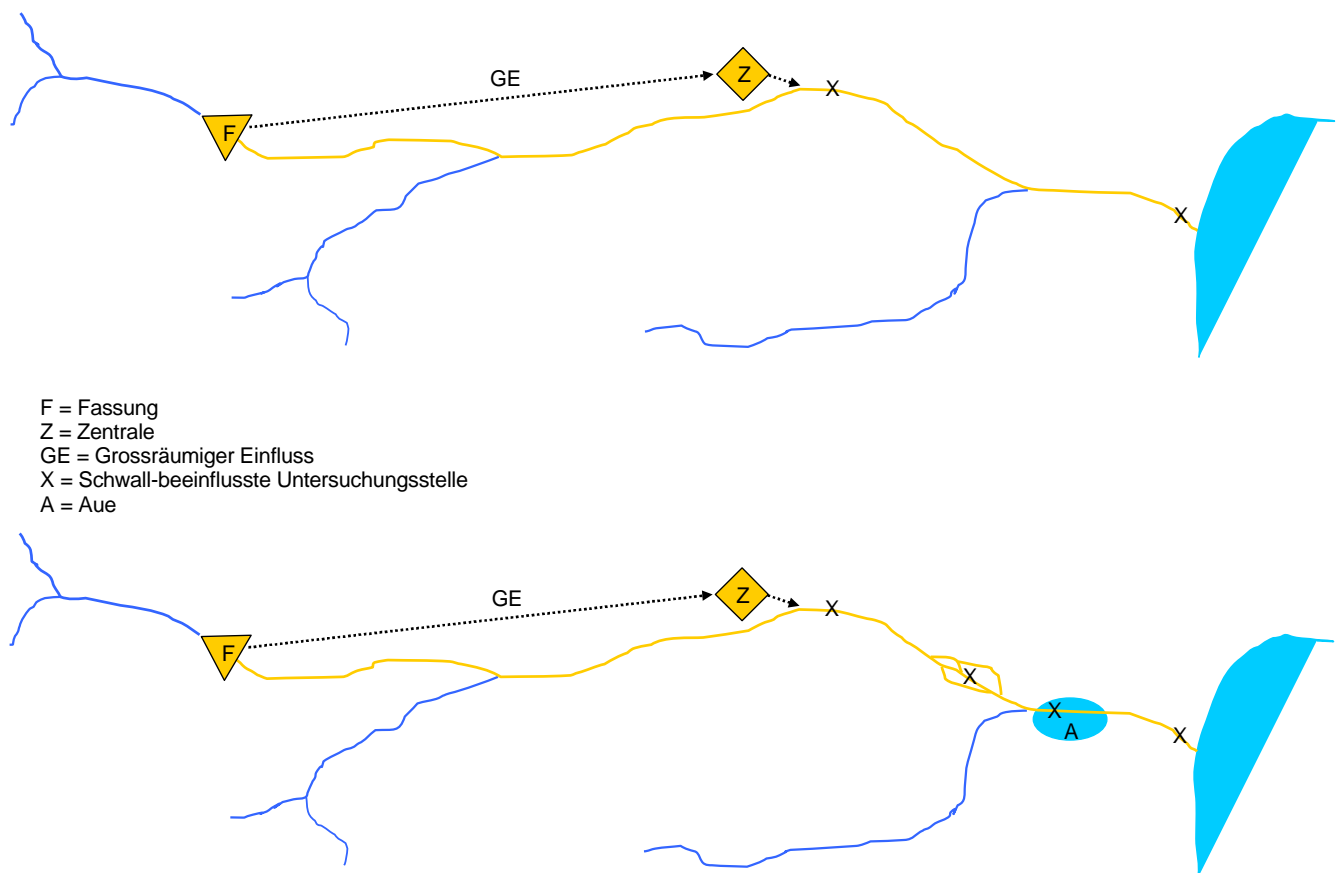
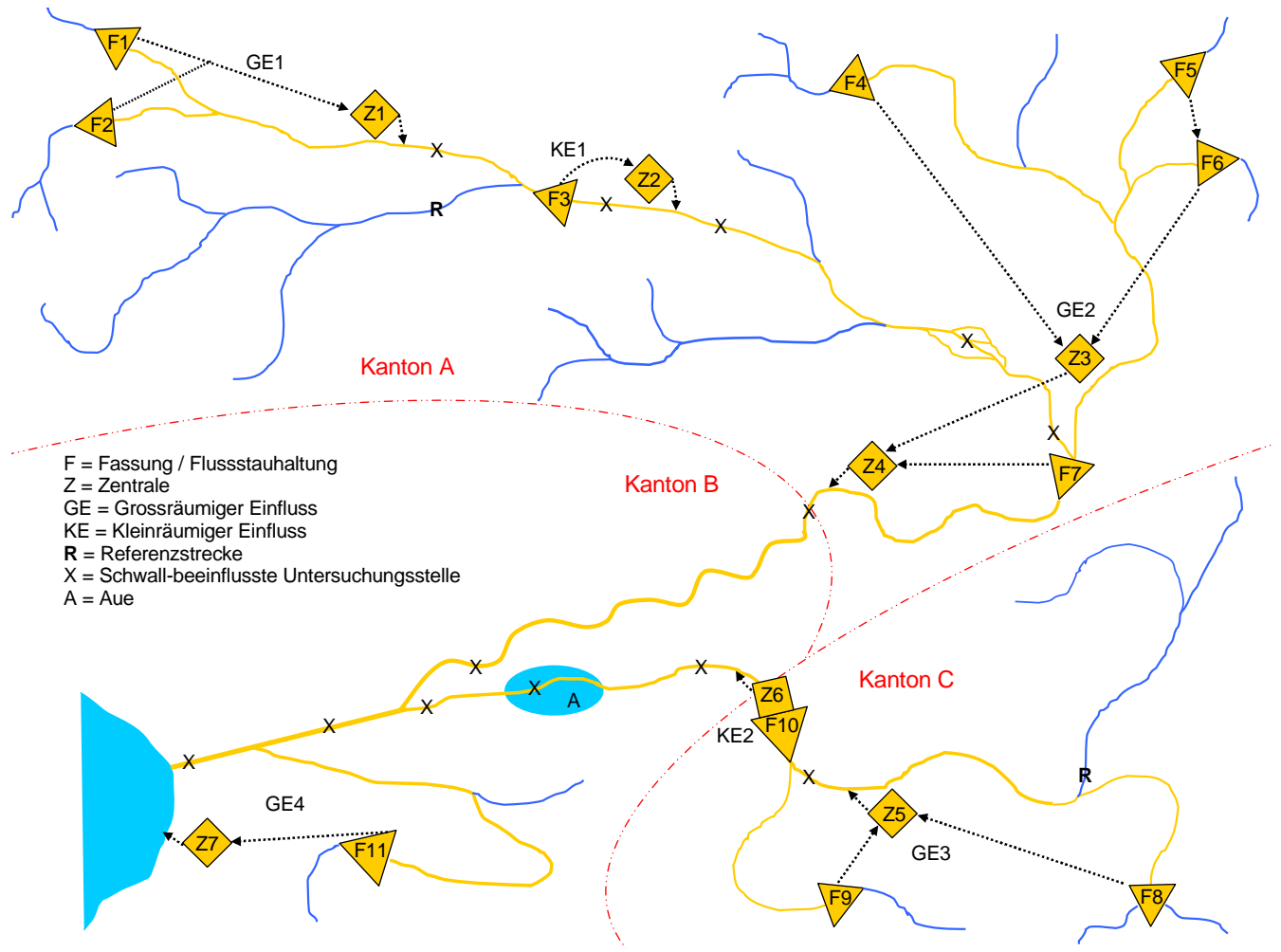


Abb. A7 &gt; Lage von Untersuchungsstellen und Referenzstrecken in einer komplexen Situation



## A5 Vorgehen zur groben Abschätzung des Volumens eines Ausgleichsbeckens

Ein Ausgleichsbecken dient dem Rückhalt von Triebwasser zur Dämpfung der Schwallspitzen sowie der Anhebung des Sunkabflusses während dessen Entleerung.

Dimensionierung von  
Ausgleichsbecken

Das Ausgleichsbecken ist so zu dimensionieren und zu betreiben, dass, unter Berücksichtigung eines aktuellen Kraftwerkbetriebs,

1. ein definierter maximaler Schwallabfluss im Gewässer nicht überschritten wird
2. eine definierte Schwallrückgangsrage (Negativwert) nicht unterschritten wird und
3. ein zu bestimmender Sunkabfluss nicht unterschritten wird.

Das nachfolgend beschriebene Verfahren dient der groben Abschätzung des erforderlichen Beckenvolumens. Im Falle einer Projektierung sind detailliertere Untersuchungen durchzuführen.

Als Randbedingungen werden folgende Angaben benötigt:

1. Typische Wochenganglinie mit ausgeprägtem Winterschwall
2. Typische Ganglinien während der Feiertage (20.12.–10.1.)
3. Maximal zulässiger Schwallabfluss im Gewässer in  $[m^3/s]$
4. Minimale Schwallrückgangsrage in  $[m^3/s/min]$
5. Mindestens notwendiger Sunkabfluss in  $[m^3/s]$  gemäss Konzession oder Sanierungsverfügung

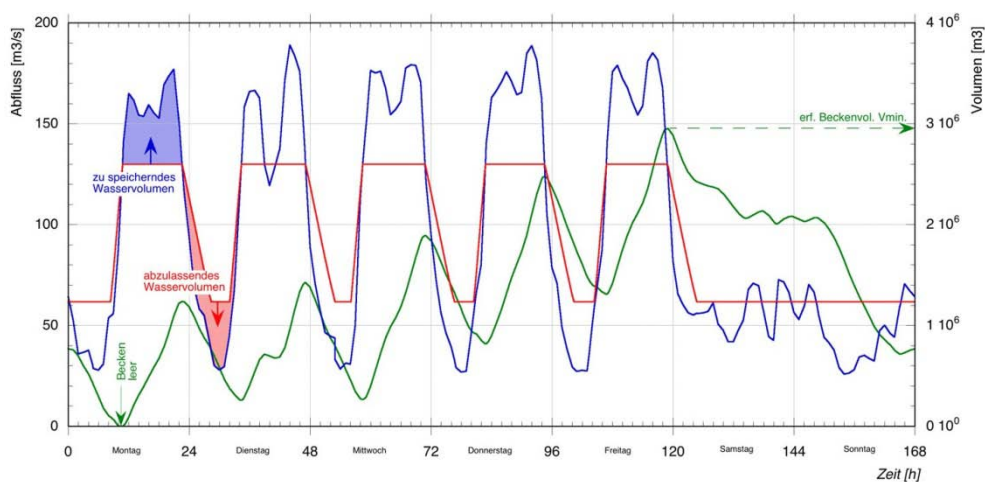
Das Vorgehen zur Bestimmung des erforderlichen Beckenvolumens gliedert sich in die zwei Teile:

➤ **Teil 1:** Berechnung des Beckenvolumens und des Sunkabflusses unter Berücksichtigung des Wochenausgleichs. Das iterative Vorgehen gliedert sich in folgende Schritte:

- *Schritt 1:* Festlegen eines Sunkabflusses unter Berücksichtigung von (5) und allenfalls weiteren Randbedingungen (vgl. Indikator A1 in Anhang A7).
- *Schritt 2:* Ermittlung der Füll- und Entleerungskurve während der Wochenganglinie unter Berücksichtigung der Randbedingungen (3), (4) und (5). Die Berechnung beginnt am Montag mit einsetzendem Schwall ( $Q > Q_{\text{Sunk}}$ ) und endet nach einer Woche mit ausklingendem Sunk (Montag, gleiche Zeit).
- *Schritt 3:* Die Schritte 1 und 2 sind solange zu wiederholen, bis das Becken am Ende der Wochenganglinie genau leer ist. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, ist der Sunkabfluss des Wochenausgleichs bestimmt.  
Zudem ist zu gewährleisten, dass das Becken während der Woche immer teilgefüllt (oder leer) ist.
- *Schritt 4:* Das für den Wochenausgleich erforderliche minimale Beckenvolumen ( $V_{\text{min}}$ ) ergibt sich aus dem maximalen Volumen der definitiven Füll- und Entleerungskurve. Es wird empfohlen, einen Zuschlag von 20 % zu berücksichtigen ( $V_{\text{WA}}$ : Volumen Wochenausgleich).

Abb. A8 zeigt die Resultate dieser Berechnungen an einem Beispiel: Das Becken ist am Montag Morgen, ca. 10 Uhr, leer. Übersteigt der Abfluss den maximal zulässigen Schwallspitzenabfluss, so wird zur Dämpfung der Schwallganglinie Wasser zurückgehalten (blaue Fläche) und die Füllkurve (grün) steigt an. Wird umgekehrt beim abklingenden Ast der Schwallganglinie der maximal zulässige Schwallabfluss unterschritten, so wird ein Teil des im Becken gespeicherten Wassers zur Verzögerung des Schwallrückgangs und zum Anheben des Sunks abgelassen (rote Fläche), wodurch die Füllkurve sinkt. Weil an allen Werktagen mehr Wasser zurückgehalten als abgelassen wird, steigt die Füllkurve bis Freitag Nacht auf ein Maximum an. Dieses Maximum kennzeichnet das minimal erforderliche Beckenvolumen  $V_{\min}$ . Über das Wochenende wird bis zum Montag Morgen alles Wasser zur Anhebung des Sunks wieder abgelassen, womit die Füllkurve auf Null sinkt.

**Abb. A8** > Illustration zur Abschätzung des Volumens eines Ausgleichsbeckens für ein schwallbeeinflusstes Gewässer



## > Teil 2: Beckenbewirtschaftung und Kraftwerkbetrieb während den Feiertagen

Die Feiertage können einen massgebenden Einfluss auf den minimalen Sunkabfluss haben. Je nach dem, auf welche Wochentage die Weihnachts- und die Neujahrsfeiertage fallen, beginnen sie mit vollem, teilgefülltem oder leerem Ausgleichsbecken. Einen weiteren Einfluss hat der Kraftwerkbetrieb während und zwischen den Feiertagen.

Die Analyse von Feiertagsganglinien zeigt, dass sowohl aufgrund des jährlich variablen Kalenders als auch des variablen Kraftwerkbetriebs keine einheitlichen Vorgaben zur Bestimmung des minimalen Sunkabflusses, resp. des darauf basierenden Beckenvolumens, hergeleitet werden können. Fallen beispielsweise die Feiertage (25.12., 1.1.) auf einen Montag, so ist das gemäss den Schritten 1 bis 4 bestimmte Beckenvolumen mindestens zu verdoppeln. Umgekehrt ist im günstigsten Fall keine zusätzliche Vergrösserung des Beckens erforderlich.

Damit resultiert eine erste Bandbreite für die Grösse des Ausgleichsbeckens  $V_{AB}$ :

$$V_{WA} \leq V_{AB} \leq (2 \dots 3) * V_{\min}$$

Aus gewässerökologischer Sicht ist zu gewährleisten, dass der Wasserspiegel des minimalen Sunkabflusses nicht mehr als 18cm unter den Wasserspiegel während der Laichzeit (Sunkabfluss November und Dezember) fällt. Falls diese Bedingung erfüllt ist, fallen Laichgruben, die während dem Sunk bei einer Mindestwassertiefe von 20cm angelegt wurden, nicht trocken. Weil jedoch der Sunkabfluss in den Monaten November und Dezember häufig grösser ist als derjenige im Hochwinter, ergibt sich dadurch nur ein geringer Spielraum.

Zur Verhinderung von unerwünscht tiefen Sunkabflüssen während den Feiertagen sind folgende Massnahmen denkbar:

1. Erstellen eines ausreichend grossen Ausgleichbeckens.
2. Gewährleisten eines Sunkabflusses während der Laichzeit (November und Dezember), der dem Sunk des Wochenausgleichs entspricht (Schritt 3). Dies ist nur bei Pumpspeicherbetrieb möglich.
3. Turbinieren von gespeichertem Wasser in Zeiten, wo das Becken leer ist, so dass der Wasserspiegel nicht mehr als 18cm unter denjenigen des Sunks mit Wochenausgleich fällt.

Die Massnahmen (2) und (3) stellen Eingriffe in den Kraftwerkbetrieb dar. Massnahme (3) führt zu gewissen Mindereinnahmen (Produktion in Zeiten mit Stromüberschuss). Die optimalen Massnahmen zur Gewährleistung eines ausreichenden Sunks während den Feiertagen kann aufgrund von Wirtschaftlichkeitsberechnungen bestimmt werden, wo die Mehrkosten für ein grösseres Ausgleichsbecken den Entschädigungen für eine allfällige Minderproduktion gegenübergestellt werden.

## A6 Minimalanforderungen für die kantonale Planung

### Minimalanforderung für den Zwischenbericht bis Mitte 2013

Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 1 GSchV	vom Kanton einzureichende Unterlagen
a) pro Einzugsgebiet eine Liste der bestehenden Wasserkraftwerke, die Abflussschwankungen verursachen können (Speicher- und Flusskraftwerke)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Name und Standort der Anlage</li> <li>• Betroffene Fließgewässer</li> <li>• Koordinaten Anlagenteil, welches im Fließgewässer Abflussschwankungen verursacht</li> </ul>
b) Angaben darüber, welche Wasserkraftwerke in welchen Gewässerabschnitten die einheimischen Tiere und Pflanzen sowie deren Lebensräume durch Schwall und Sunk wesentlich beeinträchtigen  <u>Kommentar:</u> Wann gilt eine Beeinträchtigung als «wesentlich»? Anlagen, wo Schwallabfluss mindestens 1,5 Mal grösser als Sunkabfluss (Art. 41e Bst. a GSchV) <u>und</u> welche die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaft nachteilig verändern, insb. weil regelmässig und auf unnatürliche Weise Fische stranden, Fischlaichplätze zerstört werden, Wassertiere abgeschwemmt werden, Trübungen entstehen oder die Wassertemperatur in unzulässiger Weise verändert wird (Art. 41e Bst. b GSchV)	<u>Anlagen ohne wesentliche Beeinträchtigung (Kap. 2.2):</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentation der Ausscheidung von Anlagen mit Schwall/Sunk &lt; 1,5:1 (Berechnung, Schwall/Sunk-Wert)</li> <li>• Begründung der offensichtlich vernachlässigbaren Beeinträchtigung (Kap. 2.2.2)</li> <li>• Nachweis pro Indikator anhand der Messwerte gem. Kap. 2.5.3</li> </ul> <u>Anlagen mit wesentlicher Beeinträchtigung (Kap. 2.3, 2.4 und 2.5):</u> Der Nachweis der «wesentlichen Beeinträchtigung» aufgrund der Kriterien gem. Kap. 2.4.3, 2.4.4 oder 2.5.3 Angaben – nach Rücksprache mit KW – pro Anlage, welche sanierungspflichtig ist (Art. 41f GSchV): <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dokumentation und Nachweis der wesentlichen Beeinträchtigung</li> <li>• Vorgesehene bauliche und betriebliche Veränderungen der Anlage</li> </ul>
c) Beurteilung des ökologischen Potenzials der wesentlich beeinträchtigten Gewässerabschnitte und des Grads der Beeinträchtigung	Erste Beurteilung/Klassierung des ökologischen Potenzials nach Art. 33a GSchV (Kap. 3.3, Anhang A2-1). Einteilung des Grads der Beeinträchtigung aufgrund der Zustandsklassen «schlecht», «unbefriedigend», «mässig» (Kap. 2.4.4, 2.5.3, Anhang A2-2)
d) Pro Anlage, welche «wesentliche Beeinträchtigung» verursacht: mögliche Sanierungsmassnahmen, deren Beurteilung und die Festlegung der voraussichtlich zu treffenden Massnahmen sowie Angaben über die Abstimmung dieser Massnahmen im Einzugsgebiet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mögliche Sanierungsmassnahmen</li> <li>• Machbarkeit</li> <li>• Kosten</li> <li>• ökologischer Nutzen</li> <li>• voraussichtlich zu treffende Massnahmen</li> <li>• wurde Kraftwerksinhaber einbezogen?</li> <li>• Wie wurden die Massnahmen im Einzugsgebiet abgestimmt (z. B. bei mehreren KW im E-Gebiet)?</li> </ul>
e) Für Kraftwerke, bei denen die voraussichtlich zu treffenden Sanierungsmassnahmen nach Bst. d aufgrund von besonderen Verhältnissen noch nicht festgelegt werden können: Frist, innert welcher diese Angaben dem BAFU eingereicht werden	Nachvollziehbare Begründung der Inanspruchnahme dieser Ausnahmeklausel, Frist, innert welcher diese Angaben dem BAFU eingereicht werden

### Minimalanforderung für die beschlossene Planung bis Ende 2014

Anhang 4a Ziffer 2 Absatz 2 GSchV	vom Kanton einzureichende Unterlagen
a) Liste der Wasserkraftwerke, deren Inhaber Massnahmen zur Beseitigung von «wesentlichen Beeinträchtigungen» treffen müssen, mit Angaben der zu treffenden Sanierungsmassnahmen sowie der Fristen, innert welcher diese geplant und umgesetzt werden müssen. Die Fristen richten sich nach der Dringlichkeit der Sanierung	Definitive, bereinigte Liste mit den Angaben aus dem Zwischenbericht. Definitiv zu treffende Sanierungsmassnahmen. Zusätzlich Angaben zu den Planungs- und Umsetzungsfristen. Die Dringlichkeit richtet sich nach dem Grad der Beeinträchtigung und dem ökologischen Potenzial des betroffenen Gewässers.
b) Angaben, wie die Sanierungsmassnahmen im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers mit andern Massnahmen zum Schutz der natürlichen Lebensräume und zum Schutz vor Hochwasser abgestimmt wurden	Angaben zur Abstimmung mit den Planungen in den Bereichen <ul style="list-style-type: none"> <li>• Revitalisierung der Gewässer (Art. 41d GSchV)</li> <li>• Sanierung Geschiebehauhalt (Art. 42b GSchV)</li> <li>• Fischgängigkeit (Art. 9b VBGF)</li> </ul> sowie mit Hochwasser- und Grundwasserschutz sowie weiteren Massnahmen zum Schutz von natürlichen Lebensräumen. Die Abstimmungen sind wenn nötig über die Kantongrenze hinaus vorzunehmen.
c) Für Wasserkraftwerke, bei denen die zu treffenden Sanierungsmassnahmen aufgrund von besonderen Verhältnissen noch nicht festgelegt werden können: Frist, innert welcher der Kanton festlegt, ob und gegebenenfalls welche Sanierungsmassnahmen bis wann geplant und umgesetzt werden müssen.	Nachvollziehbare Begründung der Inanspruchnahme dieser Ausnahmeklausel, Frist, innert welcher der Kanton festlegt, ob und gegebenenfalls welche Sanierungsmassnahmen bis wann geplant und umgesetzt werden müssen.

