2017 | Umwelt-Vollzug

Schwall-Sunk – Massnahmen

Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Umwelt BAFU

Schwall-Sunk – Massnahmen

Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer

Herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt BAFU
Bern, 2017

Impressum

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».

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

Autoren (alphabetisch): Büsser Peter, Fischereibiologische Untersuchungen, Bern; Chaix Olivier, Integralia AG, Bern/Genf; Essyad Khalid, BG Ingenieure & Berater AG, Bern; Meile Tobias, Basler & Hofmann West AG, Bern; Oppliger Silvia, Hunziker Betatech AG, Bern; Tonolla Diego, Abteilung Wasser, BAFU, Ittigen & eQcharta GmbH, Wädenswil; Zurwerra Andreas, Pronat Umweltingenieure AG, Brig

Begleitgruppe (BG), Projektteam (PT) und externe Experten (EE) (alphabetisch): Auer Stefan, BOKU Wien (EE); Beck-Torres Natalie, BFE (BG; Caduff Ursin, Vertreter SWV, AXPO AG (BG); Estoppey Rémy, BAFU (BG + PT); Hauer Christoph, BOKU Wien (EE); Hohl Bernhard, BFE (PT); Huber-Gysi Martin, BAFU (BG); Kummer Manfred, BAFU (BG + PT); Lussi Stephan, BAFU (BG); Monney Judith, Kt. BE (BG); Nigg Urs, BAFU (BG); Peduzzi Sandro, Kt. TI (BG); Perraudin Romaine, Kt. VS (BG); Peter Armin, EAWAG (BG); Pfaundler Martin, BAFU (BG); Schmid David, Kt. GR (BG); Schmutz Stefan, BOKU Wien (EE); Schweizer Steffen, Vertreter SWV, KWO (BG + PT); Stern Lucien, Kt. GR (BG); Tonolla Diego, BAFU & eQcharta GmbH (BG + PT); Vetterli Luca, Vertreter Umweltverbände, Pro Natura (BG); Vollenweider Stefan, Wasser-Agenda 21 (BG); Weber Simona, BAFU (BG + PT); Weitbrecht Volker, VAW (BG); Zeiringer Bernhard, BOKU Wien (EE); Zuber Frédéric, Kt. VS (BG)

Zitierung: Tonolla D.; Chaix O.; Meile T.; Zurwerra A.; Büsser P.; Oppliger S.; Essyad K. 2017. Schwall-Sunk – Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1701: 133 S.

Layout: Cavelti AG, medien. digital und gedruckt, Gossau

Titelbild: Dr. Markus Zeh

PDF-Download: www.bafu.admin.ch/uv-1701-d
(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Diese Publikation ist auch in französischer und italienischer Sprache verfügbar.

© BAFU 2017

Inhaltsverzeichnis

Abstracts **7**

Vorwort **9**

Einleitung **10**

1 Ausgangslage **12**
1.1 Zweck, Adressaten und Aufbau des Moduls 12
1.2 Rechtliche Grundlagen 13
1.3 Anwendungsbereich des Moduls 14

2 Vorgehen zur Festlegung der Massnahmen und Erfolgskontrolle **16**
2.1 Einleitung 16
2.2 Überblick über das Vorgehen 16
2.3 Unterschiede im Vorgehen bei Sanierungen bestehender Anlagen und Neuanlagen 19
2.4 Koordination der Kraftwerke im Einzugsgebiet 19

3 Zielsetzung **21**
3.1 Überblick 21
3.2 Defizitanalyse 22
3.2.1 Indikatoren 22
3.2.2 Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung 24
3.3 Ursachenanalyse 25
3.4 Festlegung der Ziele 26
3.5 Vorauswahl der Massnahmen 29
3.6 Absprache des Kraftwerksinhabers mit den kantonalen Behörden 31

4 Variantenstudium und Wahl der Massnahmen **32**
4.1 Überblick 32
4.2 Variantenstudium 32
4.3 Vorgehen zur Wahl der Massnahmen 35
4.3.1 Verhältnismässigkeit des Aufwandes 35
4.3.2 Grad der Beeinträchtigung und ökologisches Potenzial 37
4.3.3 Interessen des Hochwasserschutzes und energiepolitische Ziele 37
4.3.4 Wahl der geeignetsten Massnahme (Bestvariante) und Prüfung durch Behörden 38
4.4 Koordination mit anderen Gewässerschutzmassnahmen 39
4.5 Spezialfälle: Ausbauprojekte, Schwall-Ausleitkraftwerke, Restwassersanierung noch ausstehend, Rückhaltebecken zur Pumpspeicherung 40

5 Erfolgskontrolle **42**
5.1 Überblick 42
5.2 Anforderungen an die Berichterstattung durch die Kantone 42
5.3 Umsetzungskontrolle 42
5.4 Wirkungskontrolle 42

6 Literaturverzeichnis **45**

Anhang A – Rechtliche Grundlagen **46**

Anhang B – Morphologische und hydrologische Grundlagenerhebung **48**
1 Einleitung 48
2 Abschnittsbildung in der Schwall-Sunk Strecke 48
3 Festlegung der Untersuchungsstrecken und der Erhebungen 49
4 Darstellung der Informationen aus der Grundlagenerhebung 51
5 Literatur 51

Anhang C – Indikatoren für Defizitanalyse, Prognose und Wirkungskontrolle **52**

A2 Hydrologische Kenngrössen **54**

F2* Stranden von Fischen **66**

F3* Laichareale der Fische **70**

F6 Habitateignung Fische **74**

B5 Habitateignung Makrozoobenthos **76**

Q1* Wassertemperatur **81**

F4* Jungfischvorkommen **85**

B1* Biomasse und Diversität Makrozoobenthos **87**

B3 Längenzonation Makrozoobenthos **90**

B4 EPT-Familien Makrozoobenthos **90**

D1 Drift **91**

F1* MSK-Modul Fische **94**

B2* MSK–Modul Makrozoobenthos **95**

H1* Innere Kolmation **98**

H2 Äussere Kolmation **101**

Anhang D – Beurteilung der Gewässerabschnitte und Festlegung der Ziele **103**

1 Deckblatt 103
2 Hilfstabelle (3 Teile) 105
2.1 Teil I – Defizitanalyse und Festlegung der Indikatoren (vgl. Kap. 3.2) 105
2.2 Teil II – Neubewertung und Ursachenanalyse (vgl. Kap. 3.2 & 3.3) 107
2.3 Teil III – Festlegung der Ziele und des hydrologischen Anforderungsprofils (vgl. Kap. 3.4) 109

Anhang E – Mögliche Massnahmen, Steuerung von Massnahmen und Bestimmung von Abflussganglinien **111**

1 Mögliche Massnahmen 111
1.1 Bauliche Massnahmen 111
1.2 Betriebliche Massnahmen 113
2 Steuerung von Massnahmen 113
3 Bestimmung von repräsentativen Abflussganglinien 115
4 Literatur 118

Anhang F – Habitatmodellierungen **120**

1 Notwendigkeit der Modellierung 120
2 Modellwahl und Anforderungen an die Modellgrundlagen 121
2.1 Modellwahl 121
2.1.1 Hydraulische Modelle 121
2.2 Habitatmodellierungen 121
2.3 Anforderungen an die Modellgrundlagen 122
3 Praxisbeispiele 122
4 Literatur 123

Anhang G – Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen pro Hauptschritt **124**

Teil I Allgemeine Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen 124
Teil II Zielsetzung (Kap. 3) 125
Teil III Variantenstudium und Wahl der Massnahmen (Kap. 4) 127
Teil IV Wirkungskontrolle (Kap. 5) 127

Anhang H – Glossar und Abkürzungen **129**

Abstracts

The current module of the implementation guide on «revitalization of water courses» outlines a procedure for meeting the requirements of water protection legislation in relation to hydropeaking. It describes the individual planning steps after the cantonal strategic planning with focus on evaluation of alternatives and the choice of the best remediation measure. It describes not only methods and indicators to be used to evaluate hydropeaking impacts, but it also clarifies how to determine the extent of remediation measures and to proof their effectiveness.
Keywords: Hydropeaking, Water protection legislation, remediation measure, Hydropower, Watercourses

Das vorliegende Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer» zeigt ein zweckmässiges Vorgehen auf, wie die Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung an Sanierungsmassnahmen im Bereich Schwall-Sunk erfüllt werden können. Es beschreibt die einzelnen Planungsschritte nach Vorliegen der kantonalen strategischen Planung. Insbesondere behandelt es die Phase des Variantenstudiums und der Auswahl der Bestvariante. Einerseits werden Methoden und Indikatoren zur Beurteilung der Gewässerabschnitte, die durch Schwall-Sunk beeinträchtigt sind, dargelegt. Andererseits wird erklärt, wie das Ausmass der notwendigen Sanierungsmassnahme bestimmt und deren Wirkung kontrolliert werden kann.
Stichwörter: Schwall-Sunk, Gewässerschutzgesetz, Sanierungsmassnahmen, 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 post-planification stratégique, il traite avant tout de la phase d'étude de variantes et du choix de la meilleure mesure d'assainissement. Il détaille non seulement les méthodes d'analyse et les indicateurs permettant d'évaluer les tronçons de cours d'eau qui subissent des atteintes dues aux éclusées, mais explique également comment déterminer l'étendue des mesures requises et vérifier leur l'efficacité.
Mots-clés : éclusées, loi sur la protection des eaux, mesure d'assainissement, 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. Descrivendo le diverse fasi post-pianificazione strategica, tratta innanzitutto della fase di studio delle varianti e di scelta della miglior misura di risanamento. Il modulo non solo illustra i metodi di analisi e gli indicatori per la valutazione dei tratti di corsi d'acqua pregiudicati da deflussi discontinui, ma anche come determinare l'entità delle misure di risanamento necessarie e a verificarne l'efficacia.
Parole chiave: deflussi discontinui, legge sulla protezione delle acque, misura di risanamento, 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 Revision von Gewässerschutzgesetz und -verordnung betreffend die Renaturierung der Gewässer, trat am 1. Januar respektive 1. Juni 2011 in Kraft und 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-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 Erarbeitung und Bewertung von Massnahmen im Bereich Schwall-Sunk gewidmet. Es zeigt auf, welches die wichtigsten Vorgaben und Rahmenbedingungen für die Wahl von Massnahmen sind, wie diese bewertet werden können, welche Anforderungen an die Resultate der Bewertung gestellt werden, und definiert die Methodik für die Erfolgskontrolle nach Umsetzung der Massnahmen.

Das BAFU dankt allen, die zum Gelingen der Publikation beigetragen haben, insbesondere den Mitgliedern des Projektteams, der Arbeitsgruppe und den externen Experten der BOKU Wien, die sich für praxistaugliche Lösungen eingesetzt haben.