**Abgeltungen vom Bund an die Kantone für Planungskosten**

Art. 62c GSchG

vom Kanton einzureichende Unterlagen

<sup>1</sup> Der Bund gewährt den Kantonen im Rahmen der bewilligten Kredite Abgeltungen an die Planung gemäss Art. 83b, sofern diese bis Ende 2014 beim Bund eingereicht wird.

<sup>2</sup> Die Abgeltungen betragen 35 Prozent der anrechenbaren Kosten.

Nachvollziehbare Zusammenstellung der für die kantonale Planung notwendigen und beim Kanton effektiv angefallenen Kosten. Diese Abgeltungen können für die erbrachten Planungsleistungen nach Einreichung des Zwischenberichts bzw. nach Einreichung der beschlossenen Planung ausbezahlt werden. Es ist keine vorgängige grundsätzliche Zusicherung der Abgeltungen durch das BAFU notwendig.



---

## A7 Indikatorblätter

Die Indikatoren und die zugehörigen Bewertungen, die auf den folgenden Blättern erläutert werden, sind aufgrund von langjähriger Erfahrung bei der Untersuchung von schwallbeeinflussten Fliessgewässern ausgewählt, an die Zielsetzungen der vorliegenden Methodik (Kap. 1.1) angepasst oder zu diesem Zweck neu entwickelt worden. Darunter befinden sich mehr oder weniger Schwall-spezifische Indikatoren, deren Einsatzbereich entsprechend unterschiedlich ist (Kap. 2.4 und 2.5).

Es kann somit davon ausgegangen werden, dass eine Bewertung mit diesen Indikatoren dem aktuellen Wissenstand im Bereich Schwall und Sunk entspricht (state of the art). Gleichzeitig ist dieser Wissensstand in mancherlei Hinsicht noch lückenhaft, und es besteht nach wie vor ein grosser Untersuchungs- und Forschungsbedarf, um die Auswirkungen des Schwallbetriebes auf die Gewässer besser verstehen und beurteilen zu lernen (z. B. Young et al. 2011).

Dementsprechend wird empfohlen, die im Zuge der kantonalen Planungen gesammelten, praktischen Erfahrungen mit der Anwendung der vorliegenden Untersuchungs- und Bewertungsmethode fortlaufend auszuwerten. Aufgrund dieser Auswertungen können die Indikatoren am Ende der 1. Phase, wenn die kantonalen Planungen abgeschlossen sind, für den Einsatz in der 2. Phase, d. h. für die Planungen durch die Inhaber, wo nötig angepasst werden.

**A7-1 MSK-Modul Fische – Indikator F1**

Die in einem Gewässer lebende Fischfauna bildet eine Artengemeinschaft, die typisch ist für die gegebenen Bedingungen bezüglich Gewässergrösse, Gefälle, Höhenlage und Wassertemperaturen. Dazu können die Fliessgewässer nach biozönotischen Regionen unterschieden werden, wobei für jede Region eine Leitfischart und wichtige Begleitarten definiert werden (Huet 1949).

Grundlagen

Die Populationsstruktur einer Fischart weist unter natürlichen Bedingungen eine pyramidenförmige Verteilung der Altersklassen auf. Unter gestörten Bedingungen, insbesondere bei Beeinträchtigungen der natürlichen Fortpflanzung, wird diese Altersstruktur in der Regel so verändert, dass der Anteil von Jungfischen an der gesamten Individuenzahl mehr oder weniger deutlich abnimmt.

Im Modul-Stufen-Konzept (MSK) des Bundes zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer ist auch ein Modul Fische definiert, nach dem die Zusammensetzung der Fischgemeinschaft anhand von 4 Parametern beurteilt wird (Schager & Peter 2004):

- > Artenspektrum und Dominanzverhältnisse
- > Populationsstruktur der Indikatorarten
- > Fischdichte der Indikatorarten
- > Deformationen/Anomalien

Die Erhebungsmethodik wird im MSK Modul Fische detailliert beschrieben (Schager & Peter 2004). Die Methode nach MSK-Fische ist allerdings auf watbare Gewässer beschränkt. Für grössere Fliessgewässer müssen entsprechend angepasste Methoden eingesetzt oder die Informationen zum Fischbestand aus andern Quellen (Studien, Umweltverträglichkeitsberichte, Fangstatistiken etc.) zusammengetragen werden.

Erhebung

Auswertung und Darstellung der Resultate gemäss MSK Modul Fische (Schager & Peter 2004).

Auswertung und Darstellung der Resultate

Zur Bewertung des Zustandes der Fischfauna wird im MSK Modul Fische eine 5-stufige Bewertungsskala vorgegeben (Schager & Peter 2004).

Bewertung

**Literaturzitate**

Huet M. 1949: Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol. 11: 332–351.

Schager E., Peter A. 2004: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer – Fische Stufe F (flächendeckend). BAFU Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz 44: 1–63.

**A7-2 Stranden von Fischen – Indikator F2**

Das Stranden von Fischen und Wirbellosen kann massgeblich zur Reduktion der Fischpopulation beitragen. Einerseits sterben die betroffenen Tiere (erhöhte Mortalität ausgewählter Altersklassen), andererseits wird durch das Trockenfallen von Wirbellosen die Nährtierbiomasse reduziert und damit die fischereiliche Produktivität des Gewässers herabgesetzt. Insbesondere Jungfische (Altersklassen 0+ und 1+) sind vom Schwallrückgang betroffen, grössere Fische können besser dem zurückweichenden Wasser folgen (Halleraker et al. 2003). Da die direkte Erhebung gestrandeter Tiere auf reine Zufallsfunde begrenzt bleiben würde (die Fische ziehen sich nach Saltveit et al. 2001 zum Teil ins Sediment zurück), wird dieser Indikator primär auf hydraulische Berechnungen abgestützt und mit Felderhebungen plausibilisiert.

Grundlagen

Ausdehnung und Morphologie der Wasserwechselzone sind für das Stranden direkt massgeblich. Weiter ist die Geschwindigkeit des Pegelrückgangs beim Übergang von Schwall Sunk ausschlaggebend dafür, ob potenziell betroffene Organismen genügend Zeit zur Flucht in tieferes Wasser haben.

Als Grundlage für die gewässerökologische Beurteilung des Strandens sind für das betroffene Fliessgewässer hydraulische Berechnungen durchzuführen. Mit einer Begutachtung im Feld sollen diese validiert werden. Die vorgeschlagene Methodik wurde an verschiedenen von Schwall/Sunk betroffenen Gewässern angewendet (Zurwerra & Bur 2009).

Mit den hydraulischen Berechnungen werden folgende Daten bereitgestellt:

Erhebung

- > Querprofile und Pegel-Abfluss-Beziehungen als Grundlagendaten (Abb. A9).
- > Ausdehnung der Wasserwechselzone durch Berechnung der Wasserspiegel und Angabe der Wasserlinien bei Sunk und Schwall.
- > Angaben zum Pegelrückgang und der dabei trocken fallenden Fläche beim Schwallrückgang.
- > Angabe von Mulden und Senken, die bei Sunk trocken fallen (Fischfallen).

Diese Berechnungen werden im gesamten vom Schwall betroffenen Fliessgewässer oder in typischen Fliessgewässerabschnitten durchgeführt. Bei der Untersuchung von Fliessgewässerabschnitten muss eine Übertragung der Resultate auf die nicht untersuchten Abschnitte mit ausreichender Genauigkeit möglich sein.

Die hydraulischen Berechnungen werden für den massgebenden Abfluss bei Sunk, Schwall sowie für die Abflüsse bestimmter Zeitpunkte oder Zeitschritte beim Schwallrückgang durchgeführt.

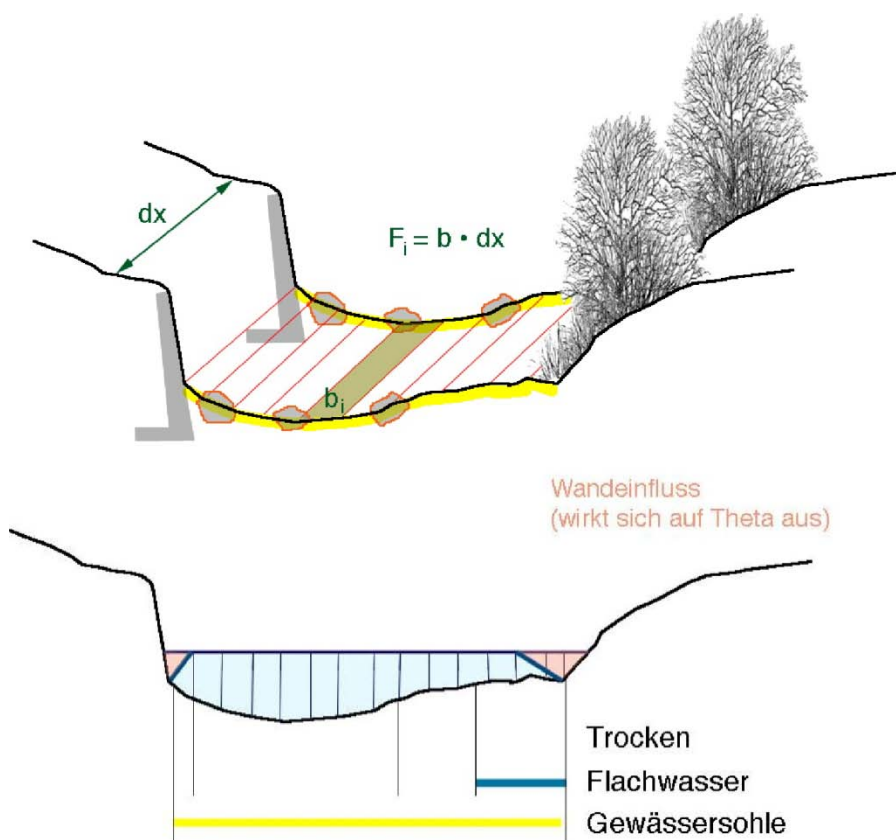
Methodik:

Die zu wählende Methodik und die zu erhebenden Grundlagendaten richten sich nach der Morphologie, der Länge und der ökologischen Bedeutung des zu untersuchenden Gewässers (Abb. A10).

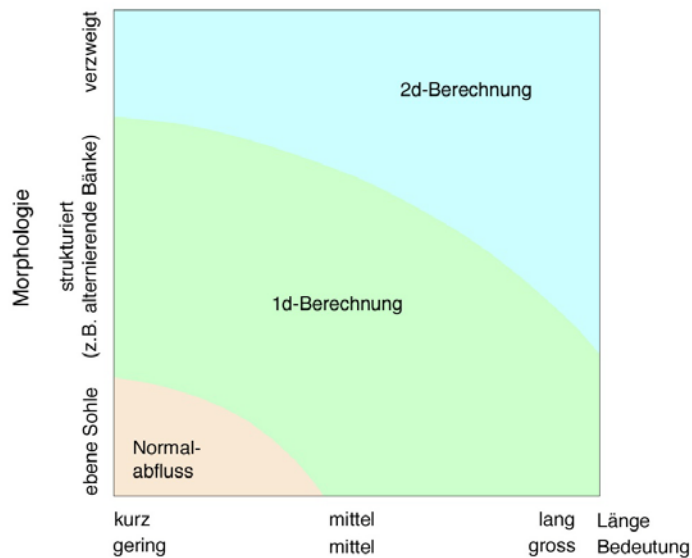
- > 2-dimensionale hydraulische Berechnungen werden empfohlen
  - bei verzweigten Fließgewässern.
  - bei langen und bedeutenden Fließgewässern mit ausgeprägten Bänken und abgestuftem Längsprofil.
- > 1-dimensionale hydraulische Berechnungen (Staukurvenberechnungen) werden empfohlen
  - bei kurzen bis langen Fließgewässern mit monotoner bis strukturierter Morphologie.

Normalabflussberechnungen sind ausreichend in kurzen, kanalisierten Fließgewässern mit ebener Sohle.

**Abb. A9 > Querprofilaufnahmen mit Pegel-Abfluss-Beziehung und Unterteilung in Streifen zur Berechnung der trockenfallenden Flächen**



**Abb. A10 > Empfohlene Methodik in Abhängigkeit der Morphologie, der Fliessgewässerlänge und deren ökologischer Bedeutung**



Mit einer Validierung im Feld wird die Plausibilität der berechneten Flächen überprüft. Bei geringem Sunk und Niederwasserverhältnissen wird gleichzeitig die Anzahl gestrandeter Fische erhoben. Der Zeitpunkt für diese Begehung sollte einerseits so gewählt werden, dass Jungfische vorhanden sind, d.h. in Bachforellengewässern die Zeitspanne Ende März bis Ende Juni, in Äschengewässern April bis Mitte Mai und in Barbegewässern Juli bis August. Saisonale Temperatur und Höhenlage müssen dabei mitberücksichtigt werden. Andererseits wurde aber auch gezeigt, dass im Winter bei kalten Temperaturen und entsprechend reduzierter Aktivität der Fische das Stranden von Forellen und Junglachsen deutlich grösser war als im Sommer (Saltveit et al. 2001). Eine zweimalige Erhebung in verschiedenen Jahreszeiten scheint deshalb sinnvoll. Die Situation in Abschnitten mit berechneten Querprofilen soll in einer Fotodokumentation festgehalten werden.

Bei dieser Feldbegehung werden gleichzeitig auch auffällige Häufungen von gestrandeten wirbellosen Organismen (z. B. Köcherfliegenlarven) fotografisch dokumentiert.

Für die Beurteilung der Bedeutung des Strandens sind folgende Auswertungen durchzuführen:

Auswertung und Darstellung der Resultate




1. Darstellung der Wasserwechselzone in Situation und Schnitten. Abschnittsweise (ev. Differenzierung nach Morphologie) Ermittlung der benetzten Fläche bei Schwall und bei Sunk und Fotodokumentation der tatsächlichen Situation im Feld.
2. Darstellung der Wasserlinien für verschiedene Zeitpunkte und Abflüsse beim Schwallrückgang in Situation und Schnitten. Ermittlung der Böschungsneigungen, resp. der Neigungen von Bänken, als Grundlage für die Beurteilung der lateralen Verschiebungsraten des Wasserspiegels.

3. Darstellung von Flächen in der Wasserwechselzone, die als Fischfallen wirken können.
4. Ermittlung der Pegelrückgangsraten für verschiedene Zeitabschnitte.
5. Ermittlung der Anzahl gestrandeter Fische pro 100 m abgesuchte Fläche.




Bei 1-dimensionalen Berechnungen ist der Verlauf der Wasserlinien verschiedener Abflüsse zwischen den Querprofilen aufgrund von Felderhebungen oder Luftbildern festzulegen.

Zur Bewertung der Daten zum Stranden sind die verschiedenen Berechnungen separat zu beurteilen und am Schluss zu aggregieren. Dabei sind für diese Parameter nur grobe Klassierungen in 3 Stufen möglich. Der Anteil der bei Sunk trockenfallenden Flächen wird an der gesamten, bei Schwall benetzten Sohlenfläche gemessen:

Bewertung

Bewertung	Zustand	Kriterium: Anteil trocken fallender Fläche an gesamter benetzter Fläche
	sehr gut	< 10 %
	gut	10–30 %
	mässig–schlecht	> 30 %

Für die Geschwindigkeit des Schwallrückgangs können die Grenzwerte entsprechend der Literatur festgelegt werden (z. B. Saltveit et al. 2001; Halleraker et al. 2003; Irvine et al. 2009; siehe auch Limnex 2004). Dabei sollte jedoch – in Abhängigkeit von der Morphologie – nur der Pegelrückgang für Wassertiefen < 20 cm berücksichtigt werden, da bei grösserer Wassertiefe die Fische genügend Zeit zur Flucht haben. Diese Bewertung ist anhand von zeitlich hoch aufgelösten Pegeldaten (mit einem Messintervall von 5 bis 10 Minuten) durchzuführen.

Bewertung	Zustand	Kriterium: Geschwindigkeit des Schwallrückgangs
	sehr gut	< 0,3 cm/min
	gut	0,3–0,5 cm/min
	mässig–schlecht	> 0,5 cm/min

Bei der Validierung im Feld wird die Anzahl trocken gefallener Fische pro Laufmeter abgesuchte Fläche bei Niederwasser unmittelbar nach Schwallrückgang gezählt und beurteilt:

Bewertung	Zustand	Kriterium: Anzahl gestrandete Fische / 100 m
	sehr gut	0
	gut	1–5
	mässig–schlecht	> 5

Weisen zwei dieser drei Parameter einen roten Zustand aus, ist der Indikator F2 als rot zu beurteilen.

#### Literaturzitate

Abegg J. 2006: Linth, Linthal bis Schwanden – Auswirkungen des Schwallbetriebes auf den Geschiebehaushalt. Bericht im Auftrag der Direktion für Landwirtschaft, Wald und Umwelt – Baudirektion des Kantons Glarus und der Kraftwerke Linth Limmern AG: 1–51.

Halleraker J.H., Saltveit S.J., Harry A., Arnekleiv J.V., Fjeldstad H.P., Kohler B. 2003: Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Res. Applic.* 19: 589–603.

Irvine R.L., Oussoren T., Baxter J.S., Schmidt D.C. 2009: The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbia, Canada. *River Research and Applications* 25: 409–415.

Limnex 2004: Möglichkeiten zur Regelung des Schwallbetriebes in der Schweiz. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–34.

Saltveit S.J., Halleraker J.H., Arnekleiv J.V., Harby A. 2001: Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by hydro peaking. *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 609–622.

Zurwerra A., Bur M. 2009 : Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk-Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz). *Wasser Energie Luft* 101/4: 309–315.

**A7-3 Laichareale der Fische – Indikator F3**

Zur Erhaltung einer überlebensfähigen Fischpopulation ist die Sicherstellung der natürlichen Fortpflanzung von ausschlaggebender Bedeutung. Wesentliche Beeinträchtigungen des Lebensraumes zeigen sich meist direkt in der Fortpflanzung der vorkommenden Arten. So wird sich zum Beispiel das Trockenfallen von Laichgruben oder Geschiebetrieb während der Eientwicklung direkt im Fortpflanzungserfolg niederschlagen. Fortpflanzung und Fortpflanzungserfolg werden deshalb mit zwei verschiedenen Parametern rechnerisch und im Feld ermittelt.

Grundlagen

Populationsstruktur und Fischdichte der Leitarten sind aus Indikator F1 bekannt (Ist-Zustand) und mit dem Indikator F5 kann die theoretisch zu erwartende Fischpopulation geschätzt werden (Soll-Zustand =  $3 \times \text{JHE}$ ). Mit einer (konservativen) Annahme von 300 Eiern/Weibchen und den Überlebensraten nach Tab. A3 kann die für eine überlebensfähige Fischpopulation notwendige Anzahl Adulttiere abgeschätzt werden.

**Tab. A3 > Überlebensraten der Bachforellen nach Altersstadien**

Stadium	Überlebensrate
Eier bis Emergenz	0,8
0–1	0,05
1–2	0,4
2–3	0,4
3–4	0,3
4–5	0,3

Balignières &amp; Maisse 1999

Der Flächenbedarf der Bachforelle kann stark variieren und ist abhängig von Morphologie und Strukturierung des Gewässers. Bei schwacher oder fehlender Strukturierung benötigen die territorialen Bachforellen deutlich grössere Flächen als bei guter Strukturierung. Das Laichterritorium eines Rogners wird in der Literatur auf 2,3–9,3 m<sup>2</sup> beziffert, Adulttiere ausserhalb der Fortpflanzung benötigen 12,5 bis 16 m<sup>2</sup>/Individuum (Elliott 1994, Balignière & Maisse 1999, Schager & Peter 2002). Mit diesen Angaben und der Biomasse der Fischnährtiere (Indikator B1) kann nun abgeschätzt werden, ob die Population im fraglichen Gewässerabschnitt im Ist-Zustand durch das Futter, den Raumbedarf der Adulttiere oder die Fläche der Laichareale limitiert wird.

Sofern sich dabei zeigt, dass im Ist-Zustand die Fläche der Laichareale limitierender Faktor ist, kann die mindestens notwendige Fläche für den Soll-Zustand abgeschätzt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die potenziellen Laichflächen ständig benetzt sein müssen (kein Trockenfallen), eine minimale Wassertiefe von 20 cm aufweisen und ein stabiles Substrat (keine Erosion der Laichplätze) von 30–60 mm mittlerem Korndurchmesser aufweisen müssen. Die Beurteilung der verfügbaren Laichareale wird deshalb im betroffenen Fliessgewässer mit hydraulischen und geschiebemechanischen Berechnungen durchgeführt, mit denen die folgenden Daten zur Verfügung gestellt werden:



- > Angabe von Flächen der Gewässersohle, die für den Laichvorgang eine geeignete Wassertiefe (bei Niederwasserabfluss, resp. Sunk) aufweisen.
- > Angabe von Flächen der Gewässersohle, die ein geeignetes Laichsubstrat aufweisen.
- > Angabe von Flächen der Gewässersohle mit stabilem Laichsubstrat (keine Mobilisierung bei Schwall).

Die hydraulischen und geschiebemechanischen Berechnungen werden im gesamten vom Schwall betroffenen Fließgewässer oder in typischen Fließgewässerabschnitten durchgeführt. Bei der Untersuchung von Fließgewässerabschnitten muss eine Übertragung der Resultate auf die nicht untersuchten Abschnitte mit ausreichender Genauigkeit möglich sein.

Die hydraulischen und geschiebemechanischen Berechnungen werden für einen Referenzzustand ohne Kraftwerkschwall (unbeeinflusste Abflussverhältnisse im Winter) sowie den Zustand mit Kraftwerkschwall (im Winter) durchgeführt. Aus dem Vergleich der zwei Zustände kann auf die Beeinträchtigung der Laichplätze geschlossen werden.

Das vorgeschlagene Vorgehen wurde von Abegg (2007) und WFN (2007) bei der Neukonzessionierung eines Kraftwerkes angewendet.

#### Methodik:

Erhebung

Die zu wählende Methodik richtet sich nach der Morphologie, der Länge und der ökologischen Bedeutung des zu untersuchenden Gewässers (entsprechend Abb. A10, Indikator F2).

- > 2-dimensionale hydraulische Berechnungen werden empfohlen
  - bei verzweigten Fließgewässern.
  - bei langen und bedeutenden Fließgewässern mit ausgeprägten Bänken und abgestuftem Längenprofil.
- > 1-dimensionale hydraulische Berechnungen (Staukurvenberechnungen) werden empfohlen
  - bei kurzen bis langen Fließgewässern mit monotoner bis strukturierter Morphologie.

Normalabflussberechnungen sind ausreichend in kurzen, kanalisierten Fließgewässern mit ebener Sohle.

#### Geschiebemechanische Berechnungen:

Auf Basis der hydraulischen Berechnungen werden für den Sunk und den Schwall die dimensionslosen Sohlenschubspannungen ( $Q$ ) unter Berücksichtigung des mittleren Korndurchmessers des Geschiebes ( $d_m$ ) berechnet.  $d_m$  wird durch die Entnahme und Umrechnung von Linienproben bestimmt. Ist  $Q < 0,05$ , so ist das Substrat stabil, andernfalls ist von einer Mobilisierung auszugehen.

Die Berechnung von  $Q$  erfolgt bei den 2-dimensionalen Berechnungen für jede Zelle und bei den 1-dimensionalen Berechnungen sowie den Normalabflussberechnungen in Streifen der Querprofile.

#### Substrat:

Die Zusammensetzung des Substrats wird durch die Entnahme und Auswertung von Linienproben bestimmt.

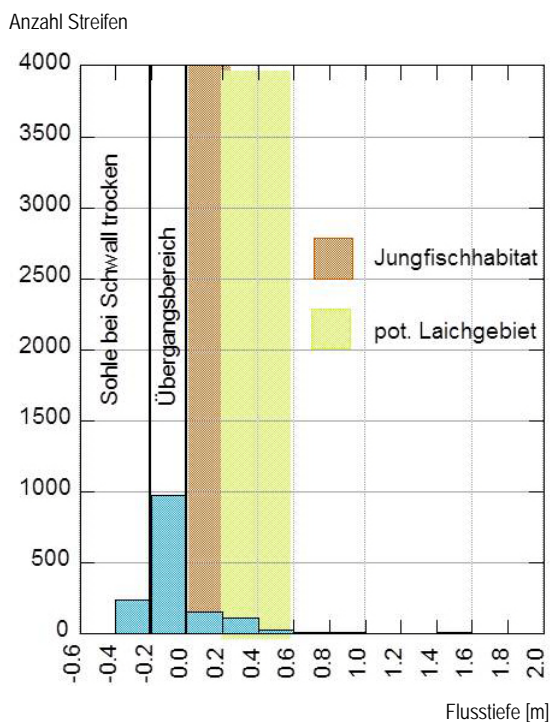
Für die Beurteilung der Laichareale sind folgende Auswertungen durchzuführen:

1. Darstellen und Aufsummieren der Flächen, die bezüglich der Wassertiefe bei Niederwasserabfluss (Referenzzustand), resp. bei Sunk als Laichareale geeignet sind.
2. Darstellen und Aufsummieren der Flächen mit Substrat, die bezüglich Zusammensetzung als Laichareale geeignet sind.
3. Darstellen und Aufsummieren der Flächen mit stabilem Substrat im Referenzzustand und mit KW-Schwall.
4. Auswerten der Schnittmengen der Schritte (1) bis (3) für den Referenzzustand und den Zustand mit KW-Schwall (Abb. A11).
5. Vergleich der Werte aus (4) mit dem Flächenbedarf der Bachforellenpopulation im Ist- und im Soll-Zustand.

Auswertung und Darstellung der Resultate

**Abb. A11 > Aufsummierte Anzahl Streifen im betrachteten Flussabschnitt (erlaubt die Flächenberechnung) mit stabilem Sohlensubstrat, die entsprechend dem Substrat als potenzielles Laichgebiet, bzw. entsprechend der Wassertiefe als Jungfischhabitat geeignet sind**






*Fliesstiefe Sunk,  $\Theta_{Schwall} < 0.05$ .*



Abegg 2007

Mit der Gegenüberstellung des Flächenbedarfs der aktuellen und der hypothetischen Zielpopulation (Soll-Zustand) kann abgeschätzt werden, wie stark der heutige Fischbestand durch den Schwall/Sunk-Betrieb beeinträchtigt wird.

Bewertung

Bewertung	Zustand	Kriterium: Flächenbedarf erfüllt zu
	sehr gut	> 80 %
	gut	60–80 %
	mässig	40–60 %
	unbefriedigend	20–40 %
	schlecht	< 20 %

#### Literaturzitate

Abegg J. 2007: Neukonzessionierung Kraftwerk Linth-Limmern Schwallbetrieb im Abschnitt Linthal – Schwanden. Bericht im Auftrag der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden: 1–35.

Balignière J.L., Maisse G. 1999: Biology and ecology of the Brown and Sea Trout. Springer Praxis Series in Aquaculture and Fisheries, Chichester: 286 S.

Elliott J.M. 1994: Quantitative Ecology and the Brown Trout. Oxford University Press, Oxford.

Schager E., Peter A. 2002: Bachforellensömmerringe Phase II. Fischnetz Publikation, Projekt «Netzwerk Fischrückgang Schweiz», Teilprojekt 01/12: 1–218.

WFN 2007: Kraftwerksanlagen Linth-Limmern – Konzessionsprojekt 2006, Bericht zur Umweltverträglichkeit 1. Stufe, Fachbericht Gewässerökologie – Nachtrag Schwall-Sunk. Bericht im Auftrag der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG, Baden: 1–29.

**A7-4 Reproduktion der Fischfauna – Indikator F4**

Aus den Indikatoren F1, F2 und F3 sind Zusammensetzung und Populationsstruktur des Fischbestandes, sowie der Flächenanspruch der Leitart für die Reproduktion bekannt. Da die aufgrund der Schwall/Sunk-Problematik zu untersuchenden Gewässer zumeist in der Bachforellenregion liegen, und die Leitart Bachforelle mit ihren Lebensraumansprüchen relativ gut bekannt ist, beschränken wir uns hier auf die Bachforelle. Gegebenenfalls können die Erhebungen in angepasster Weise für die Äsche als Leitart der Äschenregion durchgeführt werden, wobei dies meist grössere Flüsse betrifft und entsprechend methodische Schwierigkeiten der fischökologischen Erhebungen zu berücksichtigen sind. Der Einfluss der Bewirtschaftung (Besatz) muss ausgeblendet werden und Erhebungen zum Fortpflanzungserfolg müssen möglichst bald nach dem Schlüpfen, auf jeden Fall vor eventuellem Besatz durchgeführt werden.

Grundlagen

Der Fortpflanzungserfolg der Bachforelle wird mit Elektrobefischungen im Bereich potenziell geeigneter Brütlingshabitate nach der Punktsammelmethode (Persat & Copp 1990) im Frühling möglichst bald nach der Emergenz der Brütlinge aus dem Kiesbett erhoben. Da aus Indikator F3 Lage und Ausdehnung potenzieller Laichareale ungefähr bekannt sind, können sich die Befischungen auf Strecken im Bereich oder unterhalb dieser Areale beschränken.

Erhebung

Da Laichzeit und Dauer der Inkubationsphase stark temperaturabhängig und somit für jedes Gewässer individuell sind, ist unbedingt vorgängig mit guten Kennern des Gewässers Kontakt aufzunehmen. Der zuständige kantonale Fischereiaufseher kennt seine Gewässer in der Regel und kann entsprechende Fragen beantworten. Zudem ist der Zeitpunkt eines allfälligen Besatzes mit Bachforellenbrütlingen oder -vorsommerlingen abzusprechen, so dass die Aufnahmen vor diesem durchgeführt werden können.

Wird im zu untersuchenden Gewässer kein Besatz an Bachforellen getätigt, können die Erhebungen auch im Spätsommer durchgeführt werden, wobei dann die Abfischung als halbquantitative Erhebung gemäss Indikator F1 durchzuführen ist.

Die Dichte der Bachforellenbrütlinge wird pro Punkt berechnet und dargestellt (CPUE = catch per unit effort = Fang pro Punkt). Für Sommer-/Herbsterhebungen wird die Dichte an Bachforellensommerlingen pro Hektare Wasserfläche berechnet.






Auswertung und Darstellung der Resultate

Eine spezielle Darstellung der Resultate ist nicht notwendig.

Als Grundlage für die Bewertung der Brütlingdichte von Bachforellen dienen Aufnahmen in einzelnen Gewässern in den Kantonen BE, BL, BS, FR, GL, GR, VD die im Rahmen verschiedener angewandter Fragestellungen erhoben wurden (div. Berichte).

Bewertung

Zur Beurteilung der Sommerlingsdichte stützen wir uns auf die Resultate der Studien von Schager & Peter (2001/2002/2004) im Modul-Stufen-Konzept Modul Fische.

Bewertung	Zustand	CPUE Bachforellenbrütlinge	Kriterium: Bachforellensömmerlingsdichte n/ha		
			Alpen	Voralpen	Mittelland/Jura
	sehr gut	> 1.0	> 400	> 2000	> 2500
	gut	0.6–1.0	300–400	1000–2000	1500–2500
	mässig	0.4–0.6	200–300	500–1000	1000–1500
	unbefriedigend	0.1–0.4	100–200	250–500	250–1000
	schlecht	< 0.1	< 100	< 250	< 250

Zur Interpretation der Resultate sind zwingend die aktuellen Abflussverhältnisse während der Laich- und Inkubationsphase der betreffenden Arten (Bachforelle: November – April) zu berücksichtigen. Sollten während dieser Zeit im betroffenen Gewässer oder in vergleichbaren Referenzgewässern derselben Region grössere Hochwasser mit möglichem Geschiebetrieb eingetreten sein, kann der aktuelle Fortpflanzungserfolg nicht zuverlässig geschätzt werden.

#### Literaturzitate

large rivers. in: I.G. Cowx (ed.): Developments in electric fishing. Fishing News Books: 197–209.

Schager E., Peter A. 2001/02: Bachforellensömmerlinge Phase I und Phase II. Fischnetz Publikation, Projekt «Netzwerk Fischrückgang Schweiz», Teilprojekte 00/12 und 01/12.

Schager E., Peter A. 2004: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer – Fische Stufe F (flächendeckend). BAFU Vollzug Umwelt, Mitteilungen zum Gewässerschutz 44: 1–63.

**A7-5 Fischereiliche Produktivität – Indikator F5**

Das theoretische fischereiliche Ertragsvermögen bezeichnet den «bei ideal zusammengesetzten Fischpopulationen unter optimaler Ausnützung des natürlichen Produktionsvermögens ... erzielbaren Maximalfang» (Roth 1985) und wird als Jahreshektarertrag (JHE) ausgewiesen. Die Schätzung des JHE stützt sich auf zahlreiche Grundlagenarbeiten (Lassleben 1977, Roth 1966, Staub 1985) und wurde im Kanton Graubünden für zahlreiche Fischgewässer angewendet (AJF-GR 2010). Die Methode wurde im Kanton Bern überarbeitet und auf alle Patentgewässer angewendet (Vuille 1997). Damit kann auf relativ einfache Weise bei beschränktem Aufwand die biologische Produktionsfähigkeit eines Gewässerabschnittes geschätzt werden. Verschiedene Parameter wie Abfluss, Fischregion, Temperaturbedingungen, Raumstrukturen und Nährstoffvorkommen (Quantität und Qualität) werden dabei berücksichtigt.

$$\text{JHE} = 10 * B_{\text{mod}} * k1 * k2 * k3$$

$B_{\text{mod}}$ : Bonitätsfaktor, modifiziert nach Vuille (1997), berechnet sich aus der Wirbellosenbiomasse ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) mit Korrekturfaktoren für die Zusammensetzung der Wirbellosengemeinschaft.

$k1$ : Temperaturkoeffizient

$k2$ : Lebensraumkoeffizient

$k3$ : Fischregion

Die notwendigen Grundlagen zur Berechnung des Bonitätsfaktors B werden mit dem Indikator B1 erhoben. Dabei kommt die Skala nach Roth (1966) zur Anwendung. Die Modifikation von B zur Qualität der Nährtiere richtet sich nach Vuille (1997).

Der Temperaturkoeffizient wird aufgrund von Messwerten des Bundes berechnet nach Vuille (1997).

Der Lebensraumkoeffizient bedingt eine Begehung des Gewässers und die Aufnahme verschiedener Parameter zu Breite, Tiefe, Strömungsverhältnissen, Substratzusammensetzung, Fischunterständen, Ufervegetation und Durchgängigkeit. Zusätzlich wird die Wasserführung über einen längeren Zeitraum berücksichtigt (Vuille 1997).

Die Fischregion wird aus Gewässerbreite und Gefälle berechnet (Huet 1949).

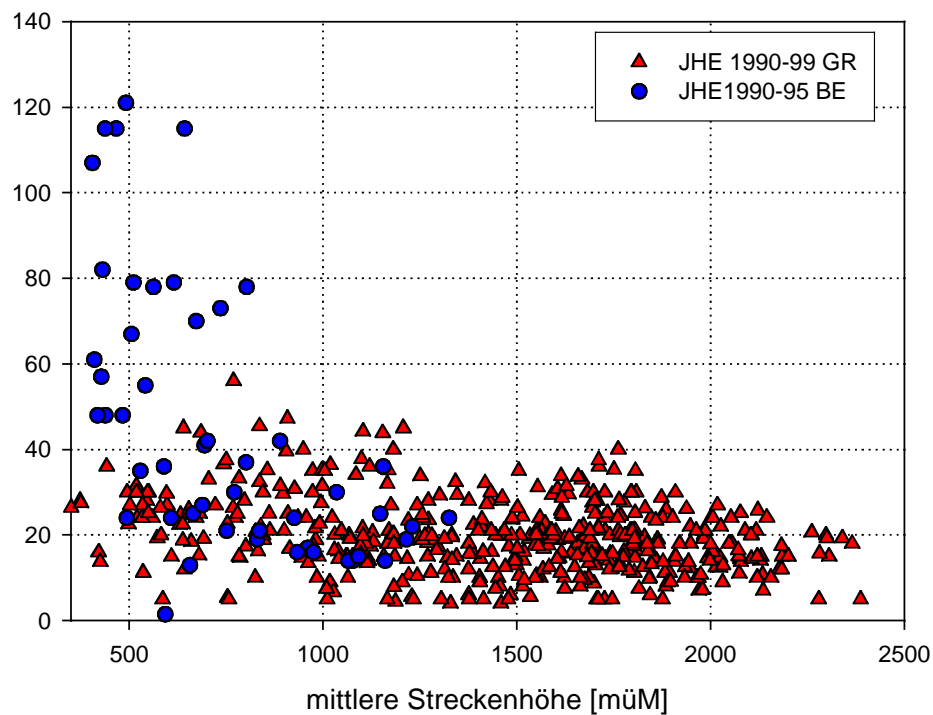
Der JHE wird geschätzt und mit Referenzwerten (aus Vuille, 1997 und Datenbank FJV-GR) verglichen. Dabei werden durchschnittliche Höhenlage und hydrologische Bedingungen mitberücksichtigt (Abb. A12).

Grundlagen

Erhebung

Auswertung und Darstellung  
der Resultate

**Abb. A12 > Zusammenhang zwischen geschätztem theoretischem fischereilichem Jahreshektarertrag (JHE) und mittlerer Höhenlage der Gewässerstrecken**



Die Bewertung stützt sich auf die Daten zur Bonitierung der Patentgewässer im Kanton Bern (Vuille 1997) und die Datenbank Bonitierung des Amtes für Jagd und Fischerei des Kantons Graubünden.

Bewertung

Bewertung	Zustand	Kriterium: Jahreshektarertrag JHE		
		Gewässer < 500 m.ü.M.	Gewässer 500–1000 m.ü.M.	Gewässer >1000 m.ü.M.
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:blue; border:1px solid black;"></span>	sehr gut	JHE ≥ 60 kg	JHE ≥ 40 kg	JHE ≥ 30 kg
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:green; border:1px solid black;"></span>	gut	60 kg > JHE ≥ 40 kg	40 kg > JHE ≥ 30 kg	30 kg > JHE ≥ 20 kg
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow; border:1px solid black;"></span>	mässig	40 kg > JHE ≥ 30 kg	30 kg > JHE ≥ 20 kg	200 kg > JHE ≥ 10 kg
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:orange; border:1px solid black;"></span>	unbefriedigend	30 kg > JHE ≥ 20 kg	20 kg > JHE ≥ 10 kg	10 kg > JHE ≥ 5 kg
<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span>	schlecht	JHE < 20 kg	JHE < 10 kg	JHE < 5 kg

**Literaturzitate**

- AJF-GR 2010: Datenbank zur Bonität der Fischgewässer. Amt für Jagd und Fischerei Graubünden.
- Huet M. 1949 : Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol. 11: 332–351.
- Lassleben P. 1977: Das Schätzverfahren für Fischwasser nach Leger und Huet. Österr. Fisch., 28:53–64
- Roth H. 1966: Beurteilung der Ertragsfähigkeit von Fliessgewässern. Sonderdruck Schweiz. Fischereizeitung: 16 S.
- Roth H. 1985: Schadenberechnung bei Fischsterben in Fliessgewässern. BUWAL Schriftenreihe Fischerei 44: 3–40.
- Staub E. 1985: Populationsaufbau in Forellenbächen. BUWAL Schriftenreihe Fischerei 44: 41–62.
- Vuille T. 1997: Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern. Bericht Fischereiinspektorat des Kantons Bern: 81 S.



**A7-6 Biomasse Makrozoobenthos – Indikator B1**

Die Biomasse (Nass- oder Frischgewicht) des Makrozoobenthos nimmt im Allgemeinen mit zunehmender Meereshöhe ab. Jungwirth et al. (1980) und Dückelmann (2001) haben die Entwicklung der Benthos-Biomasse in Abhängigkeit der Höhenlage für österreichische Fließgewässer näher untersucht und durch Sollkurven oder -bereiche ausgedrückt.