Franziska Schwarz
Vizedirektorin
Bundesamt für Umwelt (BAFU)

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

Einleitung

Änderung des Gewässerschutzrechts
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 bäuerliche 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-Sunk unterhalb von Wasserkraftwerken, durch die Reaktivierung des Geschiebehaushalts sowie die Sanierung nach dem Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über die Fischerei (BGF, SR 923.0, Art. 10) wie z. B. die Wiederherstellung der Fischgängigkeit.

Die Änderung des Gewässerschutzgesetzes vom 11. Dezember 2009 erfordert u. a. Änderungen der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV, SR 814.201) in den betroffenen Bereichen. Die revidierte GSchV trat am 1. Juni 2011 in Kraft.

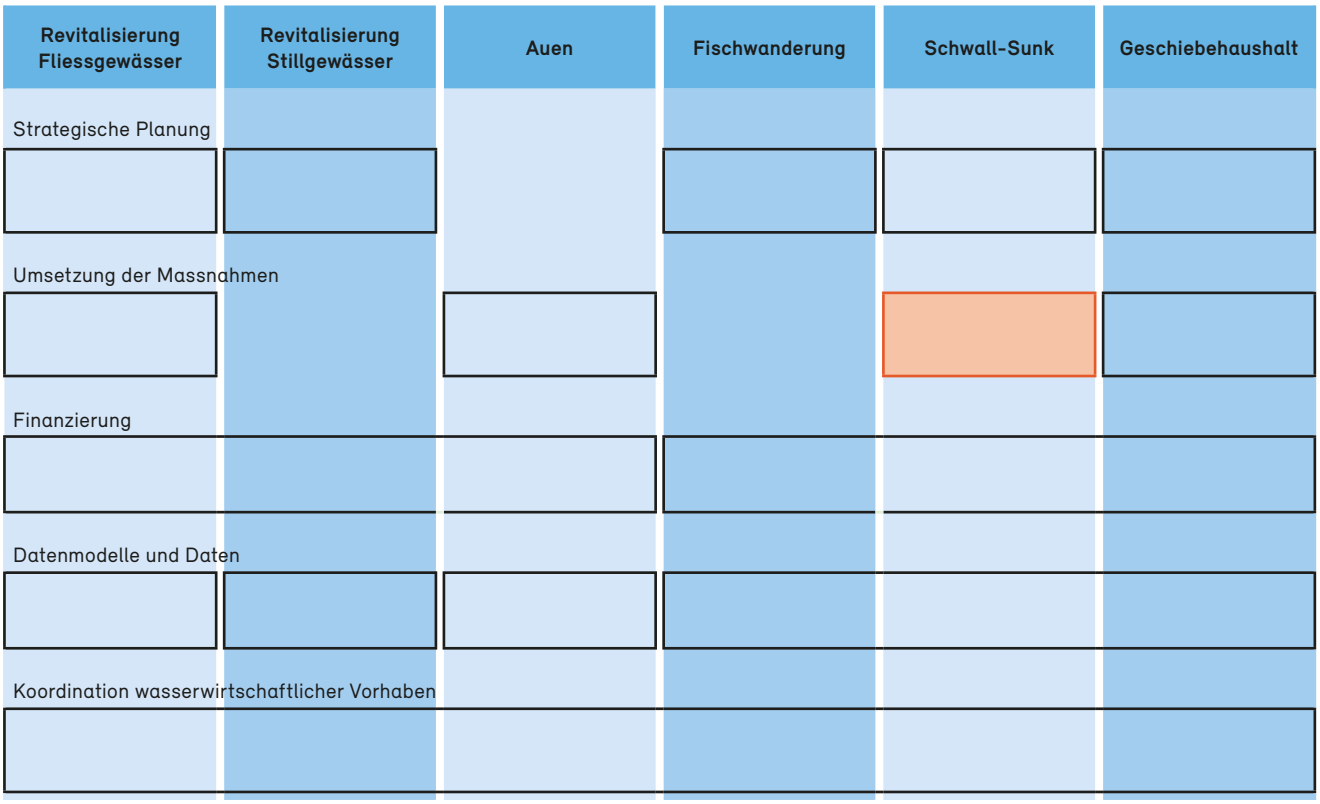
Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer»
Die vorliegende Publikation ist ein Modul der Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer», welche die Kantone bei der Umsetzung der neuen gesetzlichen Bestimmungen unterstützen soll. Die Vollzugshilfe umfasst alle relevanten Aspekte in den Bereichen Revitalisierung 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 vom 5. Oktober 2007 (GeoIG, SR 510.62) sowie ein über den Themenbereich der Renaturierung hinausgehendes Modul zur Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben (Abb. 1).

Modul Schwall-Sunk – Massnahmen
Mit dem vorliegenden Modul «Schwall-Sunk – Massnahmen» wird einerseits ein praxistaugliches und einheitliches Vorgehen der Kantone bei der Bewertung und Beurteilung der durch die Kraftwerksinhaber geprüften Massnahmen im Bereich Schwall-Sunk gefördert. Anderseits wird dargelegt, worauf die Inhaber von Wasserkraftanlagen bei der Erarbeitung und Bewertung der Massnahmen und der einzureichenden Unterlagen achten sollen. Das vorgeschlagene Vorgehen zur Festlegung der Massnahmen und für die Erfolgskontrolle kann auch für die Bewertung von Neuanlagen angewendet werden.

Abb. 1

Übersicht Vollzugshilfe «Renaturierung der Gewässer».

Rot eingefärbt: vorliegendes Modul. Die vorhandenen Module stehen auf der Website **www.bafu.admin.ch/umsetzungshilfe-renaturierung** *zur Verfügung.*



1 Ausgangslage

1.1 Zweck, Adressaten und Aufbau des Moduls

Zweck des Moduls
Die Inhaber von Wasserkraftwerken sind verpflichtet, wesentliche Beeinträchtigungen durch kurzfristige künstliche Änderungen des Wasserabflusses (Schwall-Sunk) bei bestehenden Anlagen mit geeigneten Massnahmen zu beseitigen bzw. bei Neuanlagen zu verhindern.

Mit dem vorliegenden Modul soll ein praktisches Vorgehen für die Erarbeitung und Bewertung der Massnahmen aufgezeigt sowie die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen erläutert werden. Dadurch soll eine möglichst einheitliche Erfüllung der rechtlichen Anforderungen im Bereich Schwall-Sunk erreicht werden sowie eine Gleichbehandlung aller Kraftwerksinhaber sichergestellt werden, um die Wahl der geeignetsten Massnahmen nach objektiven, nachvollziehbaren und wissenschaftlich abgestützten Kriterien zu ermöglichen. Das vorgeschlagene Vorgehen zur Festlegung der Massnahmen und für die Erfolgskontrolle kann auch für die Bewertung von Neuanlagen angewendet werden.

Adressaten des Moduls
Das Modul richtet sich primär an die mit der Bewertung von Wasserkraftanlagen betrauten kantonalen Fachstellen, die aufgrund einheitlicher Kriterien die Massnahmen beurteilen und auswählen müssen, sowie an die Inhaber von Wasserkraftanlagen und an die beauftragten Umwelt- und Ingenieurbüros, welche die Varianten von Massnahmen (Detailierungsgrad gemäss Normenwerk SIA, 112/2014, Modell Bauplanung, Phase 2 «Vorstudien») ausarbeiten.

Aufbau des Moduls

- **Kapitel 2** gibt einen Überblick über das gesamte Modul und dessen Anwendung und liefert Hinweise zur Koordination von Schwall-Sunk Massnahmen verschiedener Kraftwerke im selben Einzugsgebiet.
- **Kapitel 3** beschreibt das Vorgehen für die Defizit- und Ursachenanalyse, die Festlegung der Ziele, die Vorauswahl der Massnahmen und gibt Hinweise zur Absprache zwischen dem Kraftwerksinhaber und den kantonalen Behörden.
- **Kapitel 4** zeigt das Vorgehen für das Variantenstudium, die Bewertung und die Wahl der Massnahmen und liefert Hinweise zur Koordination mit anderen, nicht Schwall-Sunk bezogenen Gewässerschutzmassnahmen.
- **Kapitel 5** zeigt das Vorgehen für die Erfolgskontrolle, bestehend aus Umsetzungs- und Wirkungskontrolle.
- **Kapitel 6** listet die in den Kapiteln 2 – 5 zitierte Literatur auf.
- **Anhang A** listet die relevanten rechtlichen Grundlagen auf.
- **Anhang B** liefert Informationen zur Festlegung der zu untersuchenden Gewässerabschnitte und zur notwendigen morphologischen und hydrologischen Grundlagenerhebung.
- **Anhang C** beschreibt die Indikatoren für die Bewertung des IST-Zustandes, der Prognose und der Wirkungskontrolle.
- **Anhang D** enthält eine Hilfstabelle zur Beurteilung der Gewässerabschnitte und zur Festlegung der Ziele.
- **Anhang E** liefert Informationen zu den möglichen schwalldämpfenden Massnahmen, zur Steuerung von Massnahmen und zur Bestimmung von repräsentativen Abflussganglinien.
- **Anhang F** liefert Informationen zu den Habitatmodellierungen.
- **Anhang G** erläutert in Form einer Checkliste die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen.
- **Anhang H** enthält ein Glossar und eine Beschreibung der Abkürzungen.

Aktualisierung des vorliegenden Moduls
Die Aktualisierung des vorliegenden Moduls ist entsprechend dem Stand des Wissens und den Erkenntnissen der Praxis nach Bedarf bis 2030 durch das BAFU vorgesehen. Damit wird ein Lernprozess in Gang gesetzt.

1.2 Rechtliche Grundlagen

Wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk
Das Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer vom 24. Januar 1991 (GSchG, SR 814.20) verpflichtet die Inhaber von Wasserkraftwerken in Artikel 39a dazu, kurzfristige künstliche Änderungen des Wasserabflusses (Schwall-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 1,5-mal grösser ist als bei Sunk und gleichzeitig die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften nachteilig verändert werden. Ist nur eine dieser Voraussetzungen erfüllt, liegt keine wesentliche Beeinträchtigung vor. Die Massnahmen 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 (Art. 39a Abs. 2 GSchG).

Die Pflicht, wesentliche Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk zu verhindern oder zu beseitigen betrifft sowohl Inhaber von bestehender Kraftwerke wie auch Neuanlagen.

Sanierung bestehender Anlagen
Bei bestehenden Anlagen oder einer Konzessionserneuerung ohne Ausbau richtet sich die Sanierungspflicht zur Beseitigung der bestehenden Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk nach Artikel 83a GSchG. Dieser legt fest, dass die bestehenden schwallerzeugenden Anlagen 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 sind laut Artikel 83b Absatz 1 GSchG verpflichtet, die notwendigen Massnahmen zur Beseitigung der Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk bei bestehenden Anlagen zu planen und die Fristen zu deren Umsetzung festzulegen. Aufgrund der strategischen Planung unterbreitet der Kanton den Anlageninhabern Vorschläge für mögliche Sanierungsmassnahmen. Die Massnahmen sind bei kantonsübergreifenden Einzugsgebieten nicht nur innerhalb, sondern gemäss Artikel 46 Absatz 1 GSchV zwingend auch zwischen den Kantonen zu koordinieren.