Grundlagen

Der Schwallbetrieb wirkt sich auf die Quantität, d.h. die Menge oder Häufigkeit der wirbellosen Organismen oft stärker aus als auf deren Qualität, also z. B. auf die Artenvielfalt oder -Zusammensetzung (Baumann & Klaus 2003). Nach Art. 41e Bst. b GSchV gilt es denn auch als wesentliche Beeinträchtigung, wenn die standortgerechte Menge der tierischen Lebensgemeinschaft durch den Schwallbetrieb nachteilig verändert wird.

Die standortgerechte Menge des Makrozoobenthos wird hier anhand der höhenabhängigen Sollwerte ermittelt.

Die Biomasse des Makrozoobenthos wird in denselben semi-quantitativen Makrozoobenthos-Proben bestimmt, die auch für den Indikator B2 (MSK-Modul Makrozoobenthos) entnommen werden. Die methodischen Vorgaben für die Probenentnahme richten sich somit ebenfalls nach Stucki (2010).

Erhebung

Nachdem eine Probe aussortiert und die Makroinvertebraten bestimmt und gezählt sind, werden alle Organismen einer Probe kurze Zeit auf einer saugfähigen Unterlage (Fließpapier) abgetropft und danach auf einer Laborwaage auf 1 mg genau gewogen (Frischgewicht). Wenn nur ein Teil der Probe ausgelesen wurde (splitting), ist dieses Gewicht auf die Gesamtprobe hochzurechnen. Köcherfliegen werden immer ohne Köcher gewogen, Mollusken (Wasserschnecken und Muscheln) hingegen mit der Schale bzw. dem Gehäuse.

Auswertung und Darstellung der Resultate

Eine Standardprobe nach dem MSK-Modul Makrozoobenthos umfasst normalerweise 8 Teilproben, die zusammen einer Sohlenfläche von 0,5 m<sup>2</sup> entsprechen sollten (Stucki 2010). Das Frischgewicht des Makrozoobenthos in der Probe wird auf die Einheitsfläche von 1 m<sup>2</sup> umgerechnet und in g/m<sup>2</sup> angegeben.

Der Sollwert der Biomasse in Abhängigkeit der Höhenlage wird nach der Formel aus Jungwirth et al. (1980) wie folgt berechnet:

$$BM = \frac{1}{(0.000261 * H) - 0.032}$$

wobei BM = Biomasse (Frischgewicht) in g/m<sup>2</sup>  
und H = Meereshöhe in m.ü.M.

Eine spezielle Darstellung der Resultate ist nicht notwendig.

Die hier verwendete Beziehung zwischen Meereshöhe und Benthos-Biomasse nach Jungwirth et al. (1980) wurde ursprünglich für niederösterreichische Gewässer ermittelt. Gemäss den umfangreicheren Auswertungen von Dückelmann (2001) für verschiedenartige Gewässer der Ökoregion «Alpen» nach Illies (1978) liegt diese Beziehung v. a. für Höhenlagen unterhalb von 1000 m.ü.M. eher im unteren Bereich der Erwartungswerte. Die Erwartungs- bzw. Sollwerte sind hier also eher konservativ angesetzt und werden in vielen Gewässern natürlicherweise übertroffen.






Bewertung

Diese österreichischen Sollwerte beruhen zudem grossenteils auf quantitativen Proben mittels Surber- oder Hess-Sampler. In semiquantitativen Proben des Makrozoobenthos (Multi-Habitat-Sampling) mittels Kicknetz, wie sie für den vorliegenden Indikator erhoben werden, liegen die Bio-massen oft alleine schon aufgrund dieser unterschiedlichen Entnahmemethode etwas unter den Erwartungen (Wolfram Graf, mündliche Angaben). Diese methodisch bedingte Unterschätzung der Benthos-Biomasse wird mit der Verwendung der etwas tieferen Sollwerte nach Jungwirth et al. (1980) tendenziell kompensiert.

Da die Schweiz noch fast vollständig zur Ökoregion «Alpen» zählt, kann die nachfolgende Bewertung für die meisten schweizerischen Gewässer angewandt werden (einschliesslich der Alpensüdseite). Nicht oder nur eingeschränkt gilt dies allerdings

- > für die oft sehr produktiven Gewässer im Jura, der schon zur Ökoregion «westliches Mittelgebirge» zählt und in den österreichischen Datensätzen demzufolge nicht vertreten ist. Auswertungen von Biomasse-Daten aus anthropogen möglichst wenig beeinträchtigten Gewässern im Jura (Kantone Bern, Jura und Basel-Land) haben gezeigt, dass diese Werte viel stärker von der Seehöhen/Biomassen-Beziehungen abweichen als in der Ökoregion «Alpen».
- > für stark durch Gletscher beeinflusste, alpine Gewässer, die wegen der vor allem im Sommerhalbjahr ausgesprochen harschen Lebensbedingungen oft auch natürlicherweise tiefe Benthos-Biomassen aufweisen. Ein starker Einfluss kann bei einer Vergletscherung des Einzugsgebietes von > 20 % angenommen werden (Füreder et al. 2002, Füreder 2007).

Bei diesen Gewässertypen kann der Indikator B1 deshalb nicht bewertet werden. Eine Bestimmung der Benthos-Biomasse kann aber auch dann trotzdem notwendig sein, wenn sie zur Berechnung der fischereilichen Produktivität (Indikator F5) gebraucht wird.

Bewertung	Zustand	Kriterium: Anteil an der Soll-Biomasse
	sehr gut	> 80 % der Soll-Biomasse
	gut	> 60 bis 80 % der Soll-Biomasse
	mässig	> 45 bis 60 % der Soll-Biomasse
	unbefriedigend	30 bis 45 % der Soll-Biomasse
	schlecht	< 30 % der Soll-Biomasse

#### Literaturzitate

Baumann P., Klaus I. 2003: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes: Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 175, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–112.

Dückelmann H. 2001: Seehöhen-Biomassen-Beziehung des Makrozoobenthos in österreichischen Fliessgewässern. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, 1–81.

Füreder L., Vacha C., Amprosi K., Bühler S., Hansen, C.M.E., Moritz Ch. 2002: Reference conditions of alpine streams: Physical habitat and ecology. Water, Air and Soil Pollution: Focus 2: 275–294.

Füreder L. 2007: Life at the Edge: Habitat condition and Bottom Fauna of Alpine Running Waters. Internat. Rev. Hydrobiol. 92: 491–513.

Illies J. 1978: Limnofauna Europaea, 2. Auflage. Fischer Verlag, Stuttgart.

Jungwirth M., Moog O., Winkler H. 1980: Vergleichende Fischbestandsaufnahmen an elf niederösterreichischen Fliessgewässerstrecken. Jubiläumsschrift der Österreichischen Fischereigesellschaft, Wien, 81–104.

Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026, 1–61.

**A7-7 MSK-Modul Makrozoobenthos – Indikator B2**

Das Modul-Stufen-Konzept des Bundes zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer umfasst auch eine einheitliche Methode für das Makrozoobenthos auf Stufe F (flächendeckend). Die Bewertung erfolgt dabei anhand des Index' IBCH, einer auf schweizerische Verhältnisse zugeschnittenen Version des französischen Indice biologique global normalisé (IBGN). Das Makrozoobenthos wird mittels Kicknetz semi-quantitativ beprobt und die Probe im Labor nach einem vorgegebenen Ablauf untersucht. Die Bestimmung der wirbellosen Organismen (Makroinvertebraten) erfolgt bis auf das Niveau der Familie oder von höheren taxonomischen Gruppen. Für die Bewertung sind einerseits die gefundene Anzahl von Invertebraten-Familien oder -Gruppen und andererseits das Vorkommen bestimmter Indikator-Familien oder -Gruppen massgebend ( $\sum t$  und GI; Stucki 2010).

Grundlagen

Mit der Anzahl Familien oder Gruppen wird bis zu einem gewissen Grad auch die standortgerechte Vielfalt der tierischen Lebensgemeinschaft bewertet, wie sie in Art. 41e Bst. b GSchV gefordert ist.

Die methodischen und zeitlichen Vorgaben für die Probenentnahme sind in Stucki (2010) angeführt. Diese Methode ist allerdings auf watbare Gewässer beschränkt. Für grössere Fliessgewässer muss das Vorgehen deshalb angepasst werden. Wie z.B. Untersuchungen am Alpenrhein gezeigt haben, wird die zentrale, tiefe und ohne Boot deshalb auch bei tiefem Wasserstand nicht zugängliche Fliessrinne vom Makrozoobenthos nur schwach besiedelt (ARGE Trübung Alpenrhein 2001). In solchen Fällen kann die Probenahme nach Stucki (2010) deshalb auf die bei Sunk noch watbaren, ufernäheren Bereiche beschränkt werden.

Erhebung

Die Auswertung der Proben erfolgt nach Stucki (2010).

Auswertung und Darstellung der Resultate

Eine spezielle Darstellung der Resultate ist nicht notwendig.

Die Matrix für die Bewertung anhand von  $\sum t$  und GI findet sich in Stucki (2010).

Bewertung

**Literaturzitate**

ARGE Trübung Alpenrhein 2001: Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht, Fachberichte und Literaturstudie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, Projektordner.

Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026, 1–61.

**A7-8 Längenzonation Makrozoobenthos – Indikator B3**

Im Verlauf eines Fließgewässers folgen sich von der Quelle bis zur Mündung natürlicherweise verschiedene biozönotische Regionen, die oft auch anhand ihrer Leitfischarten benannt werden (vgl. Indikator F1). Unterschieden werden im Längsverlauf grob das Krenal (Quellregion), das Rhithral (Forellen- bis Äschenregion) und das Potamal (Barben- bis Brachsenregion). Jede dieser Regionen ist ihrerseits nochmals in zwei bis drei Unterregionen aufgeteilt, die jeweils auch eine mehr oder weniger typische Zusammensetzung des Makrozoobenthos aufweisen (Moog 2002). Diese Längenzonation kann dazu verwendet werden, um die standortgerechte Zusammensetzung der tierischen Lebensgemeinschaft nach Art. 41e Bst. b GSchV zu überprüfen.

Grundlagen

In stark durch Schwall und Sunk beeinflussten Gewässern kann die natürliche Abfolge der biozönotischen Regionen gestört werden. In der Regel wird die Zusammensetzung des Makrozoobenthos dabei in Richtung der weiter flussaufwärts gelegenen Regionen verschoben («Rhithralisierung»; Moog & Chovanec 2000, Céréghino et al. 2002).

Die längenzonale Einstufung des Makrozoobenthos wird in denselben semi-quantitativen Makrozoobenthos-Proben bestimmt, die auch für den Indikator B2 (MSK-Modul Makrozoobenthos) entnommen werden. Die methodischen und zeitlichen Vorgaben für die Probenentnahme richten sich somit ebenfalls nach Stucki (2010).

Erhebung

Das Untersuchungsgewässer wird zunächst anhand der abiotischen Kenngrößen Breite, Gefälle und allenfalls Temperatur einer bestimmten biozönotischen Region zugeordnet (vgl. Indikator F1).

Auswertung und Darstellung der Resultate

Für die längenzonale Einstufung anhand des Makrozoobenthos müssen die wirbellosen Organismen aus der MSK-Probe genauer bestimmt werden als für die übrigen Benthos-Indikatoren. Soweit mit vertretbarem Aufwand möglich, ist die Bestimmung bis auf Art- oder zumindest Gattungsniveau durchzuführen. Für die ausreichend genau bestimmten Taxa kann die längenzonale Einstufung aus Moog (2002) entnommen und nach Moog & Ofenböck (2003) zu einem integrierenden Längenzonationsindex (LZI) für die ganze Probe verrechnet werden. Dabei entspricht jede ganze Zahl zwischen 1 und 8 genau einer Fließgewässerregion zwischen Eukrenal (= 1) und Hypopotamal (= 8). Die beiden nachfolgenden Regionen bzw. Zahlen Litoral (= 9) und Profundal (= 10) betreffen Stillwasser(-bereiche) und sind für den vorliegenden Indikator kaum je von Bedeutung.






Mt dem österreichischen Auswertungsprogramm ECOPROF kann der LZI direkt aus den aufbereiteten Rohdaten der Benthosprobe bestimmt werden ([www.ecoprof.at](http://www.ecoprof.at)).

Die längenzonale Einstufung des LZI wird auf eine Stelle nach dem Komma angegeben und die Einstufung anhand der abiotischen Kenngrößen auf ganze oder allenfalls halbe Stufe. Beide Kennwerte schliessen damit auch Übergänge zwischen den biozönotischen Regionen ein.

Eine spezielle Darstellung der Resultate ist nicht notwendig.

Für die Bewertung wird die Abweichung des LZI von der aus Breite, Gefälle und ev. Temperatur bestimmten biozönotischen Region (Sollwert) ermittelt. Der LZI wird dabei auf eine Stelle nach dem Komma und die biozönotische Region in ganzen Stufen (siehe «Auswertung und Darstellung der Resultate») oder, am Übergang zwischen zwei Regionen, in halben Stufen angegeben.

Bewertung

Bewertung	Zustand	Kriterium: Abweichung vom Sollwert
	sehr gut	$< \pm 0,25$ Einheiten
	gut	$\pm 0,25$ bis $< \pm 0,5$ Einheiten
	mässig	$\pm 0,5$ bis $< \pm 0,75$ Einheiten
	unbefriedigend	$\pm 0,75$ bis $\pm 1$ Einheit
	schlecht	$> 1$ Einheit

Liegt die Abweichung an der Grenze des «zulässigen» Bereiches (um 0,5 Einheiten), so kann die Bestimmung der biozönotischen Region u.U. mit Hilfe der Nomogramme in Marrer (1981) noch verfeinert werden. Dazu sind allerdings, neben der Breite und dem Gefälle, zusätzlich Angaben zur mittleren Wassertemperatur des wärmsten Monats und zur Entfernung der Messstelle von der Quelle notwendig. Nach Müller (2011) stimmen die Resultate der Bestimmung nach diesen Nomogrammen im Allgemeinen gut mit jenen der reinen Bestimmung nach Breite und Gefälle überein.

#### Literaturzitate

Céréghino R., Cugny P., Lavandier P. 2002: Influence of intermittent hydropeaking on the longitudinal zonation patterns of benthic invertebrates in a mountain stream. *Internat. Rev. Hydrobiol.* 87, 47–60.

Marrer H. 1981: Vorschläge für Massnahmen im Interesse der Fischerei bei technischen Eingriffen in Gewässer. Veröffentlichung Nr. 40 des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereinspektion, Bern, 1–79.

Moog O. (Ed.) 2002: Fauna Aquatica Austriaca, 2. Lieferung. Wasserwirtschaftskataster, herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Loseblattordner.

Moog O., Chovanec A. 2000: Assessing the ecological integrity of rivers: walking the line

among ecological, political and administrative interests. *Hydrobiologia* 422/423, 99–109.

Moog O., Ofenböck T. 2003: Calculation of longitudinal zonation patterns. Fauna Aquatica Austriaca, Ergänzungen 2003. Wasserwirtschaftskataster, herausgegeben vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1–6.

Müller V. 2011: Erarbeitung eines anthropogen unbeeinflussten, typischen Jahresgangs der Wassertemperatur nach biozönotischen Regionen. Masterprojektarbeit für den Studiengang Umwelt-naturwissenschaften an der ETH Zürich, 1–58.

Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026, 1–61.

**A7-9 EPT-Familien Makrozoobenthos – Indikator B4**

Die im Wasser lebenden Larven der Insekten-Ordnungen Eintagsfliegen (Ephemeroptera), Steinfliegen (Plecoptera) und Köcherfliegen (Trichoptera), zusammen als EPT bezeichnet, sind gegenüber verschiedenartigen Beeinträchtigungen der Wasser- und Gewässerqualität empfindlicher (sensitiver) als viele andere aquatische Organismen. Sie stellen deshalb gute Indikatoren für die ökologische Funktionsfähigkeit eines Gewässers dar und werden entsprechend oft zur Bewertung des Gewässerzustandes verwendet. Anthropogen bedingte, aber sonst nicht näher definierte hydromorphologische Veränderungen scheinen die EPT allerdings besser anzuzeigen als die spezifischen Auswirkungen des Schwallbetriebes (Bannhofer 2000, Hering et al. 2006).

Für die Bewertung mit EPT werden ganz unterschiedliche Kenngrößen (Indices) verwendet, z. B. die Anzahl verteilter taxonomischer Einheiten (EPT-Taxa), der Anteil EPT-Taxa oder -Individuen am gesamten Makrozoobenthos, das Verhältnis der Taxa von EPT-Taxa zu anderen Invertebraten-Gruppen usw. (Bannhofer 2000).

Einer dieser Indices ist die in einem Gewässer festgestellte Anzahl von Familien aus den drei Gruppen (Anzahl EPT-Familien). Sie ist ein grobes Mass für die Vielfalt an sensitiven Organismen. Die Zugehörigkeit einer Larve zu einer der EPT-Familien ist ohne grossen Aufwand und in der Regel auch schon für junge Larvenstadien ohne Schwierigkeiten zu erkennen. Die Bestimmung der EPT-Familien hängt deshalb weniger von der Erfahrung der Bearbeiter und der verfügbaren Zeit für die Probenverarbeitung ab als die Bestimmung der Gattungen oder gar der Art (wie sie etwa für die Zahl der EPT-Taxa notwendig ist).

In einem Ansatz zur Modellierung der Auswirkungen verschiedener schwalldämpfender und flussbaulicher Massnahmen auf die aquatische Lebensgemeinschaft der Rhone ist auch die Zahl der EPT-Familien als ökologischer Indikator verwendet worden (Pellaud 2007).

Mit der Anzahl EPT-Familien wird bis zu einem gewissen Grad auch die standortgerechte Vielfalt der tierischen Lebensgemeinschaft bewertet, wie sie in Art. 41e Bst. b GSchV gefordert ist.

Die Anzahl der EPT-Familien wird in denselben semi-quantitativen Makrozoobenthos-Proben bestimmt, die im Rahmen des Schnelltests auch für den Indikator B2 (MSK-Modul Makrozoobenthos) entnommen werden. Die methodischen und zeitlichen Vorgaben für die Probenentnahme richten sich somit ebenfalls nach Stucki (2010).

Die Auszählung der Makrozoobenthos-Proben und die Bestimmung der Organismen bis auf Familienniveau wird auch für den Indikator B2 (MSK-Modul Makrozoobenthos) durchgeführt und richtet sich entsprechend nach den Vorgaben in Stucki (2010).

Die in einer Probe vorhandene Anzahl der Familien aus den Ordnungen der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen ist für den vorliegenden Indikator massgebend. Dabei werden, ebenso wie für die Bestimmung der Diversitätsklasse (DK) bei Indikator B2, alle ausreichend genau bestimmten Individuen gezählt, also auch Einzelfunde.

Grundlagen

Erhebung

Auswertung und Darstellung  
der Resultate

---

Eine spezielle Darstellung der Resultate ist nicht notwendig.

Als Grundlage für die Bewertung dienen in erster Linie Makrozoobenthos-Daten aus Fließgewässern des Fürstentums Liechtenstein und des Kantons Waadt für das Zeitfenster von Februar bis April (Abb. A13). Es handelt sich dabei überwiegend um hydrologisch unbeeinflusste Strecken mit sehr unterschiedlicher Wasserqualität. In diesen Gewässern ist die Anzahl EPT-Familien recht eng mit dem Index IBCH des Indikators B2 korreliert.

Bewertung

Zum Vergleich sind in Abb. A13 auch einige Daten aus alpinen und voralpinen Gewässern der Nordseite und des Tessins für das Zeitfenster von März bis Juni eingetragen. Diese Daten zeigen einen recht ähnlichen Streubereich. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die schweizerischen Gewässer grundsätzlich nach derselben Skala bewertet werden können.

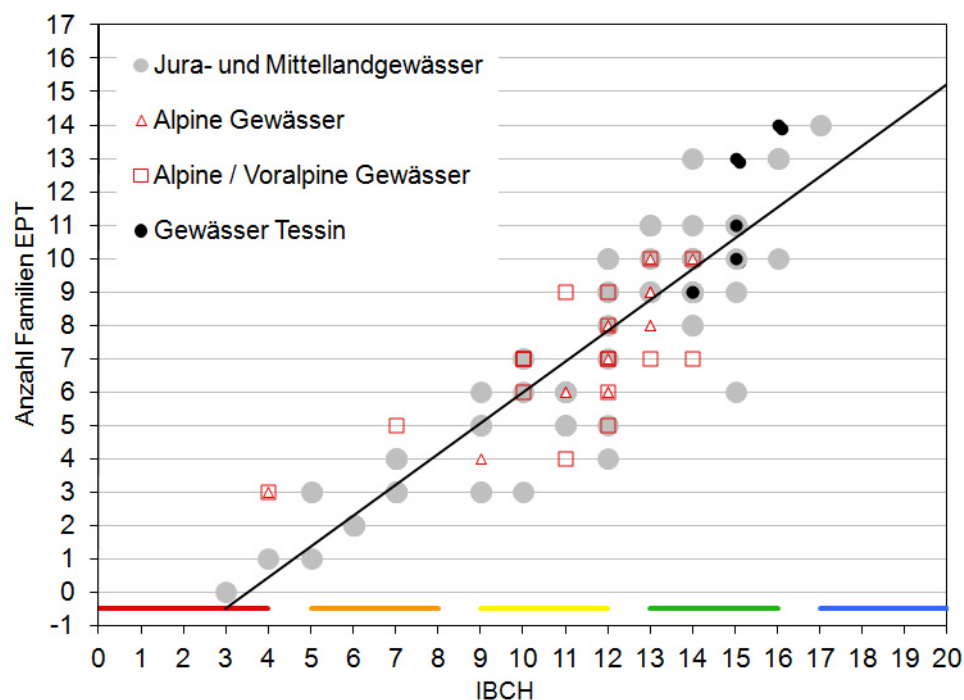
Nur eingeschränkt anwendbar dürfte der Indikator allerdings bei Gewässern mit starkem Gletscher-Einfluss sein, in denen oft nicht nur die Biomasse (siehe Indikator B1), sondern auch die Taxazahl des gesamten Makrozoobenthos und damit in der Regel auch die Zahl der EPT-Familien deutlich vermindert ist (Füreder et al. 2002, Jacobsen & Dangles 2011).

Durch einen starken Schwalleinfluss wird die Anzahl EPT-Familien häufig ebenfalls reduziert, während der IBCH, der v. a. auf die Wasserqualität anspricht (Limnex 2007), ebenso oft keine Beeinträchtigung anzeigt. Die Anzahl EPT-Familien ist als Indikator für Schwallstrecken somit besser geeignet.








**Abb. A13 > Anzahl EPT-Familien und IBCH gemäss Indikator B2 in verschiedenen Schweizer und Liechtensteiner Gewässern**

Bei der X-Achse ist die Einteilung des Gewässerzustandes aufgrund des IBCH mit den entsprechenden Signalfarben angegeben (vgl. Anhang A2-2).



Aus Abb. A13 und aus den gut damit vergleichbaren Auswertungen von Bannhofer (2000) ergibt sich folgende Bewertung aufgrund der Anzahl EPT-Familien:

Bewertung	Zustand	Kriterium: Anzahl EPT-Familien
	sehr gut	> 12 EPT-Familien
	gut	8–12 EPT-Familien
	mässig	5–7 EPT-Familien
	unbefriedigend	2–4 EPT-Familien
	schlecht	< 2 EPT-Familien

**Literaturzitate**

- Bannhofer G. 2000: Die Anwendung von EPT-Konzepten für die Charakteristik österreichischer Fließgewässer. Dissertation, Abteilung für Hydrobiologie, Fischereiwirtschaft und Aquakultur, Universität für Bodenkultur, Wien, 1–211.
- Füreder L., Vacha C., Amprosi K., Bühler S., Hansen, C.M.E., Moritz Ch. 2002: Reference conditions of alpine streams: Physical habitat and ecology. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 2: 275–294.
- Hering D., Johnson R.K., Kramm S., Schmutz S., Szoszkiewicz K., Verdonschot P.F.M. 2006: Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshw. Biol.* 51: 1757–1785.
- Jacobsen D., Dangles O. 2011: Environmental harshness and global richness patterns in glacier-fed streams. *Global Ecol. Biogeogr.* DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.00699.x.
- Limnex 2007: Morphologie und Schwallbetrieb in Fließgewässern. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Wasser, Bern, 1–70.
- Pellaud M. 2007: Ecological response of a multi-purpose river development project using macroinvertebrates richness and fish habitat value. Thèse No. 3807, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1–193.
- Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fließgewässer. Makrozoobenthos Stufe F. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026, 1–61.

**A7-10 Innere Kolmation – Indikator H1**

Die innere Kolmation von Fliessgewässersohlen wird im Wesentlichen beeinflusst durch die Schwebstoffkonzentration des Abflusses, die Sohlenschubspannung, den hydraulischen Gradienten der Sickerströmung und die Zusammensetzung des Sohlenmaterials. Voraussetzung für die Entwicklung einer inneren Kolmation sind ein gewisser Schwebstoffgehalt im Wasser, eine Infiltration von Flusswasser zum Grundwasser und eine fehlende äussere Kolmation.

Grundlagen

Mit dem Kraftwerkschwall werden die Sohlenschubspannung und der hydraulische Gradient erhöht. Die Schwebstoffkonzentration kann insbesondere bei starken Abflussänderungen (Schwallanstieg und -rückgang) aber auch bei konstantem Schwallabfluss gegenüber dem unbeeinflussten Zustand deutlich erhöht sein. Alle drei Einflüsse führen zu einem verstärkten Eintrag von Feinpartikeln in das Porensystem der Sohle und damit zu einer stärkeren inneren Kolmation verglichen mit dem Zustand ohne Kraftwerkschwall. Die Feinpartikel werden in einer geringmächtigen Schicht unter der Deckschicht ausfiltriert.

Mit zunehmender innerer Kolmation wird das Substrat weniger durchströmt, und die Sauerstoffzufuhr in den Porenraum nimmt ab. Dadurch kann der Reproduktionserfolg von kieslaichenden Fischen beeinträchtigt werden.

Für den Reproduktionserfolg von Forellen massgebend sind die Kolmationsverhältnisse während der Wintermonate. In Abhängigkeit des Abflussregimes ist in dieser Zeit ein klarer Niederwasserabfluss mehr oder weniger vorherrschend. Einzig bei Regen oder Schneeschmelze in erosionsanfälligen Gerinneabhängungen kann es im Gewässer zu einem starken Anstieg der Trübung kommen. Ein Teil der Schwebstoffe wird im Vorfluter in Ruhigwasserbereichen auf der Sohle abgelagert, wodurch (ohne weitere seitliche Einträge) die Schwebstoffkonzentration in Fliessrichtung wieder abnimmt.

Mit dem Kraftwerkschwall können die in das Gewässer eingetragenen Schwebstoffe weiter transportiert und abgelagerte Feinsedimente resuspendiert werden. Dadurch kann es bei jedem Schwallereignis zu einem Anstieg der Schwebstoffkonzentration kommen.

Massgebend zur Beurteilung der Auswirkungen des Kraftwerkschwalls auf die innere Kolmation der Gewässersohle ist die Schwebstoffkonzentration des Abflusses vor und während einer Schwallganglinie im Hochwinter (Mitte Dezember – Februar bei kalter Witterung).

Erhebung

Art der Messung:

Entnahme von Flaschenproben aus der fliessenden Welle oder Installation einer gezielten Sonde. Die Probenahme hat an einem gut angeströmten Ufer mit hoher Turbulenz oder in der Hauptströmung zu erfolgen.

Neben der Schwebstoffkonzentration ist der Verlauf des Abflusses durch Abfluss- oder Pegelmessungen zu erfassen.

Zeitfenster der Messung:

Stündliche Messungen vorzugsweise am Montag von frühmorgens bis abends. Die ersten 2–3 Probenahmen sind vor Beginn des Kraftwerkschwalls durchzuführen. Es ist zu prüfen, dass bei den Kraftwerken kein Wasser turbinert wird und keine Spülungen erfolgen.

Ort der Messungen:

An mehreren Stellen der schwallbeeinflussten Strecke und soweit repräsentativ für den unbeeinflussten Zustand im Oberwasser der Triebwasserrückgabe.

Der Verlauf des Abflusses ist an mindestens einer Stelle zu erfassen.

Wiederholung der Messungen:

Es sind mindestens 2 Messkampagnen durchzuführen. Je nach Resultat ist eine weitere Messkampagne erforderlich.

Die Proben werden bezüglich des Gehalts an gesamten ungelösten Stoffen GUS (Schwebstoffkonzentration) in mg/l Trockensubstanz ausgewertet und für alle Standorte zusammen mit dem Verlauf des Abflusses (Abfluss oder Wasserstand) in Funktion der Zeit dargestellt.

Auswertung und Darstellung  
der Resultate

Aus den Daten werden für alle Standorte repräsentative Schwebstoffkonzentrationen bei Sunk und bei Schwall ermittelt. Beim Schwall sind in der Regel die Verhältnisse beim Schwallanstieg massgebend (höchste Schwebstoffkonzentration).

Als Bewertungsgrundlage dienen Messungen der Schwebstoffkonzentration im Einzugsgebiet von Alpenrhein und Rhone, Auswertungen des Reproduktionserfolges von Seeforelleneiern in Vibertboxen sowie Kolmationsberechnungen im Alpenrhein (ARGE Trübung Alpenrhein 2001 und Schälchli, Abegg + Hunzinger 2007).

Bewertung

Aus den Untersuchungen am Alpenrhein wurde eine Beziehung zwischen der Schwebstoff-Konzentration bei Schwall und der Entwicklung der inneren Kolmation (während des Winterhalbjahres) hergeleitet (Abb. A14). Die innere Kolmation wird in einer 15-stufigen Skala bewertet und in die 5 Stufen (1) keine, (2) geringe, (3) erhebliche, (4) starke und (5) sehr starke Kolmation eingeteilt (Signalfarben blau bis rot).

Bei keiner Kolmation ist der Reproduktionserfolg als sehr gut, bei geringer Kolmation als gut und bei erheblicher Kolmation (Kolmationsstufen 6 und 7) als gering (ungenügend) zu bezeichnen. Ab Kolmationsstufe 8 ist infolge zu starker innerer Kolmation keine Reproduktion mehr möglich.

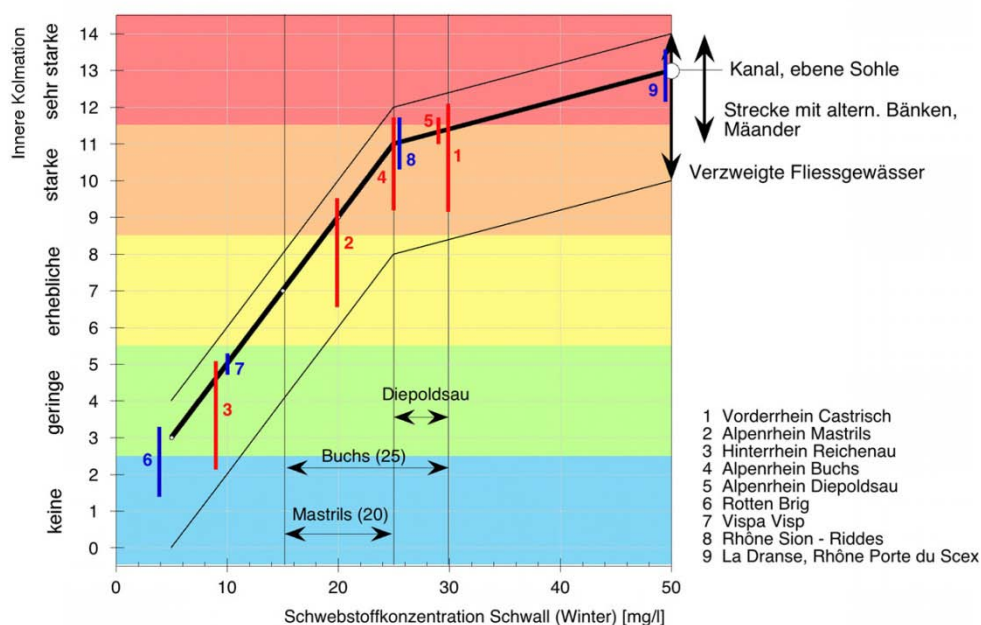
Der Zusammenhang zwischen der Schwebstoffkonzentration bei Schwall und der inneren Kolmation wird mit einem Band dargestellt. Damit wird der Einfluss der Morphologie berücksichtigt. Die stärkste Kolmationsentwicklung findet in Furten (oberer Bereich), eine mittlere Kolmation in Rinnen (mittlerer Bereich) und eine vergleichsweise geringe Kolmation in Schnellen (unterer Bereich) statt. In kanalisiertes Strecken mit ebener Sohle entwickelt sich die Kolmation zwischen derjenigen in der Furt und der Rinne. Dementsprechend ist in verzweigten Gewässerabschnitten eine

grössere Variation der Kolmation mit örtlich geringerer Kolmationsentwicklung zu erwarten als in Strecken mit alternierenden Bänken und in kanalisierten Abschnitten.

Erreicht die Schwebstoffkonzentration bei Niederwasserabfluss im unbeeinflussten Zustand, resp. bei ausreichend langem Sunk Werte, wo eine erhebliche innere Kolmation zu erwarten ist, so lässt sich aufgrund von Indikator H1 keine wesentliche Beeinträchtigung durch den Kraftwerkschwall begründen. Der Grenzwert liegt im Bereich von 15 mg/l.

In Abb. A14 rot eingezeichnet sind Erhebungen an Vorder-, Hinter- und Alpenrhein. Blau eingezeichnet sind Erhebungen an der Rhone. Dementsprechend ist am Hinterrhein bei Rhäzüns, am Rotten bei Brig und an der Vispa bei Visp auch mit Schwall maximal von geringer Kolmation auszugehen. Dabei ist anzumerken, dass die angegebenen Schwebstoffkonzentrationen bei Schwall am Alpenrhein auf mehreren Messkampagnen, diejenigen an Vorder- und Hinterrhein sowie an der Rhone aber nur auf einer Messkampagne beruhen. Bei letzteren sind also zusätzliche Messungen erforderlich.

**Abb. A14 > Beurteilung der inneren Kolmation anhand der Schwebstoffkonzentration beim Schwall (Anstieg) an einem kalten Wintermorgen**



#### Literaturzitate

ARGE Trübung Alpenrhein 2001: Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht, Fachberichte und Literaturstudie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, Projektordner.

Schälchli, Abegg + Hunzinger 2007: 3. Rhonekorrektur, Sachbereich Kolmation, Zwischenbericht 2. Situationsanalyse Trübung. Im Auftrag des Departements für Verkehr, Bau und Umwelt des Kantons Wallis.

**A7-11 Mindestabfluss – Indikator A1**

## Grundlagen

Das Gewässerschutzgesetz (GSchG) regelt in Art. 31–33 die Festsetzung der Restwassermengen in Entnahmestrecken von Wasserkraftwerken. Diese 1992 in Kraft getretenen Bestimmungen werden seither jeweils bei der Erneuerung einer Wasserrechtskonzession angewandt. Bei bestehenden Wasserentnahmen, welche ein Gewässer wesentlich beeinflussen, sieht das Gesetz in Art. 80–83 eine Sanierung vor. Dabei werden die Restwassermengen im Allgemeinen tiefer angesetzt als nach Art. 31–33 GSchG (Abb. A15).

Bei vielen schwallerzeugenden Zentralen ist das betroffene Fliessgewässer vor der Wasserrückgabe eine Restwasserstrecke, die nach der Wasserrückgabe abrupt in eine Schwallstrecke übergeht. Deshalb ist die Mindestwassermenge, die am Ende der Restwasserstrecke abfließt, oft auch gleichzeitig der Sunkabfluss in der anschliessenden Schwallstrecke. Ausnahmen davon sind etwa

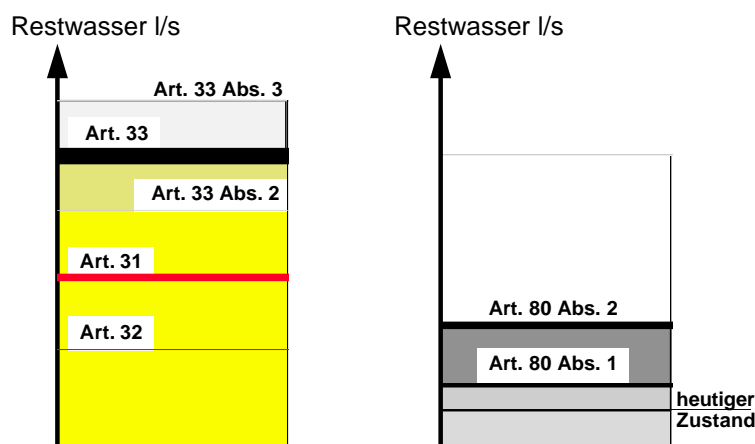
- > Situationen, in denen das Betriebswasser nicht in dasselbe Gewässer zurückgegeben wird, aus dem es entnommen wurde (sondern z. B. in ein benachbartes Tal oder ein unterliegendes, grösseres Gewässer übergeleitet wird);
- > Zentralen, die zusätzlich zum Speicherbetrieb auch noch eine (meist kleinere) Laufstufe umfassen und damit den Sunkabfluss ständig über die zufließende Restwassermenge hinaus aufbessern.

Die Frist, innert der die Kantone die Restwassersanierungen für laufende Konzessionen umsetzen müssen, läuft bis zum 31. Dezember 2012. Bis zum Abschluss der kantonalen Planungen im Bereich Schwall und Sunk, also bis am 31. Dezember 2014, sollten somit alle kantonalen Restwasser-Sanierungen umgesetzt sein. Damit wären dann auch die Restwassermengen und entsprechend die Sunkabflüsse überall mindestens auf dem Stand nach Art. 80–83 GSchG (Abb. A15).

Nach Art. 83a GSchG gelten für bestehende Anlagen nach der Schwall-Sanierung dieselben Anforderungen wie für neue Anlagen. Das bedeutet, dass der Sunkabfluss ab Zentrale im Rahmen der Schwall-Sanierung schon auf jenen Stand heraufgesetzt werden muss, der zur Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigungen notwendig ist – unabhängig davon, ob die Restwassermenge ab Fassung bis dahin schon an das Niveau einer Konzessionserneuerung angepasst ist oder nicht.

Im Ticino wurde festgestellt, dass die Auswirkungen des Schwallbetriebes stark zunehmen, wenn der Sunkabfluss unter die Mindestrestwassermenge nach Art. 31 GSchG sinkt (OIKOS 2010).

**Abb. A15 > Vergleich zwischen dem Standard für die Restwassermengen bei Konzessionserneuerungen nach Art. 31–33 (links) und bei Sanierungen nach Art. 80 GSchG (rechts)**



Aus BUWAL 1997

Mit dem Indikator A1 wird untersucht, ob der Sunkabfluss ein gewässerökologisch begründetes Minimum einhält oder unterschreitet. Die Anforderungen an einen minimalen Sunkabfluss orientieren sich dabei an der Mindestrestwassermenge nach Art. 31–33 GSchG. In vielen Fällen werden diese Anforderungen heute schon erfüllt oder übertroffen (Limnex 2007).

Der minimale Sunkabfluss entspricht der Mindestrestwassermenge gemäss Art. 31–33 GSchG und wird nach dem bei Konzessionserneuerungen von Wasserkraftwerken üblichen Vorgehen bestimmt. Für den vorliegenden Indikator ist dabei nicht die Restwassermenge nach der Fassung (am Anfang der Restwasserstrecke), sondern die Menge unmittelbar vor der Wasserrückgabe (am Ende der Restwasserstrecke) massgebend. Das Verfahren zur Festlegung der Restwassermengen (ab Fassung) wird durch die Schwall-Sanierung ausdrücklich nicht vorweggenommen.

Erhebung

Einzelheiten zur Bestimmung der Mindestrestwassermenge finden sich in der Wegleitung von Estoppey et al. (2000). Vogel et al. (2004) führen zahlreiche Resultate von Erfolgskontrollen in Gewässern auf, die nach diesen gesetzlichen Anforderungen dotiert werden.

Spezielle Auswertungen betreffen zwei Punkte, die nach Art. 31 Abs. 2 oder Art. 33 Abs. 3 GSchG zu einer (zumindest zeitweisen) Erhöhung der Mindestrestwassermenge bzw. des minimalen Sunkabflusses führen können:

Auswertung und Darstellung der Resultate

- > In gewissen Schwallstrecken geht der minimale Sunkabfluss über die Festtage von Weihnachten bis Neujahr deutlich unter die übliche Niederwasserführung in der Nacht oder während des Wochenendes zurück («Weihnachtstief»). Dieses vorübergehende Unterschreiten der sonst gewährleisteten Mindestabflüsse ist v. a. für die natürliche Reproduktion der Fische kritisch und aus ökologischer Sicht grundsätzlich unerwünscht (Limnex 2007). Wie sich die Überbrückung von einzelnen Feiertagen auf die Dimensionierung der Ausgleichsbecken auswirken kann, wird in An-

hang 5 behandelt. Die Überbrückung eines tagelang andauernden «Weihnachtstiefs» aus einem Ausgleichsbecken heraus ist vermutlich nur selten möglich, da eine durchgehende Anhebung des Sunkabflusses auf die «normale» Höhe über mehrere Tage unverhältnismässig grosse Wasser- bzw. Speichervolumina benötigen würde (VAW & LCH 2006).