Die Inhaber von Anlagen, welche Massnahmen treffen müssen, sind verpflichtet verschiedene Varianten von Massnahmen auszuarbeiten (Art. 41g Abs. 1 GSchV). Die Massnahmen sind im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers aufeinander und auf andere Gewässerschutzmassnahmen abzustimmen (Art. 39a Abs. 3 GSchG in Verbindung mit Art. 46 Abs. 1 GSchV). Anschliessend bestimmt der Kanton für jede Anlage die vorteilhafteste der von den Inhabern ausgearbeiteten Massnahmen (Bestvariante) und erteilt den Inhabern den Auftrag zur Ausarbeitung des entsprechenden Bauprojektes. Vor dem endgültigen Entscheid über das Sanierungsprojekt wird das BAFU angehört (Art. 41g Abs. 2 GSchV). Das BAFU prüft im Hinblick auf das Gesuch zur Entschädigung für die Sanierungsmassnahme nach Artikel 17d Absatz 1 der Energieverordnung vom 7. Dezember 1998 (EnV, SR 730.01) auch, ob die Anforderungen nach Anhang 1.7 Ziffer 2 EnV erfüllt sind. Für Einzelheiten zur Berechnung der anrechenbaren Kosten wird auf auf das Modul «Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen – Finanzierung der Massnahmen» (BAFU 2016) (nachfolgend Modul «Finanzierung» genannt) sowie auf die Verordnung des Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation vom 11. März 2016 über die Berechnung der anrechenbaren Kosten von betrieblichen Sanierungsmassnahmen bei Wasserkraftwerken (VKSWk, SR 730.014.1) verwiesen.

Ausbauprojekte und Neuanlagen
Bei einer Konzessionserneuerung mit Ausbau (z. B. Erhöhung der turbinierten Wassermenge bei einem bestehenden Speicherkraftwerk) oder einer Neukonzessionierung (Neuanlage) muss die durch den Aus- oder Neubau bedingte Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk gestützt auf Art. 39a GSchG verhindert werden. Entsprechend wird bei einem Ausbauprojekt nur der Teil der Massnahmen entschädigt, welcher bereits bestehende Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk beseitigt (Art. 15a^{bis} des Energiegesetzes vom 26. Juni 1998 [EnG, SR 730.0]).

Erfolgskontrolle bestehend aus Umsetzungs- und Wirkungskontrolle
Im Rahmen der Sanierung von bestehenden Anlagen sind die Kraftwerksinhaber verpflichtet die Wirksamkeit der getroffenen Schwall-Sunk Massnahmen, nach Anordnung der Behörde, zu prüfen (Art. 41g Abs. 3 GSchV). Diese Wirkungskontrolle ist integraler Bestandteil der Massnahmenplanung und ist bei der Projektierung, insbesondere auch für die Kostenschätzung, zu berücksichtigen. Die Kantone sind verpflichtet, dem Bund alle vier Jahre (erstmalig Ende 2018) Bericht über die durchgeführten Massnahmen (Umsetzungskontrolle) und deren Wirkung (Wirkungskontrolle) zu erstatten (Art. 83b Abs. 3 GSchG).

Bei Neuanlagen ist die Durchführung einer Erfolgskontrolle ebenfalls notwendig. Die Kraftwerksinhaber sind nach Artikel 46 Absatz 1 des Bundesgesetzes über den Umweltschutz (USG, SR 814.01) verpflichtet, die zur Überprüfung der Wirksamkeit der Massnahme erforderlichen Abklärungen durchzuführen. Die Ausgestaltung der Erfolgskontrolle richtet sich nach dem Verhältnismässigkeitsprinzip. Die Kantone wiederum müssen, über die getroffenen Massnahmen und deren Wirksamkeit für den Gewässerschutz informieren (Art. 50 GSchG, Art. 49 Abs. 2 GSchV).

Sollte die Erfolgskontrolle aufzeigen, dass mit der gewählten Massnahme die festgelegten Ziele nicht erreicht werden können, bleibt die Anordnung weitergehender Massnahmen zur Beseitigung bestehender wesentlicher Beeinträchtigungen im Gewässer vorbehalten.

1.3 Anwendungsbereich des Moduls

Das vorliegende Modul regelt die Erarbeitung und Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk und die Inhalte der Erfolgskontrolle (Abb. 2, blau umrandet) sowie die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen. Nicht Gegenstand dieses Moduls sind die bauliche/betriebliche Projektierung von Massnahmen, deren Bewilligung, Entschädigung und Umsetzung.

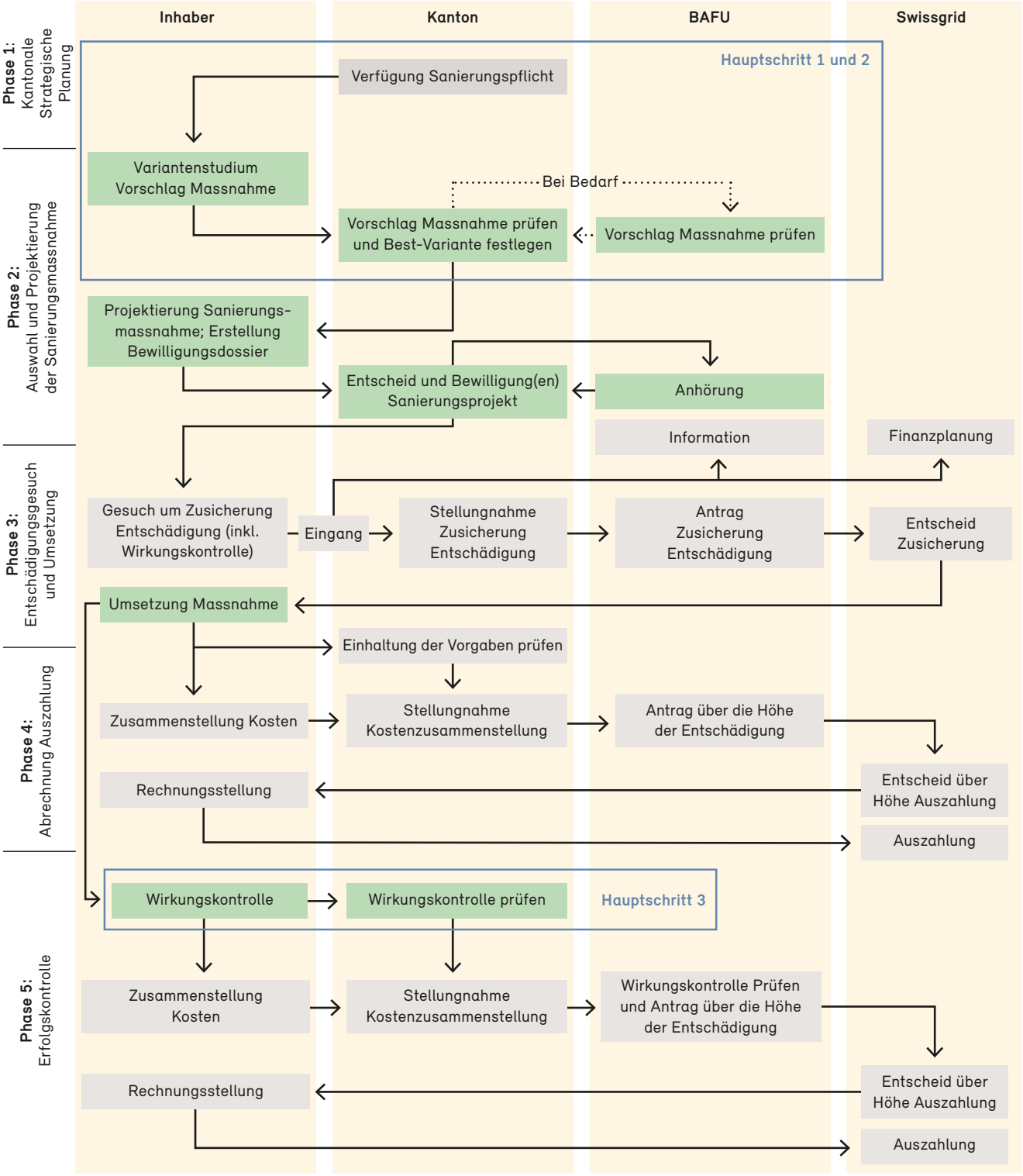
Bei der Sanierung bestehender Anlagen verfügt der Kanton (bei Grenzkraftwerken der Bund) auf Grund der kantonalen Planung die Sanierungspflicht, bevor mit der Erarbeitung und Bewertung von Massnahmen durch den Kraftwerksinhaber (Konzessionär) angefangen werden kann. Abbildung 2 gibt einen allgemeinen Überblick über die durchzuführenden Schritte und zeigt die Rolle und Aufgaben der verschiedenen Akteure. Aus dieser Abbildung ist auch zu entnehmen, dass eine enge Zusammenarbeit zwischen der verschiedenen Akteure notwendig und zielführend ist.

Das vorliegende Modul behandelt den generellen Ablauf der verschiedenen Phasen der Schwall-Sunk Sanierung (Abb. 2), ohne im Detail auf die kantonalen Verfahrensabläufe einzugehen. Beispielsweise ist die Erteilung von Konzessionen im Normalfall in der Kompetenz der Kantone, in einigen Fällen aber in der Kompetenz der Gemeinden: Abb. 2 bildet den Normalfall ab, welcher für die Spezialfälle entsprechend anzupassen ist.

Abb. 2

Gesamtablauf.

Blau umrandet: Gegenstand des vorliegenden Moduls. Die 3 Hauptschritte sind in den Abbildungen 3 und 4 Kapitel 2 näher erläutert. Bei Grenzkraftwerken tritt im Ablauf das Bundesamt für Energie (BFE) an die Stelle des Kantons. Graue Vierecke betreffen die Finanzierung und somit nur Sanierungsprojekte, grüne Vierecke betreffen Sanierungsprojekte sowie Neuanlagen.



2 Vorgehen zur Festlegung der Massnahmen und Erfolgskontrolle

2.1 Einleitung

Das vorliegende Modul konzentriert sich auf Massnahmen zur Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk bei bestehenden Anlagen bzw. dessen Verhinderung bei Neuanlagen. Andere Gewässerschutzmassnahmen (v. a. Revitalisierung von Gewässern und Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sicherung angemessener Restwassermengen, Hochwasser- und Grundwasserschutz) fliessen als Rahmenbedingung ein, wenn ein Koordinationsbedarf mit ihnen besteht, oder wenn sie als begleitende oder ergänzende Massnahmen zu den Schwall-Sunk bezogenen Massnahmen einbezogen werden (Kap. 4.4).