- Die bei Sunk noch verbleibende benetzte Breite bzw. Fläche kann v. a. in naturnahen bis natürlichen Gerinnen gegenüber dem Zustand bei Schwall oder gegenüber dem natürlichen Abfluss ausserordentlich stark abnehmen (z. B. Rupf 1998). Das kann sich u.a. auch auf morphologisch noch naturnahe Flussauen auswirken, in deren ausgedehnten, bei Schwall benetzten und bei Sunk trockenfallenden Sohlenbereichen (Wasserwechselzone) die Besiedlung sowohl durch Wasser- als auch durch Landorganismen stark eingeschränkt ist (z. B. Zahner & Lutz, 1988; Meile et al. 2005 und Referenzen darin). Diese Flussauen zählen zu die zu den in Artikel 31 Absatz 2 Buchstabe c GSchG besonders erwähnten, seltenen Lebensräumen und -gemeinschaften, die direkt oder indirekt von der Art und Grösse des Gewässers abhängen und die u.U. eine Sunkanhebung über die Mindestwassermenge nach Art. 31 Absatz 1 erfordern. Wie weit dies notwendig ist, muss im Einzelfall geprüft werden. Als erster grober Anhaltspunkt dazu können zwei Beurteilungsansätze aus Österreich dienen: Nach dem ersten dieser Ansätze wird, ebenso wie beim Indikator F2, ein guter hydromorphologischer Zustand angenommen, wenn die benetzte Fläche bei Sunk noch mindestens 80 % ihrer Ausdehnung bei Schwall beträgt (Mühlmann 2010). Ein vergleichbarer Ansatz wird auch im Indikator F2 verwendet. Nach dem zweiten Ansatz wird der Schwallbetrieb als starker Eingriff bewertet, wenn die benetzte Fläche bei Sunk weniger als 70 % ihrer Ausdehnung bei «natürlicher Wasserführung» beträgt (Greimel 2009).

Eine spezielle Darstellung der Resultate ist nicht notwendig.

Die Bewertung des Indikators A1 erfolgt nicht bei den übrigen Indikatoren nach fünf, sondern nur nach zwei Zustandsklassen. Der Grund dafür ist, dass die gesetzlichen Anforderungen an die Restwassermenge nach Art. 31–33 GSchG entweder erfüllt sind oder nicht, dass jedoch sachlich keine Zwischenstufen begründet werden können.

Bewertung

Die Bewertung erfolgt ausschliesslich ab Wasserrückgabe (Zentrale) und – mit den genannten Einschränkungen – unabhängig davon, ob die behandelte Restwasserstrecke bei der voraussichtlichen Inbetriebnahme der schwalldämpfenden Massnahmen bereits nach Art. 31–33 GSchG zu dotieren ist (Konzessionserneuerung nach dem Inkrafttreten dieser Bestimmungen am 1. November 1992) oder noch nach den tieferen Ansätzen der Sanierung gemäss Art. 80–83 GSchG.

Bewertung	Zustand	Kriterium: Restwassermenge nach Art. 31–33 GSchG
	gut	Zutreffende Anforderungen erfüllt
	schlecht	Zutreffende Anforderungen nicht erfüllt



**Literaturzitate**

BUWAL 1997: Sanierungsbericht Wasserentnahmen. Sanierung nach Art. 80 Abs. 1 Gewässerschutzgesetz. Mitteilung zum Gewässerschutz Nr. 25, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–50.

Estoppey R., Kiefer B., Kummer M., Lager S., Aschwanden H. 2000: Angemessene Restwassermengen – Wie können sie bestimmt werden? Vollzug Umwelt Nr. 27/01, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–140.

Greimel F. 2009: Ökologische Bewertung von Flussbaumassnahmen an der Raab. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien, 1–171.

Limnex 2007: Szenarien für eine ökologisch begründete Schwallminderung in den Flüssen Alpenrhein, Rhone, Linth und Doubs. Berichten zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Wasser, Bern, 1–25.

Meile T., Fette M., Baumann P. 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Eine Publikation des Rhone-Thur Projektes c/o Eawag, WSL, LCH.

Mühlmann H. 2010: Leitfaden zur hydromorphologischen Zustandserhebung von Fliessgewässern. Herausgegeben vom Bundesministerium für Land-

und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 1–72.

OLKOS 2010: Studio degli effetti delle variazioni di portata indotti dalla regimazione idroelettrica lungo il fiume Ticino da Personico alla foce. Parametri relativi ai macroinvertebrati. Bericht im Auftrag des Ufficio della caccia e della pesca, Bellinzona, 1–91.

Rupf R. 1998: Ökomorphologie des Vorder- und Hinterrheins: Zustandsbewertung und Massnahmenvorschläge aus fischökologischer Sicht. Diplomarbeit am geographischen Institut der Universität Zürich, 1–86.

VAW, LCH 2006: Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk. Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich sowie des Laboratoire de Construction Hydrauliques an der EPF Lausanne im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Baden, 1–161.

Vogel U., Kirchhofer A., Breitenstein M. 2004: Restwassermengen – Was nützen sie dem Fliessgewässer? Schriftenreihe Umwelt Nr. 358, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–139.

Zahner M., Lutz M. 1988: Untersuchungen zur Vegetation und Avifauna der Auen am Vorderrhein und Glenner. Jber. Natf. Ges. Graubünden 195: 31–77.

**A7-12 Wassertemperatur – Indikator Q1**

Veränderungen der Wassertemperatur gehören zu den am häufigsten untersuchten Auswirkungen des Schwallbetriebes (Baumann & Klaus 2003). Als eine der möglichen Ursachen für eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall und Sunk wird in Artikel 41e Buchstabe b GSchV denn auch ausdrücklich die «in unzulässiger Weise» veränderte Wassertemperatur aufgeführt.

Grundlagen

Die kurzfristigen schwallbedingten Temperaturschwankungen, auch als «Thermo-peaking» bezeichnet, sind in den letzten Jahren besonders intensiv untersucht worden (z. B. Zolezzi et al. 2011; Carolli et al. 2011). Unter Verwendung dieser und anderer Grundlagen haben Dübendorfer et al. (2011) einen speziellen Ansatz für die Bewertung von Schwall/Sunk entwickelt, welcher für den Indikator Q1 unverändert übernommen wird.

Alle folgenden Texte und Angaben zum Indikator Q1 sind aus dem im Auftrag des BAFU erstellten Expertenberichts zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts von Dübendorfer et al. (2011) übernommen.

Temperaturschwankungen sind eine Begleiterscheinung von schwallerzeugenden Kraftwerken und haben negative Auswirkungen auf Fischeier und Jungfische. In der Regel wärmt das turbinierete Wasser aus den Stauseen das Fliessgewässer im Winter auf und kühlt diese im Sommer ab (Meier et al. 2004, Bruno et al. 2009, Maiolini et al. 2010, Carolli et al. 2011, Zolezzi et al. 2011). Ökologisch gravierender als die saisonale Veränderung der Wassertemperatur werden jedoch die kurzfristigen Temperaturschwankungen des Schwallbetriebes eingeschätzt (Meile et al. 2005). Wie gut sich die Wasserlebewesen an Temperaturveränderungen anpassen können, hängt von der vor dem Schwall respektive Sunk im Gewässer vorherrschenden Temperatur, der sogenannten Akklimatisationstemperatur ab (Krejci et al. 2004).

Die Definition der Bewertungsgrössen bezieht sich auf eine 5-jährige Temperaturmessreihe mit einer zeitlichen Auflösung von 10 oder 15 Minuten und einer Genauigkeit von 0,1 °C. Messreihen mit einer höheren Auflösung oder Genauigkeit sollen vor der Berechnung der Bewertungsgrössen auf 10 Minuten ausgedünnt, resp. auf 0,1 °C gerundet werden. Je nach Bewertungsgrösse werden die gesamten Momentandatenätze oder die Tagesextrema (Tagesmaximum und -minimum) benötigt. Es sind die dem aktuellen Betriebsregime am besten entsprechenden fünf Jahre (i.d.R. die aktuellsten fünf Jahre) auszuwerten.

Erhebung

Sind keine 5-jährigen Messreihen vorhanden, so können im Sinne einer provisorischen Bewertung kürzere, im Extremfall auch 1-jährige Messreihen ausgewertet werden. Die Resultate sind entsprechend vorsichtig zu interpretieren. Empfohlen wird dazu eine Einordnung des ausgewerteten Jahres bezüglich seiner Lufttemperatur- und Abflussverhältnisse (Bezeichnung ob kaltes, durchschnittliches oder warmes, resp. trockenes, durchschnittliches, nasses Jahr).

Falls keine solchen Messreihen vorhanden sind, müssen sie erhoben werden. Für die Anwendung der Methode wird eine zeitliche Auflösung von 10 Minuten (über 10

Minuten gemittelte kontinuierliche Messwerte) empfohlen. Die erforderliche Genauigkeit der Messgeräte beträgt mindestens 0,1 °C. Nach Möglichkeit sind die Messstellen in bestehende hydrometrische Messnetze (Abflussmenge und Wasserqualitätsparameter) zu integrieren und mit anderen Probenahmen, z. B. von biologischen Parametern, zu kombinieren. Damit lassen sich Synergien bei der Betreuung und Kontrolle von Messstationen und der Dateninterpretation nutzen.

Es sind verschiedene Messgeräte auf dem Markt erhältlich, temperaturspezifische oder Multiparameter-Geräte. Heute üblich sind Messgeräte mit Datenlogger, um kontinuierliche, zeitlich gut aufgelöste Messungen sicherzustellen. Vorteil von online Feldloggern ist, dass die Messdaten unmittelbar übertragen und direkt und jederzeit am Computer überwacht, überprüft und ausgewertet werden können. Die Messgeräte verfügen üblicherweise über ein dazugehöriges Programm für die Datenhaltung und -auswertung.

Wo und wie die Temperatursonde im Gewässer angebracht wird, hängt von der Art und Grösse des Fließgewässers ab. Sie muss grundsätzlich im durchströmten Bereich des Gewässers (kein «Totwasser», kein stehendes Flachwasser in Buchten) angebracht werden. Hochwassersichere Befestigung und in stark geschiebeführenden Gewässern eine vor Geschiebe geschützte Anbringung sind wichtig. In grösseren Gewässern ist zu berücksichtigen, dass sich die Uferzonen mit geringer Wassertiefe (< 50 cm) im Sommer viel schneller und stärker erwärmen als der Hauptstrom. Ist vor Ort kein Stromanschluss vorhanden, empfiehlt sich ein akku- oder batteriegestütztes oder mit Solarpanel ausgerüstetes Messgerät zu wählen.

Die Messstationen bedürfen regelmässiger Betreuung und Wartung (abhängig von Art des Messgeräts, des Gewässertyps, etc.). Erfahrungsgemäss sind die Messstationen ca. vierteljährlich zu warten. Dabei sind sie von Algen, Geschwemmsel und ähnlichem zu reinigen und ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Ansonsten sind – je nach Grösse des integrierten Datenspeichers – mindestens einmal jährlich die Daten abzulesen und der Akku auszuwechseln.

Grosse Unwetter und starke Regenfälle mit Hochwasserführung können Messgeräte mitreissen und fortschwemmen. Nach solchen Ereignissen empfiehlt sich, vor Ort die Installationen kurz danach zu besichtigen respektive die online Datenerfassung zu überprüfen. Sensibel reagieren respektive beschädigt werden können die Messgeräte durch Eisbildung (mit Eisverschiebungen), Lawinen, Geschiebetrieb und insbesondere durch Gewitter mit Blitzeinschlägen ins Wasser. Die Messgeräte sind deshalb periodisch zu kontrollieren respektive die online Datenerfassung zu überprüfen.

Wird eine Messstelle neu installiert, ist – je nach Grösse und Installationsart – bei der zuständigen Behörde eine Bewilligung einzuholen oder soll diese informiert werden.

Die Daten sind in einer Datenbank (Excel, Access oder spezielle Hydrometrische Software) zu erfassen und auszuwerten. Ein regelmässiges Backup ist sicherzustellen.

Folgende Bewertungsgrößen liefern Aussagen zu kurzzeitigen Temperatureffekten im Gewässer, ausgelöst durch Einleitungen von Wasserkraftwerken mit Schwall/Sunk-Betrieb:

Auswertung und Darstellung der Resultate

- > Temperaturänderungsrate Schwall/Sunk  $TR_{\text{Schwall/Sunk}}$  [in °C/h]
- > Temperaturamplitude Schwall/Sunk  $TA_{\text{Schwall/Sunk}}$  [°C]
- > Gewässertyp-spezifische Referenz-Temperaturamplitude  $TA_{\text{Ref}}$  [°C]
- > Anzahl Temperaturpeaks pro Tag  $P_{\text{Schwall/Sunk}}$  als Mittelwert  $PM_{\text{Schwall/Sunk}}$  und als 95 %-Quantil  $P95_{\text{Schwall/Sunk}}$  [-]

#### 1) Temperaturänderungsrate:

Die Temperaturänderungsrate Schwall/Sunk  $TR_{\text{Schwall/Sunk}}$  [°C/h] entspricht einer repräsentativen Maximal-Temperaturänderungsrate im Übergang der Sunk- zur Schwallphase und umgekehrt.

Die Temperaturänderungsrate Schwall/Sunk wird als 90 %-Quantil der täglichen Maximal-Temperaturänderungsraten einer repräsentativen Messreihe bestimmt.

$$TR_{\text{Schwall/Sunk}} = 90\% \text{-Quantil von } |TR|_{\text{max}} \text{ mit } TR_t = T_t - T_{t-1} / \Delta t \text{ [in } ^\circ\text{C/h}]$$

$T_t$  = Temperatur zum Zeitpunkt t (Momentanwerte)

$TR_t$  = Temperaturänderungsrate zum Zeitpunkt t

$|TR|_{\text{max}}$  = Tagesmaxima der absoluten Temperaturänderungsrate  $TR_t$

Es sind die gesamten Jahressgänge auszuwerten, ungeachtet des Auftretens von Schwall/Sunk-Phänomenen. Mit der Anwendung des 90 %-Quantils wird erreicht, dass extreme Einzelereignisse nicht dominieren und der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten wird.

Die Temperaturänderungsraten können sowohl positive, wie auch negative Werte annehmen. Positive Werte bedeuten Temperaturanstiege, negative Werte Temperaturrückgänge. Es sind die absoluten Temperaturänderungsraten zu ermitteln.

Die analoge Bestimmung der täglichen Maximal-Pegelanstiegsrate  $PR_{\text{max}}$  ist in Pfaundler & Keusen (2007) illustriert.

#### 2) Temperaturamplitude Schwall/Sunk:

Die Temperaturamplitude Schwall/Sunk  $TA_{\text{Schwall/Sunk}}$  entspricht einer repräsentativen durch Schwall/Sunk beeinflussten Tagesamplitude.

Die maximale Temperaturamplitude Schwall/Sunk  $TA_{\text{Schwall/Sunk}}$  wird als 90 %-Quantil der täglichen Maximal-Temperaturdifferenzen einer repräsentativen Messreihe bestimmt.

$$TA_{\text{Schwall/Sunk}} = 90\% \text{-Quantil von } (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \text{ [in } ^\circ\text{C}]$$

$T_{\text{max}}$  = Maximale Tagestemperatur (aus Momentanwerten)

$T_{\text{min}}$  = Minimale Tagestemperatur (aus Momentanwerten)

Es sind die gesamten Jahresgänge auszuwerten, ungeachtet des Auftretens von Schwall/Sunk-Phänomenen. Mit der Anwendung des 90 %-Quantils wird erreicht, dass extreme Einzelereignisse nicht dominieren und der Einfluss von Tagen ohne ausgeprägte Schwall/Sunk-Ereignisse (z. B. Wochenenden) gering gehalten wird.

#### 2b) Gewässertyp-spezifische Referenz-Temperaturamplitude:

Die Gewässertyp-spezifischen Referenz-Temperaturamplituden  $TA_{Ref}$  repräsentieren typische, eher grosse, im Sommer vorkommende Tagesamplituden.

Die typischen Tagesamplituden  $TA_{Ref}$  werden aus den Gewässertyp-spezifischen Sinuskurven von Müller (2011) hergeleitet, als Differenz zwischen den Jahresmaxima der Sinusregression der mittleren 75 %-Quantile der Tagesmaxima sowie der Sinusregression der mittleren 25 %-Quantile der Tagesminima.

Diese Werte müssen nicht berechnet werden, sondern können aus Tab. A4 entnommen werden.

**Tab. A4 > Gewässertyp-spezifische Tagesamplituden in °C**

*Das Vorgehen zur Bestimmung des Gewässertyps aus der Kombination von biozönotischer Region und Höhenstufe ist in Kapitel 3.4 von Dübendorfer et al. (2011) erläutert.*

Gewässertyp	Kry	KRs	KRm	KRk	ERa	ERs	ERm	ERk	MRA+s	MRm	MRk	HyR	EpP
Tagesamplitude	1,3	0	0,1	0,2	6,3	5,3	4,9	2,4	4,8	6,3	4,1	4,9	3,9

Biozönotische Regionen: Kry = Kryal; KR = Krenal; ER = Epirhithral; MR = Metarhithral; Hy = Hyporhithral; Ep = Epipotamal  
Höhenstufen: a = alpin; s = subalpin; m = montan; k = kollin

#### 3) Anzahl Temperaturpeaks pro Tag:

Die Kenngrösse Anzahl Temperaturpeaks pro Tag  $P_{Schwall/Sunk}$  entspricht der Anzahl im Gewässer gemessenen positiven und negativen Temperaturpeaks pro Tag und umfasst damit sowohl die natürlichen Tagesextrema als auch anthropogen verursachte Peaks.

Es werden der Mittelwert  $PM_{Schwall/Sunk}$  und das 95 %-Perzentil  $P95_{Schwall/Sunk}$  der Anzahl Temperaturpeaks pro Tag einer repräsentativen Messreihe bestimmt. Als Peaks gelten alle Extrema, die mindestens 60 Minuten und 0,2 °C auseinanderliegen.

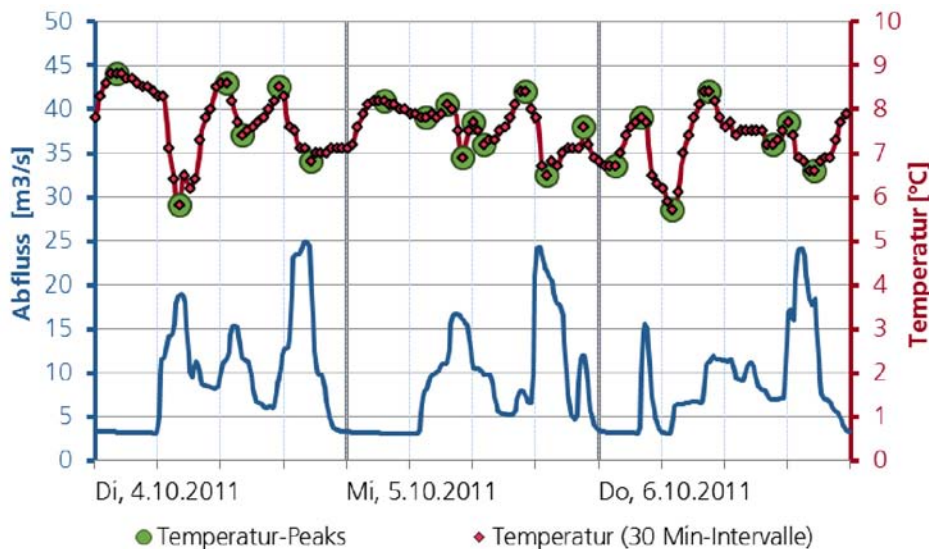
$PM_{Schwall/Sunk}$  = Mittelwert der Anzahl Temperaturpeaks pro Tag [-]

$P95_{Schwall/Sunk}$  = 95 %-Perzentil der Anzahl Temperaturpeaks pro Tag [-].

Die Bestimmung der Temperaturpeaks erfolgt gemäss Frutiger et al. (2004) und basiert auf 30-Minuten-Intervallen. Die höher aufgelösten Messreihen sind deshalb auf 30-Minuten-Intervalle auszudünnen.

Ein Peak liegt grundsätzlich bei einer Richtungsänderung des Temperaturverlaufs vor. Sehr kurzfristige Änderungen und kleine Schwankungen im Bereich der Messgenauigkeit gelten jedoch nicht als Peak. Ein Peak wird deshalb nur dann gezählt, wenn die Richtung der Temperaturänderung in mindestens zwei aufeinanderfolgenden 30-Minuten-Intervallen gleich bleibt und die Temperaturdifferenz gegenüber dem letzten Peak mindestens 0,2 °C beträgt. Bei stagnierenden Temperaturen gilt die vorgängige Temperaturänderungsrichtung. Die Bestimmung der Peaks ist in Abb. A16 veranschaulicht.






Abb. A16 &gt; Beispiel einer von Schwall/Sunk geprägten Temperaturkurve mit markierten Peaks



In die Klassierungsregel fliessen folgende Überlegungen ein:

Bewertung

- > Die Bewertungsgrössen, welche unterschiedliche ökologisch relevante Informationen enthalten, werden zu einer Klassierung kombiniert.
- > Die Temperaturänderungsrate liefert die Grundbewertung für den Schwall/Sunk-Effekt, da insbesondere die Fische gegenüber Temperaturänderungsraten sehr sensitiv sind.
- > Die beiden Kenngrössen zur Anzahl und Höhe (Amplitude) der Peaks werden im Sinne von Korrekturfaktoren zur Feinjustierung der Bewertung eingesetzt. Damit wird berücksichtigt, dass sowohl häufige Temperaturveränderungen als auch grosse tägliche Amplituden für die aquatischen Organismen Stress verursachen. Dabei kann die Grundbewertung nicht verbessert sondern nur verschlechtert werden.

Bewertung	Zustand	Grundbewertung	Korrekturfaktoren
	sehr gut	$TR_{\text{Schwall/Sunk}} \leq 1,25^\circ\text{C/h}$	Verschlechterung um 1 Klasse: $TA_{\text{Schwall/Sunk}} > TA_{\text{Ref}}$ <u>und</u> $PM = 3-5$ sowie $P95 = 6-9$ <u>oder</u> $TA_{\text{Schwall/Sunk}} > 1,5 * TA_{\text{Ref}}$ <u>oder</u> $PM > 5$ sowie $P95 > 9$
	gut	$1,25^\circ\text{C/h} < TR_{\text{Schwall/Sunk}} \leq 2,5^\circ\text{C/h}$	
	mässig	$2,5^\circ\text{C/h} < TR_{\text{Schwall/Sunk}} \leq 3,75^\circ\text{C/h}$	
	unbefriedigend	$3,75^\circ\text{C/h} < TR_{\text{Schwall/Sunk}} \leq 5^\circ\text{C/h}$	Verschlechterung um 2 Klassen: $TA_{\text{Schwall/Sunk}} > 1,5 * TA_{\text{Ref}}$ <u>und</u> $PM > 5$ sowie $P95 > 9$
	schlecht	$TR_{\text{Schwall/Sunk}} > 5^\circ\text{C/h}$	

In die Klassengrenzen fliessen folgende Grundlagen ein:

- > Natürliche tägliche Temperaturveränderungen 0,5 bis 1 °C/h werden von Fischen ohne Beeinträchtigung ertragen (Oliver & Fidler 2001).
- > Die Klassengrenzen für die Temperaturänderungsraten basieren auf Literaturwerten für Gewässer mit unbeeinflussten Temperaturregimen (Elliott et al. 1981, Zolezzi et al. 2011) sowie beobachtete Effekte wie Fluchtdrift von Wirbellosen (Fey et al. 1977, Carolli et al. 2011).
- > Die Berücksichtigung der Anzahl Peaks lehnt sich an Frutiger et al. (2004) an.

#### Literaturzitate

Baumann P., Klaus I. 2003: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes: Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 175, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–112.

Carolli M., Bruno M.C., Siviglia A., Maiolini B. 2011: Responses of benthic macroinvertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. *River Res. Applic.* 2011 (DOI: 10.1002/rra.1520).

Dübendorfer Ch., Moser D., Kempfner T., Egloff L., Müller V., Wanner P., Baumann P., Kirchhofer A. 2011: Expertenbericht zu einem Modul Temperatur im Rahmen des Modul-Stufen-Konzepts. Expertenbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern (voraussichtlich ab Mitte 2012 verfügbar auf [www.modul-stufen-konzept.ch/f/index-f.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/f/index-f.htm)).

Elliott J.M. 1981: Some aspects of thermal stress on freshwater Teleosts. In Pickering, A.D. (Ed.): *Stress and fish*. Academic Press, London: 209–245.

Fey J.M. 1977: Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und Auswirkungen auf die Zooönose – dargestellt an der Lenne (Sauerland). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 53: 307–363.

Frutiger A. 2004: Ecological impacts of hydroelectric power production on the River Ticino. Part 1: Thermal effects. *Arch. Hydrobiol.* 159(1): 43–56.

Krejci V., Frutiger A., Kreikenbaum S., Rossi L. 2004: Gewässerbelastungen durch Abwasser aus Kanalisationen bei Regenwetter. Bericht zum Projekt «STORM: Abwassereinleitungen aus Kanalisationen», Eawag, Dübendorf: 1–36.

Meier W., Frey M., Moosmann L., Steinlin S., Wüest A. 2004: Wassertemperaturen und Wärmehaushalt der Rhone und ihrer Seitenbäche. Schlussbericht zu Subprojekt I-2 des Rhone-Thur Projektes, Eawag, Kastanienbaum: 1–100.

Meile T., Fette M., Baumann P. 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Publikation des Rhone-Thur Projektes von EAWAG, WSL, EPFL und Limnex AG, 1–48.

Müller V. 2011: Erarbeitung eines anthropogen unbeeinflussten, typischen Jahresgangs der Wassertemperatur nach biozönotischen Regionen. Masterprojektarbeit für den Studiengang Umwelt-naturwissenschaften an der ETH Zürich, 1–58.

Oliver G.G., Fidler L.E. 2001: Towards a water quality guideline for temperature in the Province of British Columbia. Ministry of Environment, Land and Parks, Victoria BC ([www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/temptech](http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BCguidelines/temptech)).

Pfaundler M., Keusen M. 2007: Veränderungen von Schwall-Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall-Sunk Phänomenen in der Schweiz. *Umwelt-Wissen* Nr. 07/12, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern.

Zolezzi G., Siviglia A., Toffolon M., Maiolini B. 2011: Thermopeaking in Alpine streams: event characterization and time scales. *Ecohydrology* 4: 564–576.

## > Literatur

### Im Bericht zitierte Literatur

- ARGE Trübung Alpenrhein 2001: Trübung und Schwall im Alpenrhein. Synthesebericht, Fachberichte und Literaturstudie im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, Projektordner ([www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx](http://www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx)).
- AXPO 2006: Zukunft Wasserkraft – Linthal 2015: Kraftwerke Linth-Limmern. Broschüre der Kraftwerke Linth-Limmern AG, Linthal und der AXPO Holding AG, Zürich, 1–12 ([www.axpo.ch/content/dam/axpo/de/Hydroenergie/Wissen/Downloads/Linthal2015.pdf](http://www.axpo.ch/content/dam/axpo/de/Hydroenergie/Wissen/Downloads/Linthal2015.pdf)).
- BAFU 2011a: Erläuternder Bericht zur Änderung der Gewässerschutz-, Wasserbau-, Energie- und Fischereiverordnung durch das Bundesamt für Umwelt, Bern, 1–40 ([www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/22911.pdf](http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/22911.pdf)).
- BAFU 2011b: Revitalisierung von Fliessgewässern – Strategische Planung. Version für die Anhörung, Stand 14.6.2011 ([www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/](http://www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung/)).
- BAFU, BFE, ARE (Hrsg.) 2011: Empfehlung zur Erarbeitung kantonaler Schutz- und Nutzungsstrategien im Bereich Kleinwasserkraftwerke. Bundesämter für Umwelt, Energie und Raumentwicklung, Bern: 1–28 ([www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01593/index.html](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01593/index.html)).
- Baumann P., Klaus I. 2003: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Ergebnisse einer Literaturstudie. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–112 ([www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de)).
- Baumann P., Langhans S.D. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Synthese der Beurteilungen auf Stufe F (flächendeckend). Entwurf vom Juni 2010. Umwelt-Vollzug, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern, 1–47 ([www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm)).
- BFE 2011: Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz, Stand vom 1. Januar 2010. Online-Datenbank, herausgegeben vom Bundesamt für Energie, Bern ([www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=de&dossier\\_id=01049](http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/index.html?lang=de&dossier_id=01049)).
- Bieri M., Schleiss A.J. 2011: Modelling and analysis of hydropreaking in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. Proc. 34th IAHR World Congress 2011, Brisbane, Australia. ([http://info-science.epfl.ch/record/168548/files/2011-788\\_Bieri\\_Schleiss\\_Modelling\\_and\\_analysis\\_of\\_hydropreaking.pdf](http://info-science.epfl.ch/record/168548/files/2011-788_Bieri_Schleiss_Modelling_and_analysis_of_hydropreaking.pdf)).
- BUWAL/BWG (Hrsg.) 2003: Leitbild Fliessgewässer Schweiz für eine nachhaltige Gewässerpolitik, Herausgegeben von den Bundesämtern für Umwelt, Wald und Landschaft sowie für Wasser und Geologie, Bern, 1–12 ([www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/01267/01268/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/01267/01268/index.html?lang=de)).
- DRL 2008: Kompensation von Strukturdefiziten in Fliessgewässern durch Strahlwirkung. Schriftenreihe des deutschen Rates für Landespflege, Heft 81, 1–138.
- Eberstaller J., Haidvogel G., Jungwirth M. 1997: Gewässer- & Fischökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung mit Schwerpunkt Fischökologie. Herausgegeben von der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, 1–90 ([www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx](http://www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx)).
- Entegra 2011: Erhaltungskonzept der Kraftwerkskette am Aabach – Sanierung der Wasserkraftnutzungen gemäss dem revidierten GSchG. Bericht im Auftrag des kantonalen Amtes für Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Zürich.
- EPFL 2007: Session 3: Synergies possibles pour des aménagements hydrauliques à buts multiples. Mögliche Synergien bei Mehrzweckprojekten. Communication No. 33 du Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale, Lausanne, 79–123.
- Gerster St., Rey P. 1994: Ökologische Folgen von Staurationsspülungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 219, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–47.
- Hering D., Johnson R.K., Kramm S., Schmutz S., Szoszkiewicz K., Verdonchot P.F.M. 2006: Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. Freshw. Biol. 51: 1757–1785.
- Hürlimann J., Niederhauser P. 2007: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug Nr. 07/40, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern ([www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm)).
- Hütte M., Niederhauser P. 1998: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Ökomorphologie Stufe F (flächendeckend). Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 27, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern ([www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm)).
- Jäggi M. 1983: Alternierende Kiesbänke. Mitteilung Nr. 62 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH, Zürich.
- Kail J., Hering D. 2009: The influence of adjacent stream reaches on the local ecological status of Central European mountain streams. River Res. Applic. 25: 537–550.
- Kirchhofer A., Breitenstein M. 2008: Schwall/Sunk in der Linth (GL) – ein neuer Ansatz zur Reduktion der Auswirkungen auf das



Flussökosystem. Vortrag an der Jahrestagung der SGHL vom 22.11.08 in Lugano ([www.sghl.ch/downloads/06-SGM2008\\_Kirchhofer.pdf](http://www.sghl.ch/downloads/06-SGM2008_Kirchhofer.pdf)).

Limnex 2001: Schwall/Sunk-Betrieb in schweizerischen Fliessgewässern. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Abteilung Wasser, Bern, 1–30 ([www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/gewaesserschutz/04851/index.html?lang=de)).

Limnex 2004: Möglichkeiten zur Regelung des Schwallbetriebes in der Schweiz. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Abteilung Gewässerschutz, Bern, 1–34.

Limnex 2005: Entsanderspülungen in der Schweiz. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–34.

Limnex 2006: Schwallversuche in der Linth: Ökologische Auswirkungen von schwalldämpfenden Massnahmen. Bericht zuhanden des kantonalen Amtes für Umweltschutz, Glarus, 1–50.

Limnex 2007: Morphologie und Schwallbetrieb in Fliessgewässern. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Abteilung Wasser, Bern, 1–70.

Limnex 2009: Schwall/Sunk in der Hasliaare. Bericht zuhanden der Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen, 1–40.

Limnex 2010: Schwall/Sunk in der Hasliaare – Anhänge. Bericht zuhanden der Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen, 1–40.

Mangelsdorf J., Scheurmann K. 1980: Flussmorphologie. R. Oldenbourg Verlag, München, Wien.

Margot A., Sigg R., Schädler B., Weingartner R. 2010: Beeinflussung der Fliessgewässer durch Kraftwerke ( $\geq 300$  kW) und Seeregulierungen. Hydrologischer Atlas der Schweiz (HADES), herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern, Blatt 5.3.

Marti Ch., Bezzola G.R. 2004: Sohlenmorphologie in Flussaufweitungen. Mitteilung Nr. 184 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, 173–188.

Meile T., Fette M., Baumann P. 2005: Synthesebericht Schwall/Sunk. Publikation des Rhone-Thur Projektes von EAWAG, WSL, EPFL und Limnex AG, 1–48 ([www.rhone-thur.eawag.ch/Synthese\\_Schwall\\_Sunk\\_2.pdf](http://www.rhone-thur.eawag.ch/Synthese_Schwall_Sunk_2.pdf)).

Meile T., Boillat J.-L., Schleiss A.J. 2011: Hydropeaking indicators for characterization of the Upper-Rhone River in Switzerland. *Aquat. Sci.* 73: 171–182.

Misurio 2010: CKW – Dammerhöhung Göscheneralp. Auswirkungen auf Schwall/Sunkbetrieb. Anhänge 5.7–4 und 5.7–5 zu Pöry Infra AG 2010: Kraftwerk Göscheneralp, Dammerhöhung Göscheneralpsee. Bericht zur Umweltverträglichkeit 2. Stufe. Bericht im Auftrag des Kraftwerks Göscheneralp, Göscheneralp, 1–50 und 1–13.

OLKOS 2010: Studio degli effetti delle variazioni di portata indotti dalla regolazione idroelettrica lungo il fiume Ticino da Personico alla foce. Parametri relativi ai macroinvertebrati. Bericht im Auftrag des Ufficio della caccia e della pesca TI, Bellinzona, 1–89.

Pellaud M. 2007: Ecological response of a multi-purpose river development project using macro-invertebrates richness and fish-habitat value. Thèse No. 3807, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1–193 (<http://library.epfl.ch/theses/?nr=3807>).

Petz-Glechner R., Petz W. 2006: Effects of rapidly varying flows from hydroelectric facilities on the fish fauna of some Austrian rivers depending on stream morphology. EIFAC Symposium on Hydropower, Flood Control and Water Abstraction: Implications for Fish and Fisheries, Mondsee, 14.–21.6.2006. Poster-Beitrag.

Pfaundler M., Dübendorfer Ch., Zysset A. 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern, 1–113 ([www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm)).

Pottgiesser T., Halle M., Cargill A. 2004: Entwicklung einer (Abschnitts-)Typologie für den natürlichen Rheinstrom. Endbericht Nr. 146d des Umweltbüros Essen zuhanden der Internationalen Kommission zum Schutz des Rheins (IKSR), Koblenz, 1–34.

Repower 2010: Projekt «Chlus»: Wasserkraftwerke im vorderen Prättigau und in der Bündner Herrschaft. Broschüre der Repower AG, Poschiavo, 1–7 ([www.repower.com/ch/anlagen/projekte/wasserkraftwerk-chlus-rhein/](http://www.repower.com/ch/anlagen/projekte/wasserkraftwerk-chlus-rhein/)).

Schager E., Peter A. 2004. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend). Vollzug Umwelt Nr. 44, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 1–64 ([www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm)).

Schälchli U., Eberstaller J., Moritz Ch., Schmutz S. 2003: Notwendige und wünschbare Schwallreduktion im Alpenrhein. Bericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, Vaduz, 1–28.

Schweizer S., Neuner J., Heuberger N. 2009: Bewertung von Schwall/Sunk-Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzeptes. *Wasser Energie Luft* 101(3): 194–202.

Stranner H. 1996: Schwallwellen im Unterwasser von Spitzenkraftwerken und deren Reduktion durch flussbauliche Massnahmen. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Nr. 20, Technische Universität Graz, 1–124.

Stucki P. 2010: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). Vollzug Umwelt Nr. 10/26, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern, 1–61 ([www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm](http://www.modul-stufen-konzept.ch/d/index.htm)).

UREK SR 2008: Parlamentarische Initiative Schutz und Nutzung der Gewässer. Bericht der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Ständerates vom 12. August 2008 (07.492), BBl 2008 8043.

Weber Ch., Schager E., Peter A. 2009: Habitat diversity and fish assemblage structure in local river widenings: A case study on a Swiss river. *River Res. Applic* 25: 687–701.

Werlen K. 2011: Schwall/Sunk: Optimales Abflussregime für Wasserkraftwerke. *Wasser Energie Luft* 103(1): 21–24.

Young P.S., Cech Jr. J.J., Thompson L.C. 2011: Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, publ. online 9. April 2011. DOI: 10.1007/s11160-011-9211-0.

Zeh Weissmann H., Könitzer Ch., Bertiller A. 2009: Strukturen der Fließgewässer in der Schweiz. Zustand von Sohle, Ufer und Umland (Ökomorphologie); Ergebnisse der ökomorphologischen Kartierung. Stand: April 2009. Umwelt-Zustand Nr. 09/26, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern. 1–100 ([www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01075/?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01075/?lang=de)).

Zeller J. 1965: Meandering Channels in Switzerland. Mitteilung Nr. 74 der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich.

## Weiterführende Literatur

### Berichte der IRKA zum Alpenrhein

([www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx](http://www.alpenrhein.net/Publikationen/tabid/68/Default.aspx)).

Eberstaller J., Haidvogel G., Jungwirth M. 1997: Gewässer- & Fisch-ökologisches Konzept Alpenrhein. Grundlagen zur Revitalisierung. Bericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie

Eberstaller J., Eberstaller-Fleischanderl D., Wiesner Ch., Unfer G., Peter A., Schager E., Bohl E. 2005: Fischökologische Bestandsaufnahme Alpenrhein 2005. Bericht im Auftrag der Ämter für Jagd und Fischerei Graubünden und St.Gallen, des Amtes für Umwelt Liechtenstein und des Amtes der Vorarlberger Landesregierung.

IRKA 2004: Schwallreduktion bzw. Hochwasserspitzenminderung im Alpenrhein. Mögliche Massnahmen und deren Auswirkungen. Bericht der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Energie.

Michor K., Zarn B., Eberstaller J., Gasser M., Moritz Ch., Trösch J. 2005: Entwicklungskonzept Alpenrhein. Kurzbericht im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein und der Internationalen Rheinregulierung.

Bemerkung: Gegenwärtig steht am Alpenrhein ein ebenfalls von der IRKA in Auftrag gegebenes Projekt kurz vor dem Abschluss, bei dem eine quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile aufgrund von umfangreichen Datenerhebungen und Modellierungen durchgeführt worden ist. Dieses interdisziplinäre Projekt umfasst folgende Teilprojekte bzw. Arbeitspakete (AP), zu denen je ein ausführlicher Fachbericht erstellt wird.

AP 1 Anforderungsprofile und Kolmation

AP 1+Hydrologie

AP 2 Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für Habitatmodellierung

AP 3 Abiotische Untersuchungen bei unterschiedlichen Wasserständen als Basis für Aufbau und Kalibrierung des Modells

AP 4 Hydraulische Modellierung

AP 5 Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Größe des Schwalleinflusses am Alpenrhein.

### Berichte des Rhone-Thur-Projektes zu verschiedenen

Gewässern ([www.rhone-thur.eawag.ch/publikationen.html](http://www.rhone-thur.eawag.ch/publikationen.html)).

Alp M. 2006: Nahrungsökologie der Bachforelle in alpinen Flüssen mit Schwallbetrieb. Diplomarbeit, Humboldt-Universität Berlin und Eawag Kastanienbaum.

Brögli M. 2001: Geochemische und wasserisotopische Untersuchungen im Rhoneabschnitt zwischen Sion und Branson. Diplomarbeit, Eawag Kastanienbaum.

Caviezel R. 2006: Reproduktion der Seeforelle im Vorderrhein. Diplomarbeit, Eawag Kastanienbaum.

Fette M. 2005: Tracer Studies of River-Groundwater Interaction under Hydropeaking Conditions. Dissertation ETH Nr. 16103, Eawag Kastanienbaum.

Frey M. 2003: Temperaturmodellierungen – Auswirkungen von Kraftwerken auf das Temperaturregime in Zuflüssen der Rhone. Diplomarbeit, Eawag Kastanienbaum.

Karaus U. 2004: The Ecology of Lateral Aquatic Habitats along River Corridors. Dissertation ETH Nr. 15841, Eawag Dübendorf.

Künzli F. 2005: Fischökologische Untersuchung in vier schwallbeeinflussten Schweizer Fließgewässern. Diplomarbeit, ETH Zürich und Eawag Kastanienbaum.

Meier W., Frey M., Moosmann L., Steinlin S., Wüest A. 2004. Schlussbericht Rhone Ist-Zustand. Rhone-Thur Projekt, Subprojekt I-2: Wassertemperaturen und Wärmehaushalt der Rhone und ihrer Seitenbäche. Bericht der Eawag, Kastanienbaum.

Meile T. 2007: Influence of Macro-Roughness of Walls on Steady and Unsteady Flow in a Channel. Dissertation N° 3952, EPF Lausanne ([http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2007/3952/EPFL\\_TH3952.pdf](http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2007/3952/EPFL_TH3952.pdf)).

Mendez R. 2007: Laichwanderung der Seeforelle im Alpenrhein. Diplomarbeit, Eawag Kastanienbaum.