Das hier vorgeschlagene Vorgehen zur Erarbeitung und Bewertung der Massnahmen orientiert sich am aktuellen Kenntnisstand in der komplexen Thematik Schwall-Sunk. Es ermöglicht, dass trotz bestehender Wissenslücken hinsichtlich der quantitativen und qualitativen Zusammenhänge von Abflussregime, der Morphologie sowie der Anforderungen an die aquatische und terrestrische Ökologie, künftige Zustände möglichst objektiv und transparent bewertet werden können. Dieser Ansatz erfordert umfangreiche und solide gewässerökologische sowie hydrologisch-hydraulische Grundlagen. Der Aufwand ist jedoch durch die zu erwartenden hohen Kosten von Schwall-Sunk Massnahmen gerechtfertigt.

2.2 Überblick über das Vorgehen

Zur Festlegung der Massnahmen und für die Erfolgskontrolle schlägt das vorliegende Modul ein Vorgehen in drei Hauptschritten vor (Abb. 3 & 4):

1. Zielsetzung.
2. Variantenstudium und Wahl der Massnahmen.
3. Umsetzung mit anschliessender Erfolgskontrolle.

Dieser Ablauf kommt ohne Änderungen zur Anwendung, wo nur ein Kraftwerk oder eine Gruppe von Kraftwerken desselben Inhabers Schwall-Sunk in einem Einzugsgebiet oder einer Fliessgewässerstrecke verursacht. Bei komplexeren Fällen, z. B. in einem Einzugsgebiet oder auf einer Fliessgewässerstrecke mit mehreren Kraftwerken unterschiedlicher Inhaber, sind zusätzlich die Ausführungen in Kapitel 2.4 zu berücksichtigen.

Als Grundlage für die Bewertung der Indikatoren (Anhang C) in den drei Hauptschritten sind die zu untersuchenden Gewässerabschnitte (Anhang B) und Abflussganglinien (Anhang E) festzulegen. Anhang A fasst die relevanten rechtlichen Grundlagen zusammen und Anhang G erläutert die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen pro Hauptschritt.

Hauptschritt 1: Zielsetzung (Kap. 3)
Die Massnahmen zur Beseitigung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk müssen sich an definierten Zielen orientieren und auf deren Erfüllung abzielen. Bei der Sanierung bestehender Anlagen knüpft die Zielsetzung an die strategische Planung der Kantone und an die Verfügung der Sanierungspflicht an, indem sie bei Bedarf deren Datengrundlage aktualisiert und ergänzt. Der Hauptschritt 1 umfasst die Arbeitsschritte: (i) Defizitanalyse, (ii) Ursachenanalyse, (iii) Festlegung der Ziele, (iv) Vorauswahl der Massnahmen, (v) Absprache des Kraftwerksinhabers mit den kantonalen Behörden über den Inhalt des Variantenstudiums.

Mit der Zielsetzung wird sichergestellt, dass die Datengrundlage für das weitere Vorgehen den notwendigen Aktualitäts- und Vollständigkeitsgrad aufweist sowie dass alle Vorgaben und Ziele für die Erarbeitung der Massnahmen definiert sind.

Es wird den Kraftwerksinhabern empfohlen, die im Variantenstudium weiter auszuarbeitenden Massnahmen so-

wie allfällige Vorgaben und Rahmenbedingungen für das Variantenstudium in Absprache mit dem Kanton festzulegen (Kap. 3.6).

Hauptschritt 2: Variantenstudium und Wahl der Massnahmen (Kap. 4)
Der Wahl der geeignetsten Massnahme geht ein gründliches Variantenstudium von möglichen Massnahmen voraus. Die Erarbeitung und die Bewertung der Varianten von Massnahmen richten sich nach den Vorgaben der im vorangehenden Hauptschritt definierten Ziele. Der Hauptschritt 2 umfasst die Arbeitsschritte: (i) Erarbeitung der Varianten von Massnahmen gemäss Absprache, (ii) Bewertung und Wahl der geeignetsten Massnahme, (iii) Koordination mit anderen, nicht Schwall-Sunk bezogenen Gewässerschutzmassnahmen.

Nach Abschluss des Hauptschrittes 2 liegt ein konkreter Massnahmenvorschlag vor (Bestvariante für Projektierung), welcher dem Kanton und bei Bedarf dem BAFU zur Prüfung vorgelegt wird (Abb. 2).

Die darauf folgende Projektierung der baulichen oder ggf. betrieblichen Massnahmen, deren Bewilligung, Entschädigung und Umsetzung sind nicht Bestandteil des vorliegenden Moduls (Abb. 2 & 3).

Abb. 3

Schema des Vorgehens zur Festlegung der Massnahmen und Erfolgskontrolle.

Der Beschrieb zum jeweiligen farbig dargestellten Arbeitsschritt ist in den entsprechenden Kapiteln und Anhängen zu finden.

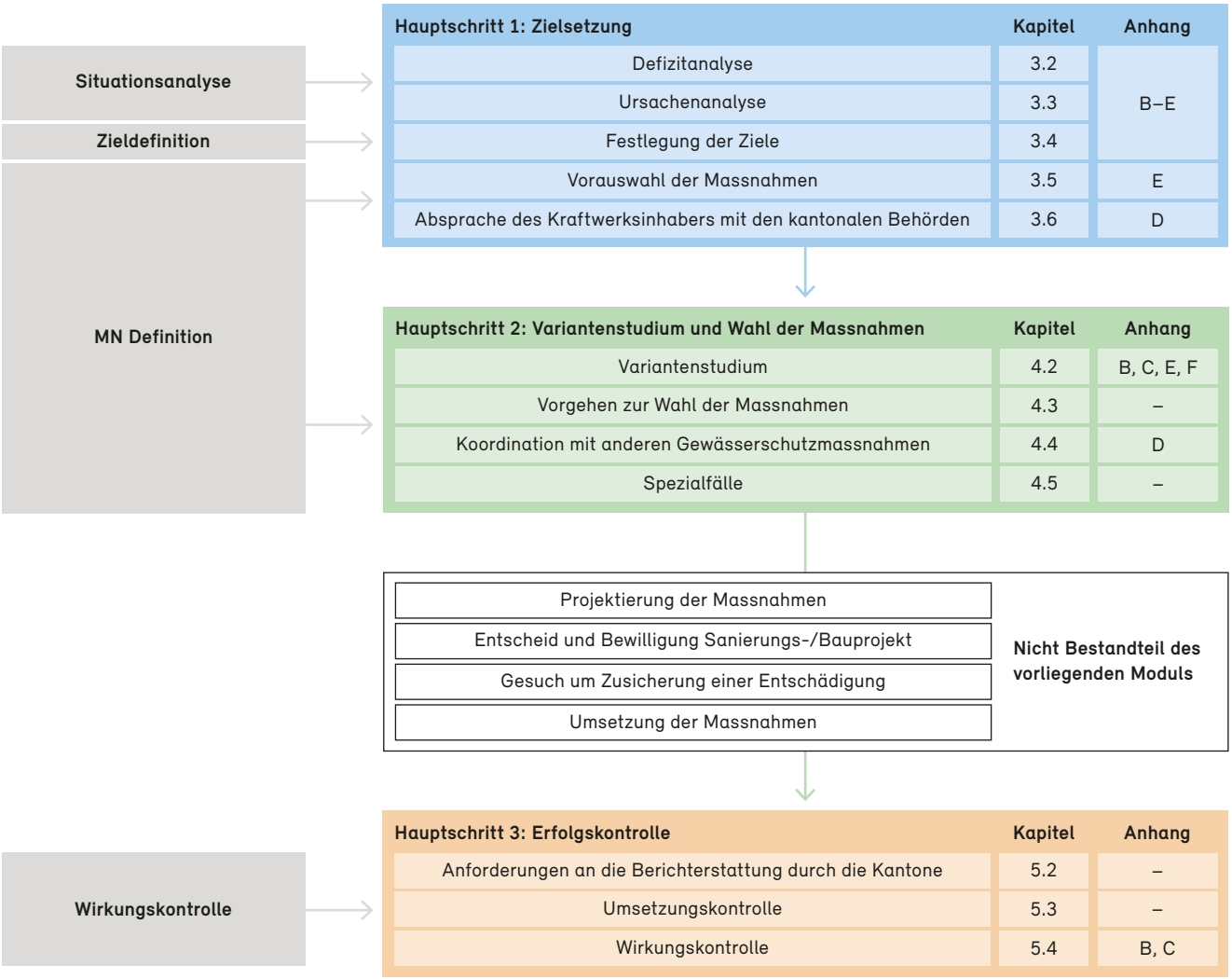
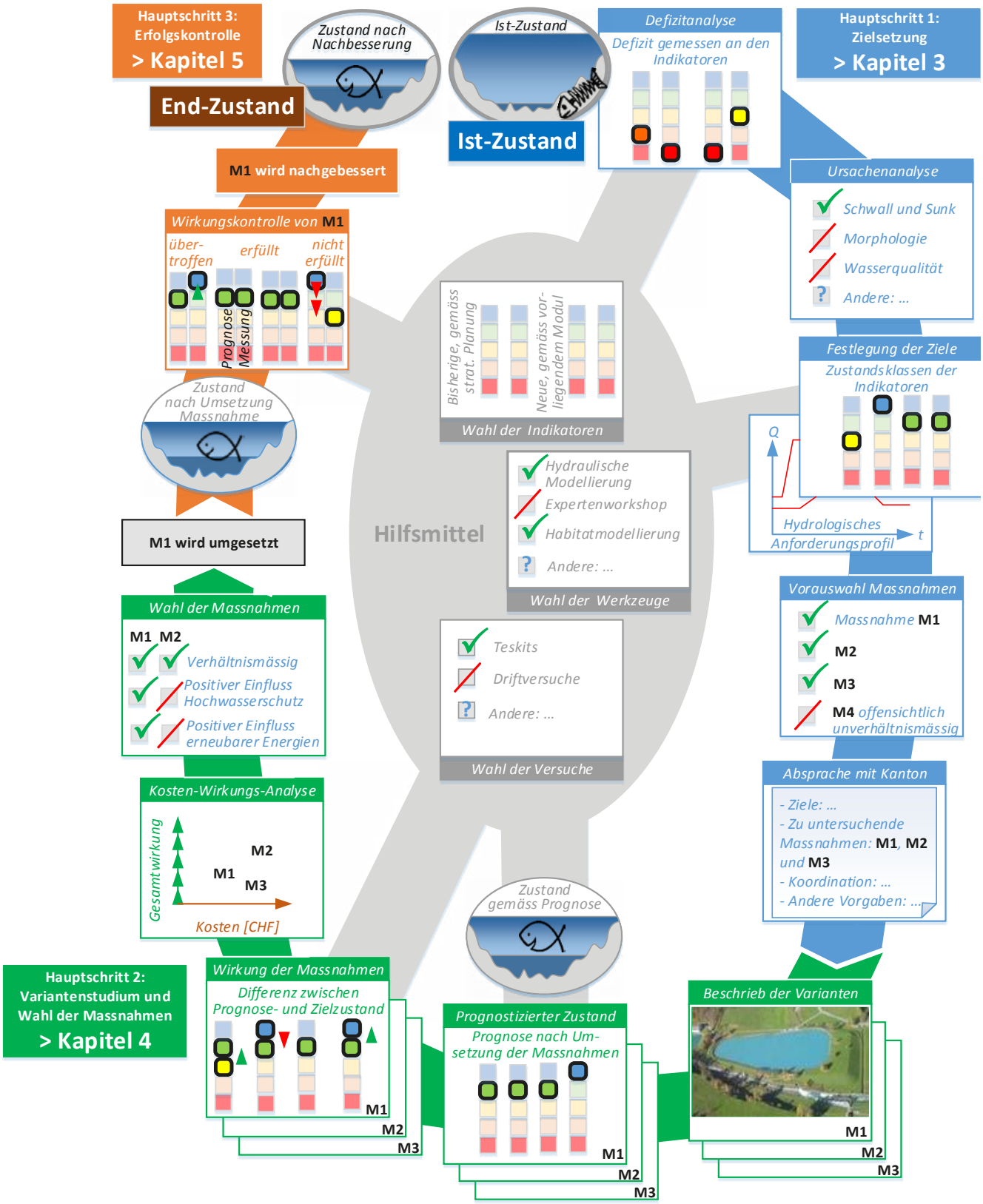


Abb. 4

Vorgehen des vorliegenden Moduls, schematisch dargestellt.



Hauptschritt 3: Erfolgskontrolle (Kap. 5)
Die Zielerreichung ist mittels einer periodisch durchführbaren Erfolgskontrolle zu überprüfen. Diese setzt sich aus Umsetzungs- und Wirkungskontrolle zusammen. Erstere überprüft, ob die verfügten Massnahmen wie geplant umgesetzt wurden und Letztere überprüft, ob die durch die Kraftwerksinhaber umgesetzten Massnahmen die gewünschte ökologische Wirkung entfalten. Werden mit den umgesetzten Massnahmen die festgelegten Ziele nicht erreicht, können vom Kanton zusätzliche Massnahmen verfügt werden.

2.3 Unterschiede im Vorgehen bei Sanierungen bestehender Anlagen und Neuanlagen

Das vorliegende Vorgehen kann bei der Sanierung bestehender Anlagen sowie bei Neuanlagen (Neukonzessionierungen) angewendet werden. Die wesentlichen Unterschiede im Vorgehen sind:

- Bei der Sanierung bestehender Anlagen muss die wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk beseitigt werden, bei Neuanlagen muss eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk verhindert werden. Bei Neuanlagen beruht die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung auf der Prognose der Indikatoren nach Bau der Anlage.
- Bei bestehenden Anlagen sind Defizit- und Ursachenanalyse (Kap. 3.2 & 3.3) sowie die Vorauswahl der Massnahmen (Kap. 3.5) in der Regel schon im Rahmen der strategischen Planung der Kantone erfolgt und werden nur bei Bedarf ergänzt oder aktualisiert. Danach werden die Ziele festgelegt (Kap. 3.4), welche mit den Schwall-Sunk Massnahmen zu erfüllen sind. Bei Neuanlagen wird empfohlen, alle diese Arbeitsschritte im Rahmen des Konzessionsverfahrens gemäss vorliegendem Modul durchzuführen, wobei die Defizit- und Ursachenanalyse als Referenz der allfälligen nicht Schwall-Sunk bedingten Beeinträchtigungen im IST-Zustand (vor Bau der Anlage) dient.
- Die Absprache zwischen Kraftwerksinhaber(n) und kantonaler Behörde (Kap. 3.6) wird für die Sanierung bestehender Anlagen empfohlen. Bei Neuanlagen ist dieser Schritt Teil des Konzessionsverfahrens.
- Zur Ermittlung der ökologische Gesamtwirkung im Rahmen des Variantenstudiums (Kap. 4.2) ist für Sanierungsprojekte die Differenz zwischen prognostiziertem Zustand (mit Schwall-Sunk Massnahmen) und Zielzustand zu berücksichtigen. Bei Neuanlagen wird, im Rahmen des Konzessionsverfahrens, eine Prognose des Zustandes nach Bau der Anlage mit und ohne Schwall-Sunk Massnahme gemacht.
- Die Wahl der geeignetsten Massnahmen (Bestvariante; Kap. 4.3) erfolgt für Sanierungsprojekte wie auch für Neuanlagen unter Berücksichtigung der Kriterien gemäss Artikel 39a Absatz 2 GSchG. Bei Sanierungsprojekten ist die offizielle Anhörung des BAFU durch den Kanton spätestens vor dem endgültigen Entscheid über das Sanierungsprojekt vorgesehen (Abb. 2). Bei Neuanalgen erfolgt der Einbezug von Kanton und BAFU im Rahmen des Konzessionsverfahrens.
- Auch im Spezialfall einer Konzessionserneuerung mit Ausbau ist die durch den Ausbau bedingte Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk gestützt auf Art. 39a GSchG zu verhindern. Für die Ermittlung der ökologische Gesamtwirkung sind zwei Prognosen notwendig, eine zur Wirkung der Schwall-Sunk Massnahmen ohne Ausbau und eine zur Wirkung der Schwall-Sunk Massnahmen mit Ausbau (Kap. 4.5).
- Sowohl im Rahmen der Sanierung von bestehenden Anlagen als auch bei Massnahmen bei Neuanlagen sind die Kraftwerksinhaber zu einer Erfolgskontrolle verpflichtet.

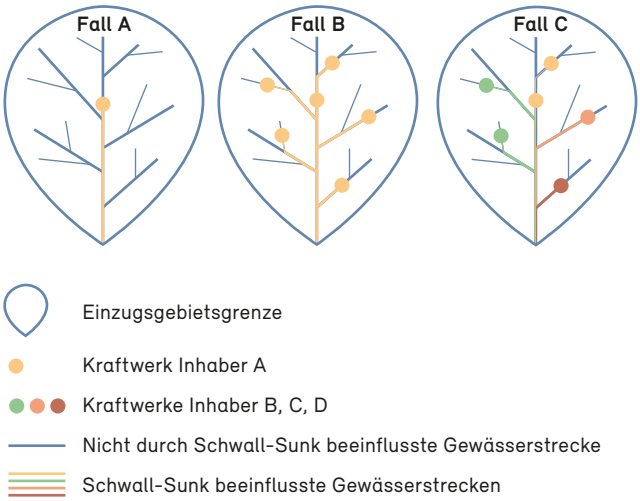
2.4 Koordination der Kraftwerke im Einzugsgebiet

Wenn mehrere Kraftwerke an einer Fliessgewässerstrecke oder im gleichen Einzugsgebiet ihr Wasser turbinieren und damit eine wesentliche Beeinträchtigung verursachen, müssen die Schwall-Sunk Massnahmen im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers aufeinander abgestimmt werden (Art. 39a Abs. 3 GSchG). Diese Koordinationspflicht obliegt in erster Linie den Kantonen, gilt für Sanierungsprojekte wie auch für Neuanlagen und ist auch bei kantonsübergreifenden Situationen zu gewährleisten. Bei landesübergreifenden Situationen erfolgt die Koordination durch das Bundesamt für Energie (BFE).

Fallunterscheidung
Es können grundsätzlich drei Fälle unterschieden werden (Abb. 5):

1. Fall A: Einfacher Fall mit einem Kraftwerk.
2. Fall B: komplexer Fall mit mehreren Kraftwerken, welche aber alle demselben Inhaber gehören.
3. Fall C: komplexer Fall mit mehreren Kraftwerken, welche verschiedenen Inhabern gehören.

Abb. 5
Beeinflussung eines Gewässers durch Schwall-Sunk verursachende Kraftwerke in einem Einzugsgebiet: die drei möglichen Fälle.



Fall A: Einfacher Fall mit einem Kraftwerk
Im Fall A kann das Vorgehen gemäss Abbildung 3 direkt und ohne zusätzliche Arbeitsschritte angewendet werden.

Fall B: Mehrere Kraftwerke, ein Inhaber
Wenn alle Kraftwerke demselben Inhaber gehören (Fall B), können diese ökonomisch und juristisch als ein einziges System betrachtet werden. Organisatorisch wird dieses System wie Fall A behandelt und das Vorgehen gemäss Abbildung 3 kommt ohne Änderungen zur Anwendung.

Technisch gesehen sind das Variantenstudium und das Vorgehen zur Wahl der Massnahmen in diesem Fall jedoch komplexer als in Fall A, denn es besteht die Möglichkeit, nicht nur die baulichen Massnahmen, sondern auch den Betrieb der Kraftwerke aufeinander abzustimmen. Die Palette der möglichen Lösungsansätze ist somit im Vergleich zu Fall A grösser.

Fall C: Mehrere Kraftwerke, mehrere Inhaber
Der Fall C (mehrere Kraftwerke mit verschiedenen Inhabern) ist sowohl technisch als auch ökonomisch und juristisch komplex. Auch die Koordination der Planung (terminlich, organisatorisch, geographisch, technisch, usw.) ist anspruchsvoll. In diesem Fall wird auf das integrale Vorgehen gemäss dem Modul «Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben» (BAFU 2013) verwiesen.

Dem Kanton obliegt die Koordinationspflicht. Zur Schaffung einer einheitlichen Projektorganisation und -leitung im ganzen Einzugsgebiet kann er unter anderem auch einen federführenden Kraftwerksinhaber bestimmen.

3 Zielsetzung

3.1 Überblick

Die Festlegung der Ziele einer Massnahme bildet die Ausgangslage für das Variantenstudium von Massnahmen zur Beseitigung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk und für die Wahl der geeignetsten Massnahmen (Kap. 4). Voraussetzung für eine präzise Zielsetzung ist, dass deren Datengrundlage den notwendigen Aktualitäts- und Vollständigkeitsgrad aufweist. Am Schluss der nachfolgend aufgeführten Arbeitsschritte der Zielsetzung – (i) Defizitanalyse, (ii) Ursachenanalyse, (iii) Festlegung der Ziele, (iv) Vorauswahl der Massnahmen, (v) Absprache des Kraftwerksinhabers mit den kantonalen Behörden – sind alle Vorgaben und Ziele für die Erarbeitung der Massnahmen definiert.