Pätzold A. 2004: Life at the Edge – Aquatic-terrestrial interactions along rivers. Dissertation ETH Nr. 15825, Eawag Kastanienbaum.

Portmann M., Baumann P., Imhof B. 2004: Schwebstoffhaushalt und Trübung der Rhone. Publikation des Rhone-Thur Projekts, Eawag Kastanienbaum.

Uhlmann V. 2001: Die Uferzoozönosen in natürlichen und regulierten Flussabschnitten. Diplomarbeit, Eawag Dübendorf.

Weber Ch. 2007: River rehabilitation and fish. The challenge of initiating ecological recovery. Dissertation ETH Nr. 16895, Eawag Kastanienbaum.

### Sonstige Publikationen

Céréghino R. 1997: Influence des éclusées hydroélectriques sur la structure et la dynamique des populations d'invertébrés d'une rivière pyrénéenne de moyenne montagne. Thèse N° 2535, Université Paul Sabatier, Toulouse ([www.ecolab.ups-tlse.fr/spip.php?article200](http://www.ecolab.ups-tlse.fr/spip.php?article200)).

Gore J.A., Niemela S., Resh V.H., Statzner B. 1994: Near-substrate hydraulic conditions under artificial floods from peaking hydropower operation: A preliminary analysis of disturbance intensity and duration. *Regulated Rivers: Research & Management* 9: 15–34.

Halleraker J.H., Saltveit S.J., Harby A., Arnekleiv J.V., Fjeldstad H.-P., Kohler B. 2003: Factors influencing stranding of wild juvenile Brown Trout (*Salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream. *River Res. Applic.* 19: 589–603 ([http://sintef.org/upload/Energiforskning/pdf/Vannressurser/Halleraker et al. 2003\\_fulltext.pdf](http://sintef.org/upload/Energiforskning/pdf/Vannressurser/Halleraker%20et%20al.%202003%20fulltext.pdf)).

Hunter M.A. 1992: Hydropower flow fluctuations and Salmonids: A review of the biological effects, mechanical causes, and options for mitigation. Technical Report Nr. 119, State of Washington, Department of Fisheries, Olympia, WA (<http://wdfw.wa.gov/publications/01085/wdfw01085.pdf>).

Kühne A. 1984: Schwall- und Sunkerscheinungen in einer Flusstauhaltung. *Wasser Energie Luft* 76: 213–219.

Limnex 2004: Auswirkungen des Schwallbetriebes auf das Ökosystem der Fließgewässer: Grundlagen zur Beurteilung. Bericht im Auftrag des WWF Schweiz, Zürich ([http://assets.wwf.ch/downloads/wwf\\_schwallbericht.pdf](http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_schwallbericht.pdf)).

Marti J. 2008: Neukonzessionierung der Kraftwerke Linth-Limmern in Linthal aus Sicht der Behörden. *Wasser Energie Luft* 100(4): 295–300.

Moog O., Pirker O. 2008: Schwall und Sunk in österreichischen Fließgewässern. Positionspapier der Arbeitsgruppe «Schwall» der Fachgruppe Wasserbau, Ingenieurbiologie und Ökologie des

österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV), Wien ([www.oewav.at/Page.aspx\\_param\\_target\\_is\\_67737.v.aspx](http://www.oewav.at/Page.aspx_param_target_is_67737.v.aspx)).

Murchie K.J., Hair K.P.E., Pullen C.E., Redpath T.D., Stephens H.R., Cooke S.J. 2008: Fish response to modified flow regimes in regulated rivers: Research methods, effects and opportunities. *River Res. Applic.* 24: 197–217 ([www3.carleton.ca/fecpl/pdfs/Murchie%20et%20al%202008%20River%20Research%2020Apps.pdf](http://www3.carleton.ca/fecpl/pdfs/Murchie%20et%20al%202008%20River%20Research%2020Apps.pdf)).

Parasiewicz P., Schmutz S., Moog O. 1998: The effect of managed hydropower peaking on the physical habitat, benthos and fish fauna in the River Bregenzerach in Austria. *Fisheries Management and Ecology* 5: 403–417.

Pfaundler M., Keusen M. 2007: Veränderungen von Schwall/Sunk. Hydrologische Datenanalyse zur Charakterisierung von Schwall/Sunk Phänomenen in der Schweiz. *Umwelt-Wissen* Nr. 07/12, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Bern ([www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00049/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00049/index.html?lang=de)).

Saltveit S.J., Halleraker J.H., Arnekleiv J.V., Harby A. 2001: Field experiments on stranding in juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*) and brown trout (*Salmo trutta*) during rapid flow decreases caused by Hydropeaking. *Regulated Rivers: Research & Management* 17: 609–622.

Sear D.A. 1995: Morphological and sedimentological changes in a gravel-bed river following 12 years of flow regulation for hydropower. *Regulated Rivers: Research & Management* 10: 247–264.

Schnell J. 2005: Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebs am Lech im Bereich des Naturschutzgebietes «Litzauer Schleife». Herausgegeben vom Landesfischereiverband Bayern e.V., Referat für Arten- und Gewässerschutz, München ([www.marcosander.de/pdf/Schwallbetriebsbrosch.pdf](http://www.marcosander.de/pdf/Schwallbetriebsbrosch.pdf)).

Steele R.J., Smokorowski K.E. 2000: Review of Literature related to the Downstream Ecological Effects of Hydroelectric Power Generation. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences No. 2334 ([www.dfo-mpo.gc.ca/Library/251234.pdf](http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/251234.pdf)).

Valentin S. 1997: Effets écologiques des éclusées en rivière – Expérimentations et synthèse bibliographique. *Gestion des milieux aquatiques* No. 13, Cemagref, Laboratoire d'hydroécologie quantitative, Lyon ([www.cemagref.fr/le-cemagref/organisation/les-centres/lyon/ur-maly/Hydroecologie Cours dEau/documents/publications-hydromorphologie-alterations-physiques-restauration/valentin-1997-effets-ecologiques-des-eclusees-en-riviere/view?searchterm=valentin](http://www.cemagref.fr/le-cemagref/organisation/les-centres/lyon/ur-maly/Hydroecologie_Cours_dEau/documents/publications-hydromorphologie-alterations-physiques-restauration/valentin-1997-effets-ecologiques-des-eclusees-en-riviere/view?searchterm=valentin)).

VAW & LCH 2006: Kraftwerksbedingter Schwall und Sunk – Eine Standortbestimmung. Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich sowie des Laboratoire de construction hydrauliques der EPF Lausanne im Auftrag des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes

---

([www.swv.ch/Dokumente/Studien,+Literatur/Schwall\\_und\\_Sunk\\_StudieVAWLCH\\_2006\\_SWV.pdf](http://www.swv.ch/Dokumente/Studien,+Literatur/Schwall_und_Sunk_StudieVAWLCH_2006_SWV.pdf)).

VAW 2007: Machbarkeit und Kosten der Schwallreduktion in der Schweiz. Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Bemerkung: Unter [www.mendeley.com/groups/1482343/hydro-environmental-peaking/](http://www.mendeley.com/groups/1482343/hydro-environmental-peaking/) wird von der Universität für Bodenkultur in Wien (BOKU) gegenwärtig eine Internet-Plattform aufgebaut, die dem freien Austausch von wissenschaftlichen Informationen zur Schwall/Sunk-Thematik dient. Darauf werden mit der Zeit auch eine immer grössere Zahl von sachbezogenen Publikationen und Berichten im PDF-Format verfügbar sein.

### Fachtagungen

ÖWAV 2008: Schwall und Sunk.– Ökologische und energiewirtschaftliche Herausforderungen. Tagung des österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftverbandes in Zusammenarbeit mit weiteren Veranstaltern am 19.11.2008 in Wien  
([www.eco.at/termine/docs/26527\\_Folder\\_Schwall62728.pdf](http://www.eco.at/termine/docs/26527_Folder_Schwall62728.pdf)).

VAW 2008: Neue Anforderungen an den Wasserbau. Internationales Symposium am 11./12.9.2008 in Zürich, Band 1. Mitteilung Nr. 207 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich ([www.vaw.ethz.ch/publications/vaw\\_reports](http://www.vaw.ethz.ch/publications/vaw_reports)).

WA 21 2009: Schwall und Sunk im Spannungsfeld von Energiewirtschaft und Ökologie. Tagung der Wasser-Agenda 21 in Zusammenarbeit mit weiteren Organisationen am 9.3.2009 in Solothurn  
([www.wa21.ch/index.php?page=219](http://www.wa21.ch/index.php?page=219)).

# > Verzeichnisse

## Glossar und Abkürzungen

### ARE

Bundesamt für Raumentwicklung

### ARGE

Arbeitsgemeinschaft

### Aue

Überschwemmungsgebiet von Fliessgewässern

### Ausbauwassermenge

Maximale Wassermenge (Betriebswasser), die in einer Kraftwerkszentrale verarbeitet (turbiniert) werden kann

### Ausgleichsbecken

Offenes Speicherbecken zur Dämpfung von Abfluss-Schwankungen im Zu- oder Auslauf eines Kraftwerkes

### Ausgleichskaverne

Unterirdisches Ausgleichsbecken

### BAFU

Bundesamt für Umwelt (früher BUWAL)

### Betriebswasser

Wasser, das in einer Kraftwerkszentrale turbinert wird (auch als Triebwasser bezeichnet)

### BFE

Bundesamt für Energie

### BGBB

Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über das bäuerliche Bodenrecht (SR 211.412.11)

### Dotierung, Dotation

Wasser, das bei einer Fassung direkt in die Restwasserstrecke eingeleitet wird, d. h. im Gewässer verbleibt. Die notwendige Dotierwassermenge (auch Pflichtwassermenge genannt) wird in der Regel in der Konzession festgeschrieben

### Drift

Aktives oder passives Abtreiben von Organismen in der fliessenden Welle

### EnG

Energiegesetz vom 26. Juni 1998 (SR 730.0)

### EnV

Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (SR 730.01)

### EPT

Insektenfamilien der Eintags-, Stein- und Köcherfliegen, deren Larven sich im Wasser entwickeln und gute Indikatoren für die Wasser- bzw. Gewässerqualität sind

### Ganglinie

Zeitlicher Verlauf der gemessenen Abflussmengen oder Pegelstände

### Geschiebe

Feststoffe mit einem Durchmesser > ca. 2 mm (Steine, Kies, Sand), die auf der Gewässersohle transportiert werden

### GSchG

Bundesgesetz vom 24. Januar 1991 über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, SR 814.20)

### GSchV

Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (SR 814.201)

### HYDMOD

Modul Hydrologie, Methode zur hydrologischen Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern innerhalb des Modul-Stufen-Konzeptes

### Indikator

Gemessene oder berechnete Grösse, welche für die Bewertung des Gewässerzustandes verwendet wird

### IST-Zustand

Heutiger Zustand, Ausgangszustand

### Längsvernetzung

Lebensräume entlang einer Gewässerstrecke können durch Hindernisse (z. B. Überfälle, Staumauern) von einander getrennt sein. Mit der Längsvernetzung (z. B. durch eine Fischtreppe) soll der Austausch der Tiere und Pflanzen zwischen den Lebensräumen gewährleistet werden

### Laufkraftwerk

Kraftwerk, welches das Wasser mehr oder weniger kontinuierlich turbinert und entweder direkt nach dem Wehr (Flusskraftwerk) oder erst nach einer gewissen Distanz (Ausleitungskraftwerk) ins Gewässer zurückgibt. Bei einigen Laufwerken an grösseren Flüssen kann der Stauraum zur Speicherung über einige Stunden genutzt werden, was ebenfalls als Schwallbetrieb gilt (in solchen Fällen auch als *Schwallbetrieb* bezeichnet)

### Morphologie (Öko-M.)

Räumliche Struktur, äussere Gestalt des Gewässers, umfasst Linienführung, Breitenverhältnisse, Beschaffenheit von Ufer und Sohle usw.

### MSK

Modul-Stufen-Konzept des Bundes. Sammlung von standardisierten Methoden zur Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern anhand verschiedener Merkmale (Module) und in unterschiedlicher Bearbeitungstiefe (Stufen)

**Pegel-Anstiegsrate**

Geschwindigkeit, mit welcher der Pegelstand beim Schwallanstieg zunimmt [in cm/min]. Gebräuchlich ist auch die Anstiegsrate des Abflusses [in m<sup>3</sup>/s • min]

**Pegel-Rückgangsrate**

Geschwindigkeit, mit welcher der Pegelstand beim Schwallrückgang abnimmt [in cm/min]. Gebräuchlich ist auch die Rückgangsrate des Abflusses [in m<sup>3</sup>/s • min]

**Referenzzustand**

Zustand, in dem ein Gewässer zumindest in Bezug auf den betrachteten Sachbereich (z. B. die Hydrologie) noch grossenteils unbeeinflusst, also natürlich oder naturnah ist und deshalb als Mess- oder Bezugszustand für die Bewertung von beeinflussten Gewässerstrecken dienen kann

**Restwasserstrecke**

Gewässerabschnitt zwischen der Wasserfassung eines Kraftwerks und der Wasserrückgabestelle (auch Ausleitungsstrecke genannt)

**Restwassermenge**

Abflussmenge eines Fliessgewässers, die nach einer oder mehreren Entnahmen von Wasser in der Restwasserstrecke verbleibt

**Revitalisierung**

Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen

**Rhithral**

Ober- und Mittellauf eines Fliessgewässers zwischen der Quellregion und der Flachlandregion, biologisch charakterisiert durch die Leitfischarten Forelle (Epi- und Metarhithral) und Äsche (Hyporhithral)

**Schwallabfluss**

Abfluss im Rückgabegewässer in Zeiten mit Kraftwerksbetrieb, bestehend aus der turbinierten Wassermenge und dem im Gewässer vor der Zentrale bereits vorhandenen Abfluss (natürlicher Abfluss oder Restwassermenge)

**Schwallhöhe**

Maximaler Schwallabfluss

**Schwall/Sunk-Amplitude**

Abfluss- oder Pegeldifferenz zwischen Schwall- und Sunkabfluss

**Schwall/Sunk-Betrieb**

Abgekürzt auch Schwallbetrieb. Regelmässige, tägliche Abflussschwankungen, die durch den abwechselnden (intermittierenden) Betrieb von Wasserkraftwerken entstehen

**Schwall/Sunk-Verhältnis**

Verhältnis vom maximalen Schwallabfluss zum minimalen Sunkabfluss

**Schwebstoffe**

Feststoffe mit einem Durchmesser < ca. 2mm (Sand, Silt, Ton), die in der fließenden Welle transportiert werden

**Sohlenruhe**

Niedrigwasserperiode im Winter, in der natürlicherweise geringe Abfüsse herrschen und die Gewässersohle deshalb nicht umgelagert wird

**Speicherkraftwerk**

Kraftwerk, welches das Wasser in Ausgleichsbecken oder Speicherseen über einige Tage bis Monate zurückhalten und es zur Zeit erhöhten Strombedarfs «konzentriert» abturbinieren und als Schwall ins Gewässer zurückgeben kann

**Sunkabfluss**

Abfluss im Rückgabegewässer in Zeiten ohne Kraftwerksbetrieb, entspricht der im Gewässer vor der Zentrale bereits vorhandenen Abflussmenge (natürlicher Abfluss oder Restwassermenge)

**Sunkhöhe**

Minimaler Sunkabfluss

**Trübung**

Verminderung der Wasserdurchsichtigkeit, verursacht durch einen erhöhten Schwebstoffgehalt

**UREK**

Kommissionen für Umwelt, Raumplanung und Energie des schweizerischen Parlamentes (UREK-NR = Nationalrat, UREK-SR = Ständerat)

**Wasserfassung**

Bauwerk, mit dem das Wasser aus dem Gewässer aus- und zur Kraftwerkszentrale abgeleitet werden kann. Die am weitesten verbreiteten Typen von Wasserfassungen sind Stauwehre und Rechenwehre (Tirolerwehre)

**Wasserrückgabe**

Stelle, an der turbinirtes Wasser aus einer Kraftwerkszentrale wieder ins (Rückgabe-) Gewässer geleitet wird

**Wasserwechselzone**

Bei Schwall benetzter und bei Sunk trockenfallender Bereich der Gewässersohle

**WBG**

Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau (SR 721.100)

## Abbildungen

<b>Abb. 1</b>	Schematische Übersicht über alle Schritte und Phasen der Planung und Umsetzung im Bereich Schwall und Sunk sowie über die entsprechenden Kapitel des Moduls	13	<b>Abb. A7</b>	Lage von Untersuchungsstellen und Referenzstrecken in einer komplexen Situation	73
<b>Abb. 2</b>	Wichtige Kennwerte des Schwallbetriebes, dargestellt anhand der Abfluss- bzw. Pegelganglinie eines schwallbeeinflussten Fließgewässers	16	<b>Abb. A8</b>	Illustration zur Abschätzung des Volumens eines Ausgleichsbeckens für ein schwallbeeinflusstes Gewässer	75
<b>Abb. 3</b>	Ablauf der Planung für die Sanierung im Bereich Schwall und Sunk	21	<b>Abb. A9</b>	Querprofilaufnahmen mit Pegel-Abfluss-Beziehung und Unterteilung in Streifen zur Berechnung der trockenfallenden Flächen	82
<b>Abb. 4</b>	Übersicht über die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk im Rahmen der kantonalen Planung	23	<b>Abb. A10</b>	Empfohlene Methodik in Abhängigkeit der Morphologie, der Fließgewässerslänge und deren ökologischer Bedeutung	83
<b>Abb. 5</b>	Einteilung der Zustandsklassen für die Bewertung des Schwall/Sunk-Phänomens im Modul Hydrologie des MSK (HYDMOD)	25	<b>Abb. A11</b>	Aufsummierte Anzahl Streifen im betrachteten Flussabschnitt (erlaubt die Flächenberechnung) mit stabilem Sohlensubstrat, die entsprechend dem Substrat als potenzielles Laichgebiet, bzw. entsprechend der Wassertiefe als Jungfischhabitat geeignet sind	88
<b>Abb. 6</b>	Möglicher Planungs- und Untersuchungsablauf mit den jeweils zu untersuchenden Indikatoren und mit der detaillierten Vorgehensweise für die drei Schritte «Abkürzung», «Schnelltest» und «Grundbewertung»	35	<b>Abb. A12</b>	Zusammenhang zwischen geschätztem theoretischem fischereilichem Jahreshektarertrag (JHE) und mittlerer Höhenlage der Gewässerstrecken	93
<b>Abb. A1</b>	Definition verschiedener Zustände im Zeitablauf von links nach rechts	61	<b>Abb. A13</b>	Anzahl EPT-Familien und IBCH gemäss Indikator B2 in verschiedenen Schweizer und Liechtensteiner Gewässern	103
<b>Abb. A2</b>	Die verwendeten Zustandsklassen und Farben nach dem Modul-Stufen-Konzept	62	<b>Abb. A14</b>	Beurteilung der inneren Kolmation anhand der Schwebstoffkonzentration beim Schwall (Anstieg) an einem kalten Wintermorgen	107
<b>Abb. A3</b>	Der Gewässerzustand in Abhängigkeit des Schwalleinflusses (Abfluss) und der Morphologie	63	<b>Abb. A15</b>	Vergleich zwischen dem Standard für die Restwassermengen bei Konzessionserneuerungen nach Ar. 31–33 (links) und bei Sanierungen nach Art. 80 GSchG (rechts)	109
<b>Abb. A4</b>	Das Prinzip des empfindlichsten Zustandes	66	<b>Abb. A16</b>	Beispiel einer von Schwall/Sunk geprägten Temperaturkurve mit markierten Peaks	116
<b>Abb. A5</b>	Erwartete Flussmorphologie in Abhängigkeit der relativen Flussbettbreite $Y = B_f/h$ und der mittleren relativen Abflusstiefe $Z = h/d_m$ (da Silva-Diagramm)	69			
<b>Abb. A6</b>	Lage der Untersuchungsstellen in einer einfachen Situation	72			

---

**Tabellen**

---

Übersicht Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer	10
--	----

**Tab. 1**

Anwendung der Indikatoren im Schnelltest, in der Grundbewertung und bei der Abschätzung des notwendigen Umfangs von schwalldämpfenden Massnahmen (vgl. Tab. 2) durch die Kantone	38
--	----

**Tab. 2**

Wie ausgewählte Indikatoren der Grundbewertung angewendet werden können, um auf dem Weg über einige Schwall-Kennwerte die notwendige Schwalldämpfung grob zu bestimmen	51
--	----

**Tab. A1**

Neue, den Schwall und Sunk betreffende Artikel im Gewässerschutzgesetz (GSchG) und in der zugehörigen Gewässerschutzverordnung (GSchV)	57
--	----

**Tab. A2**

Abhängigkeit typischer, durch den Schwallbetrieb bedingter gewässerökologischer Beeinträchtigungen bzw. Defizite von der Flussmorphologie	65
---	----

**Tab. A3**

Überlebensraten der Bachforellen nach Altersstadien	86
---	----

**Tab. A4**

Gewässertyp-spezifische Tagesamplituden in °C	115
---	-----