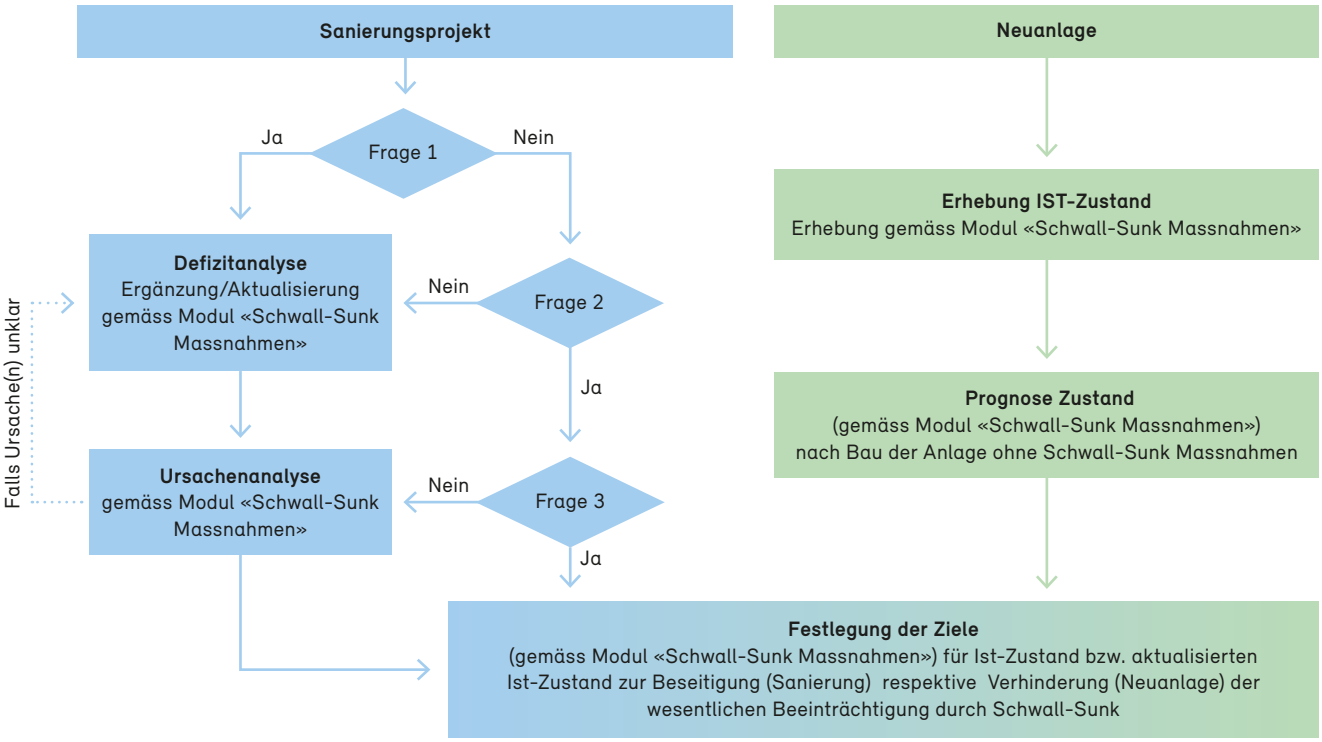
Das Vorgehen für Sanierungsprojekte und Neuanlagen erfolgt gemäss Abbildung 6. Anhang G Teil II erläutert die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen für diesen Hauptschritt 1.

Überprüfung der Datengrundlagen bei Sanierungsprojekten

Bei jedem Sanierungsprojekt ist zu überprüfen, ob die Sanierungsverfügung und die dazugehörige strategische Planung der Kantone detailliert und umfassend genug ist (d. h. ob alle Indikatoren der Grundbewertung gemäss Modul «Sanierung Schwall-Sunk – Strategische Planung» [Baumann et al. 2012; nachfolgend Modul «Strategische Planung» genannt] erhoben wurden) sowie ob klar genug ist, worauf die festgestellten Beeinträchtigungen zurück-

Abb. 6

Defizit-, Ursachenanalyse und Festlegung der Ziele bei Sanierungsprojekten und Neuanlagen.



Frage 1: Haben sich Morphologie, Geschiebehaushalt, Abflussregime oder Wasserqualität seit der kantonalen strategischen Planung Schwall-Sunk am untersuchten Gewässerabschnitt massgeblich verändert?

Frage 2: Sind die Indikatoren gemäss Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) abschliessend beurteilt (d. h. Grundbewertung mit allen Indikatoren durchgeführt)?

Frage 3: Sind die Schwall-Sunk bedingten Beeinträchtigungen eindeutig erkannt?

zuführen sind und ob die Rahmenbedingungen seit der Datenerhebung unverändert sind (z. B. Morphologie wurde verbessert, Geschiebehaushalt wurde saniert, Kraftwerksbetrieb wurde verändert). Treffen diese drei Bedingungen zu, so kann auf die Defizit- und Ursachenanalyse nach vorliegendem Modul verzichtet werden und es kann direkt zur «Festlegung der Ziele» (Kap. 3.4) übergegangen werden. Dies ist schriftlich festzuhalten, beispielsweise durch Ausfüllen des Deckblattes sowie von Teil 1 und 2 der Hilfstabelle im Anhang D. Wenn nicht, wird mit der nachfolgenden Aktualisierung bzw. Ergänzung der Defizit- und Ursachenanalyse weitergefahren (Kap. 3.2 & 3.3).

Auch wenn die Datengrundlagen im Rahmen der Defizit- und Ursachenanalyse nicht ergänzt oder auf den neusten Stand gebracht werden müssen, wird im Rahmen der Festlegung der Massnahmen insbesondere im Hinblick auf die Prognose der Wirkung der Massnahmen eine Neuerhebung, zumindest der hier vorgeschlagenen Kernindikatoren, notwendig sein.

3.2 Defizitanalyse

Sinn und Zweck der Defizitanalyse

Die Defizitanalyse (IST-Zustand) bestimmt die Art und das Ausmass der bestehenden biologisch-strukturellen Beeinträchtigungen. Eine aussagekräftige Defizitanalyse gibt anhand von Indikatoren Hinweise zum aktuellen Zustand der Gewässerökologie, im Prinzip – aber nicht ausschliesslich – in Bezug auf die Auswirkungen von Schwall-Sunk.

3.2.1 Indikatoren

Abiotische und biotische Indikatoren

Die umfassenden gewässerökologischen Untersuchungen der Defizitanalyse stützen sich auf mehrere biotische und abiotische Indikatoren. Mit diesen wird überprüft, ob die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften gemäss Artikel 41e Buchstabe b GSchV nachteilig verändert wurden (bestehende Anlagen) oder werden können (Neuanlagen). Pflanzen bzw. pflanzliche Lebensgemeinschaften reagieren auf hydrologische Veränderungen allgemein weniger sensitiv als Fische und Makroinvertebraten, weshalb sich in der Defizitanalyse aufgrund des heutigen Wissenstandes kein eigener Indikator für die Bemessung ihrer Beeinträchtigung findet. Die Defizitanalyse setzt 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 Zustand anzeigen.

Indikatorenset für die Defizitanalyse

Für die Defizitanalyse stehen das Indikatorenset aus dem Modul «Strategische Planung» und das Indikatorenset aus dem vorliegenden Modul «Schwall-Sunk – Massnahmen» zur Verfügung. Im vorliegenden Modul wurden bestehende Indikatoren nach aktuellem Wissenstand überarbeitet und mit neuen Indikatoren ergänzt, welche sich zur Prognose eignen (vgl. z. B. Bruder 2012, Auer et al. 2014, Habersack & Hauer 2014; Abb. 7).

Neue Indikatoren im Vergleich zum Modul «Strategische Planung»

Die Kernindikatoren «Hydrologische Kenngrössen», «Habitateignung Fische», «Habitateignung Makrozoobenthos» und «Drift» wurden neu in das vorliegende Modul aufgenommen, da sie Schwall-Sunk sensitiv sind.

Der neue Kernindikator «Hydrologische Kenngrössen» umfasst die vier massgebenden hydrologischen Kenngrössen der Schwall-Sunk Abflussganglinie: (i) Schwallabfluss, (ii) Sunkabfluss, (iii) Pegelanstiegsrate, (iv) Pegelrückgangsrate. Der Indikator «Mindestabfluss» vom Modul «Strategische Planung» wird über die Kenngrösse Sunkabfluss berücksichtigt.

Der neue Zusatzindikator «Äussere Kolmation» wird nur in Einzelfällen mit hoher Schwall-Sunk bedingter Trübung und festgestellter Problematik der fortschreitenden äusseren Kolmation zur Erhebung empfohlen. Er beschreibt die Limitierung der Bewohnbarkeit der Habitate und kann mit entsprechendem Aufwand mittels Modellierungen auch prognostiziert werden.

Abb. 7

Indikatorenset für die Defizitanalyse (vgl. Anhang C).

Mit einem Klick auf die Indikatoren gelangen Sie direkt zum jeweiligen Kapitel.

Kurzbezeichnung		Defizitanalyse (IST-Zustand)	Indikator Modul «Strategische Planung»	Hauptänderungen bzgl. Modul «Strategische Planung» bzw. Ziele neuer Indikatoren
A2	Hydrologische Kenngrössen	●		Definition gewässerspezifischer Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen über Wechselwirkung mit anderen Indikatoren
F2*	Stranden von Fischen	●	●	Wertefunktionen, Fischarten und -Entwicklungsstadien
F3*	Laichareale der Fische	●	●	Wertefunktion, Laichgrubenkartierung, Laichgruben- und Brutboxentests
F6	Habitateignung Fische	●		Modellierung Habitateignung Fische
B5	Habitateignung Makrozoobenthos	●		Modellierung Habitateignung Makrozoobenthos
Q1*	Wassertemperatur	●	●	Messstandort, Prognose
F4*	Jungfischvorkommen	●	●	Fischarten, Verzicht auf Wertefunktion, vormals: «Reproduktion der Fischfauna»
B1*	Biomasse und Diversität Makrozoobenthos	●	●	Bewertung Biomasse und Diversität, nur EPT-Taxa
B3	Längenzonation Makrozoobenthos	●	●	
B4	EPT-Familien Makrozoobenthos	●	●	
D1	Drift	●		Definition gewässerspezifischer Schwellenwerte gestützt auf Schwallversuche
F1*	MSK-Modul Fische	●	●	Befischungsmethodik, Interpretation
B2*	MSK-Modul Makrozoobenthos	●	●	Erhebungsmethodik, Interpretation
H1*	Innere Kolmation	●	●	Erhebungsmethodik
H2	Äussere Kolmation	●		Quantifizierung Bewohnbarkeit Habitate

● Kernindikatoren ● Breitbandindikatoren (X*) Indikator überarbeitet
● Schwall-Sunk sensitive Indikatoren ● Zusatzindikatoren (X) Neuer Indikator

Der Indikator «Fischereiliche Produktivität» vom Modul «Strategische Planung» wurde in Rahmen der strategischen Planung von vielen Kantonen und von Fachexperten als nicht besonders Schwall-Sunk sensitiv und zum Teil sogar als problematisch bei der Bewertung erachtet (z. B. auf Grund von Besatz mit Jungfischen). Aus diesem Grund erscheint dieser Indikator nicht mehr im vorliegenden Modul und es kann auf dessen Erhebung verzichtet werden.

Kernindikatoren
Als Kernindikatoren werden diejenigen Indikatoren bezeichnet, welche Schwall-Sunk sensitiv und gut prognostizierbar (oder mindestens semi-quantitativ abschätzbar) sind. Es handelt sich um die sechs Indikatoren: (i) «Hydrologische Kenngrössen», (ii) «Stranden von Fischen», (iii) «Laichareale der Fische», (iv) «Habitateignung Fische», (v) «Habitateignung Makrozoobenthos», (vi) «Wassertemperatur». Mindestens fünf von sechs Kernindikatoren sollten im Hinblick auf die Prognose zur Wirkung der Massnahmen und für den Variantenvergleich (Kap. 4) erhoben werden. Wobei der Indikator A2 «Hydrologische Kenngrössen» nicht weggelassen werden kann, da dieser in direkter Wechselwirkung mit weiteren Indikatoren steht (Anhang C Indikator A2) sowie für die Festlegung der Ziele (Kap. 3.4) und von repräsentativen Abflussganglinien (Anhang E) ausschlaggebend ist. Durch die Wechselwirkung mit den fünf anderen Kernindikatoren handelt es sich bei A2 «Hydrologischen Kenngrössen» um einen Syntheseindikator der Zielerreichung. Mit dem Indikator A2 alleine kann aber keine abschliessende Aussage zum Zustand des Gewässers und einer allfälligen wesentlichen Beeinträchtigung gemacht werden.

Die Wahl der Indikatoren muss klar, nachvollziehbar dokumentiert und gewässerspezifisch sein. Es wird empfohlen, die Wahl im partizipativen Prozess vorzunehmen.

Schwall-Sunk sensitive Indikatoren und Breitbandindikatoren
Sechs Indikatoren aus dem Modul «Strategische Planung» wurden neu in zwei Klassen aufgeteilt: nicht Schwall-Sunk sensitive sogenannte Breitbandindikatoren («MSK-Modul Fische» und «MSK-Modul Makrozoobenthos») und Schwall-Sunk sensitive Indikatoren («Jungfischvorkommen», «Biomasse und Diversität Makrozoobenthos», «Längenzonation Makrozoobenthos» und «EPT-Familien Makrozoobenthos»). Zu den Schwall-Sunk sensitiven Indikatoren kommt zudem neu der Indikator «Drift». Diese Indikatoren gehören nicht zu den Kernindikatoren, da sie nach heutigem Wissensstand nicht ausreichend prognostizierbar sind. Die Erhebung der Schwall-Sunk sensitiven Indikatoren wird empfohlen, die Breitbandindikatoren hingegen werden nur bei ausreichendem oder gutem Zustand der abiotischen Einflussfaktoren Wasserqualität und Morphologie oder bei einer zur Verfügung stehenden Referenzstrecke zur Erhebung empfohlen. In diesen Fällen können die zwei Breitbandindikatoren («MSK-Modul Fische» und «MSK-Modul Makrozoobenthos») ebenfalls Hinweise auf eine Schwall-Sunk bedingte Beeinträchtigung geben.

Zusatzindikatoren
Die «Innere Kolmation» und «Äussere Kolmation» wurden als Zusatzindikatoren klassiert, da Schwall-Sunk in der Regel nicht die Hauptursache von Kolmation darstellt und sie somit nicht besonders Schwall-Sunk sensitiv sind (Habersack & Hauer 2014). Deren Erhebung empfiehlt sich in Einzelfällen in Einzugsgebieten mit hoher Trübung und damit in Zusammenhang mit Kolmationsprozessen. Sie dienen dem Prozessverständnis und sollten nach Möglichkeit vergleichend zu einer Referenzstrecke beurteilt und ergänzend eingesetzt werden.

Reduziertes Indikatorenset
Soweit für die Defizitanalyse die Anwendung eines reduzierten Indikatorensets ausreichend ist und die Erhebung des gesamten Indikatorensets unverhältnismässig wäre (z. B. bei klaren und einfachen Fällen bei kleinen Kraftwerken), ist es möglich die Erhebung und Analyse in Absprache mit dem Kanton zu vereinfachen, indem begründet auf gewisse Indikatoren verzichtet wird.

3.2.2 Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung

Die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung gemäss der Methode des Moduls «Strategische Planung» ist bei Vollständigkeit der Indikatoren (d. h. alle Indikatoren gemäss Schnelltest oder Grundbewertung) und ausreichender Datenlage für Sanierungsprojekte unverändert möglich.

Definition der wesentlichen Beeinträchtigung
Eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk liegt vor, wenn die Abflussmenge bei Schwall mindestens 1,5-mal grösser ist als bei Sunk **und** die standortgerechte Menge, Zusammensetzung und Vielfalt der pflanzlichen und tierischen Lebensgemeinschaften nachteilig verändert werden (Art. 41e GSchV). Letzteres ist der Fall, wenn die Mehrheit der Kernindikatoren einen mässigen Zu-

stand oder ein Kernindikator einen unbefriedigenden oder schlechten Zustand aufweist. Dies gilt für Sanierungen und Neuanlagen. Bei Neuanlagen beruht die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung auf der Prognose der Kernindikatoren nach Bau der Anlage. In Fällen, in denen die Hälfte der Kernindikatoren einen mässigen Zustand aufweist, soll der Indikator A2, infolge der Wechselwirkung mit den fünf anderen Kernindikatoren, geringer gewichtet werden.

Diese neue Definition der wesentlichen Beeinträchtigung ist präziser aber nicht strenger als die Definition gemäss Modul «Strategische Planung». Nicht strenger, da einzelne Indikatoren weiterhin einen mässigen Zustand aufweisen können. Präziser, da sich die Bestimmung der wesentlichen Beeinträchtigung auf die sechs Kernindikatoren stützt, welche schwall-spezifische Beeinträchtigungen anzeigen und verglichen mit anderen Indikatoren nicht zusätzlich von der Wasserqualität beeinflusst werden. Auch die Gewässermorphologie hat keinen direkten Einfluss auf die Kernindikatoren oder wird bei deren Bewertung mitberücksichtigt.

3.3 Ursachenanalyse

Sinn und Zweck der Ursachenanalyse
Die Ursachenanalyse stellt einen Bezug zwischen den Defiziten des Fliessgewässers und den Ursachen her. Eine Ursachenanalyse ist notwendig, damit die Ursachen der Schwall-Sunk bedingten Beeinträchtigungen möglichst eindeutig erkannt werden und somit entsprechende Ziele für die Massnahmen abgeleitet und festgelegt werden können.

Schwall-Sunk bezogene Ursachen
Die bestehenden Beeinträchtigungen, gemessen an den Indikatoren der Defizitanalyse (Kap. 3.2), geben erste Hinweise bezüglich möglicher Ursachen. Mit einer Ursachenanalyse wird genauer geprüft, worauf die Beeinträchtigungen der einzelnen Indikatoren zurückzuführen sind. Dabei geht es darum zu verstehen, welche hydrologisch-hydraulischen, gewässermorphologischen oder wasserqualitativen Eigenschaften des betrachteten Gewässerabschnitts die Zustandsklasse der Indikatoren bedingen. Erst wenn die Schwall-Sunk bedingten Beeinträchtigungen bekannt sind, können die massgebenden hydrologischen Kenngrössen der Abflussganglinie identifiziert werden, welche die von den Indikatoren angezeigten Beeinträchtigungen verursachen.

Nicht Schwall-Sunk bezogene Ursachen
Auch andere, nicht Schwall-Sunk bezogene Ursachen (z. B. kein ausreichender morphologischer Zustand, keine ausreichende Wasserqualität), die für die Beeinträchtigung mitverantwortlich sind, sollen erkannt werden. Denn es ist auch denkbar, z. B. punktuelle morphologische Massnahmen zur Schaffung von Larven und Jungfisch-Rückzugsorten mit Bereichen geringer Fliessgeschwindigkeit und Abflusstiefe unter Schwallbedingungen ins Variantenstudium gemäss Kapitel 4.2 einfliessen zu lassen (vgl. Anhang E Teil «Bauliche Massnahmen») oder Schwall-Sunk Massnahmen mit morphologische Revitalisierungsmassnahmen abzustimmen um eine noch bessere ökologische Wirkung zu erzielen.

Hilfsmittel für die Ursachenanalyse
Die morphologische und hydrologische Grundlagenerhebung gemäss Anhang B dient zur Interpretation der Defizite und zur Festlegung der Ursachen.

Teil 1 und 2 der Hilfstabelle im Anhang D stellen beispielhaft das Vorgehen dar, wie anhand der Zustandsklasse der Indikatoren der Bezug zu den Defiziten im Gewässer gemacht werden kann. Die vorgeschlagene Matrix kann fallspezifisch, wie am Beispiel gezeigt, zur Bestimmung der Ursachen herbeigezogen werden. Sie hat einen relativ allgemeingültigen Charakter und kann aus diesem Grund das interdisziplinäre Expertenwissen und die Erfahrungen der Fachleute nicht ersetzen.

Fehlen Informationen, um die Ursachen plausibel zu erklären, sind diese durch die Erhebung und Beurteilung von zusätzlichen Indikatoren, die Anwendung von Test-Kits (vgl. Anhang C Indikator F3*), usw. zu bestimmen.

Ausnahmefall: Entlassung aus Sanierungspflicht
Ergibt die Ursachenanalyse, dass keine der vorgefundenen Beeinträchtigungen im Gewässer Schwall-Sunk bedingt sind, sondern andere Ursachen haben, gibt es für die Kraftwerksinhaber die Möglichkeit einer Entlassung aus der Sanierungspflicht. In einem solchen Fall wird die

fragliche Kraftwerksanlage durch den Kanton aus der Sanierungspflicht für Schwall-Sunk entlassen. Es wird dem Kanton empfohlen, vor der Entlassung aus der Sanierungspflicht Rücksprache mit dem BAFU zu nehmen. Dem Konzessionär werden die Untersuchungskosten durch Swissgrid erstattet.

3.4 Festlegung der Ziele

Sinn und Zweck der Zielfestlegung
Sobald die Defizite erfasst und deren Ursachen bekannt sind, müssen die Ziele festgelegt werden, welche mit den Schwall-Sunk Massnahmen zu erfüllen sind. Diese Ziele bilden die Grundlage für das Variantenstudium und die Wahl der Massnahmen gemäss Kapitel 4.

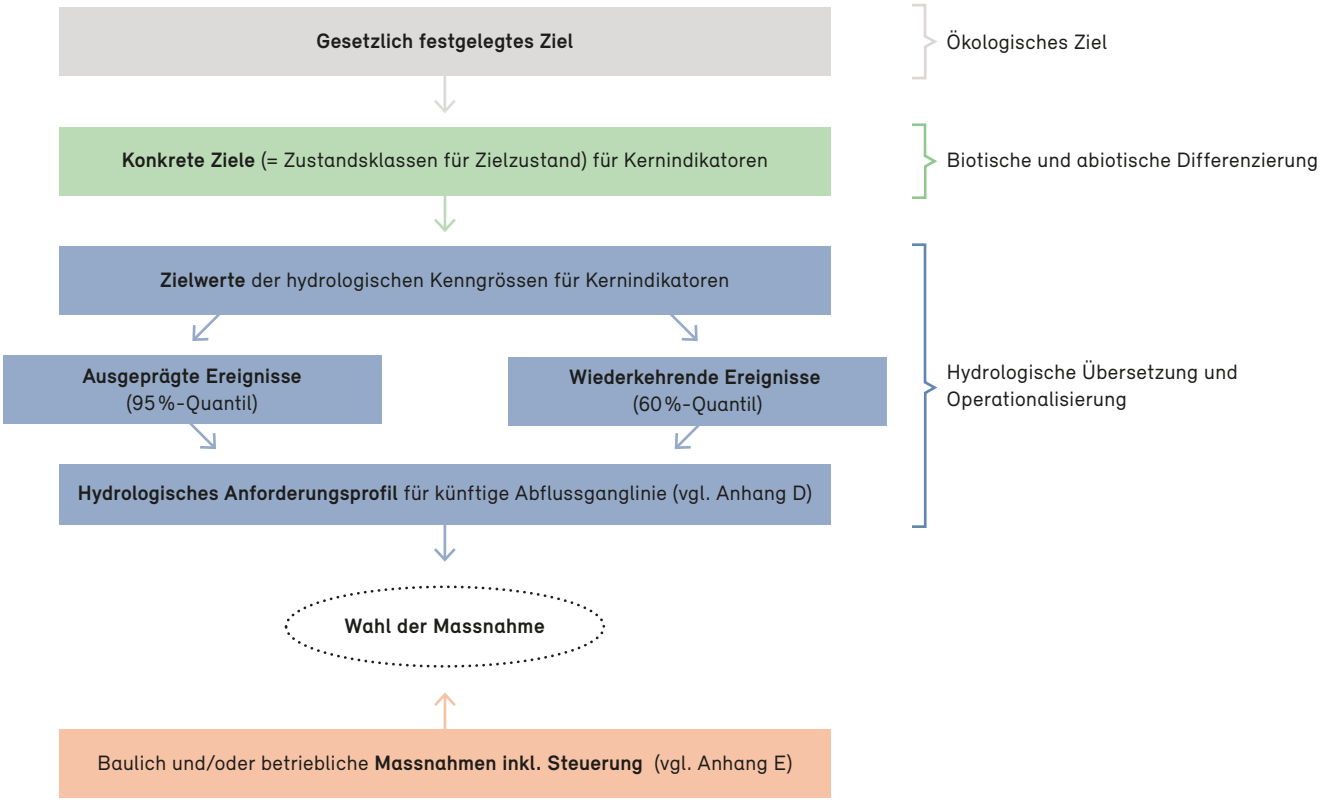
Vorgehen zur Festlegung der Ziele
Das Vorgehen zur Festlegung der Ziele erfolgt gemäss Abbildung 8 und ist nachfolgend beschrieben sowie in Teil 3 der Hilfstabelle im Anhang D exemplarisch illustriert.

Übergeordnetes Ziel der Schwall-Sunk Massnahmen
Das gesetzlich festgelegte Ziel gemäss Art. 39a Absatz 1 GSchG besteht darin, die wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk bei bestehenden Anlagen zu beseitigen bzw. bei Neuanlagen zu verhindern.

Festlegung der konkreten Ziele für einzelne Indikatoren
Für jeden berücksichtigten Kernindikator, der ein wesentliches Defizit anzeigt (mässiger bis schlechter Zustand), müssen konkrete Ziele (= Zustandsklassen für Zielzustand) festgelegt werden, welche mit den Schwall-Sunk Massnahmen zu erfüllen sind um die wesentlichen Beeinträchtigungen zu beseitigen bzw. zu verhindern (vgl. Definition der wesentliche Beeinträchtigung, Kap. 3.2.2).

Folgende vier Grundsätze sollen bei der Festlegung der Ziele für die einzelnen Kernindikatoren beachtet werden:

Abb. 8
Allgemeines Vorgehen zur Festlegung der Ziele, schematisch dargestellt.



1. Die Ziele beziehen sich auf die massgebenden hydrologischen Kenngrössen der Schwall-Sunk Abflussganglinie: (i) Schwallabfluss, (ii) Sunkabfluss, (iii) Pegelrückgangsrate, (iv) Pegelanstiegsrate.
2. Die Ziele berücksichtigen soweit möglich das natürliche Abflussregime und dessen saisonalen Variabilität.
3. Die Ziele berücksichtigen die Leitarten sowie deren Entwicklungsstadien, die Morphologie des Gewässers (Orientierung an vorhandenen Gewässerabschnitten, welche einen möglichst guten morphologischen Zustand haben; vgl. Anhang B) und das ökologische Potenzial (d. h. je höher das ökologische Potenzial eine Gewässers desto höher sollten die Ziele gesetzt werden).
4. Die Ziele berücksichtigen den IST-Zustand bzw. den aktualisierten IST-Zustand aufgrund von realisierten, geplanten oder vorgesehenen Gewässerschutzmassnahmen (z. B. Revitalisierung, Hochwasserschutz, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sicherung angemessener Restwassermengen) und anderen Projekten im Einzugsgebiet, die Einfluss auf die Wirkung der Massnahmen haben können (z. B. neue Kraftwerksanlagen).

Zu erreichende Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen und hydrologisches Anforderungsprofil
Sind die Ziele für die einzelnen Kernindikatoren anhand der Zustandsklassen definiert, können die dafür erforderlichen Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen festgelegt werden. Gestützt auf diese Zielwerte und dem daraus resultierenden hydrologischen Anforderungsprofil (vgl. Hilfstabelle Teil 3 Anhang D) können die Massnahmen zur Erreichung der künftigen Abflussganglinie erarbeitet werden.

Ansatzpunkte für die möglichen Massnahmen sind die Anhebung des Sunkabflusses, die Senkung des Schwallabflusses, die Verlangsamung der Pegeländerungsraten und gegebenenfalls die Reduktion der Anzahl Schwälle. Die zu erreichenden Zielwerte können saisonal variieren, so müssen z. B. bestimmte Zielwerte nur während der Laichperiode bzw. Schlüpfungsperiode der Leitfischart eingehalten werden. Ergänzend oder alternativ können auch lokale Massnahmen morphologischer Natur für die Erreichung der Ziele notwendig und sinnvoll sein (vgl. Anhang E Teil «Bauliche Massnahmen»). Beispielweise dann, wenn die Habitateignung für Fische oder Makroinvertebraten gemäss den Indikatoren F6 und B5 unzureichend ist oder geeignete Strukturen für die Verlaichung bei Sunk fehlen. Lokale Massnahmen morphologischer Natur sind nicht mit Revitalisierungen gemäss Gewässerschutzgesetzgebung (Art. 38a GSchG) gleichzusetzen. Letztere sind mit den Schwall-Sunk Massnahmen zu koordinieren, aber nicht Teil dieser.

Beeinträchtigungen verursacht durch ausgeprägte und immer wiederkehrende Schwall-Sunk Ereignisse
Bei der Definition der Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen sind zu unterscheiden (Tab. 1):

a) Beeinträchtigungen, die bereits durch wenige, dafür ausgeprägte Schwall-Sunk Ereignisse in ökologisch besonders kritischen Perioden (z. B. Laichperiode) hervorgerufen werden. Zur Beseitigung dieser Beeinträchtigungen ist ein hoher Häufigkeitsgrad der Einhaltung des Zielwerts der hydrologischen Kenngrösse notwendig (95%-Quantil).

b) Beeinträchtigungen, welche durch regelmässige, immer wiederkehrende aber weniger ausgeprägte Schwall-Sunk Ereignisse verursacht werden. Zur Beseitigung dieser Beeinträchtigungen ist eine etwas weniger häufige Einhaltung des Zielwerts genügend (60%-Quantil).

Ein Beispiel für den Fall (a) ist eine 95%-ige Einhaltung eines Zielwerts des Sunkabflusses, während der saisonal kritischen Periode der Laichentwicklung, um sicherzustellen, dass zumindest ein Teil der Brut dauerbenetzt bleibt. Ein Beispiel für den Fall (b) ist eine 60%-ige Einhaltung eines Zielwerts des Schwallabflusses zur Beschränkung der Wasserwechselzone während der Periode der Jungfischentwicklung. Zwar ist das Strandungsrisiko in der Wasserwechselzone grundsätzlich vorhanden, doch ist beispielsweise unter Einhaltung von kleinen Pegelrückgangsraten, trotz einer nur 60 % Einhaltung nicht mit erheblichen Verlusten der Jungfischpopulation zu rechnen.

Präzisierungen zu den Zielen und Zielwerten
Die zu erreichenden Ziele müssen genügend präzis umschrieben sein, damit eine Überprüfung der Wirksamkeit möglich ist und die kantonale Behörde gestützt darauf eine allfällige Nachbesserung verlangen kann (Kap. 5).

Die in Tabelle 1 angegebenen Quantile sind als allgemeine Richtwerte zu verstehen. Es ist zu beachten, dass diese Quantile immer im gewässerökologischen Einzelfall und nicht schematisch nach Tabelle 1 festgelegt werden sollen.

Für die hydrologischen Kenngrössen sind, je nach festgelegtem Quantil, Überschreitungen der Zielwerte an 5 % resp. 40 % der Tage für die berücksichtigte Periode zulässig (Ausnahmefälle). Um die Anstrengungen zur Beseitigung bzw. Verhinderung der Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk aber nicht zu gefährden, sind die Überschreitungen stets fallspezifisch und gewässerökologisch zu begutachten. D. h., dass der Schwallabfluss, der Sunkabfluss oder die Pegeländerungsrate während der Ausnahmefälle nur geringfügig vom definierten Zielwert abweichen dürfen. Die Darstellung der Summenhäufigkeit gemäss Indikator A2 (Anhang C) eignet sich, um mittels Expertise sicherzustellen, dass die Überschreitungen massvoll sind.

Genaue Hinweise zur Bestimmung der Zielwerte für die verschiedenen hydrologischen Kenngrössen sowie zur Auswertung und Darstellung befinden sich im Anhang C (Indikator A2). Der Bezug zur Steuerung von Massnahmen und deren Optimierung ist in Anhang E (Teil «Steuerung von Massnahmen») dargestellt.

Tab. 1

Ansätze zur gewässerspezifischen Festlegung von Zielwerten der hydrologischen Kenngrössen.

Das Quantil beschreibt den geforderten Häufigkeitsgrad der Einhaltung des Zielwertes. Der massgebende Indikator zeigt an, mit welchem prognostizierbaren Indikator (Kernindikator) die hydrologischen Kenngrössen (für Details siehe Anhang C Indikator A2) in Wechselwirkung stehen. Bei der Temperaturamplitude und -änderungsrate wird, methodisch bedingt, ein 90 % und nicht ein 95%-Quantil benutzt (vgl. Anhang C Indikator Q1).*

Ansätze zur gewässerspezifischen Festlegung von Zielwerten der hydrologischen Kenngrössen	Quantil	Massgebender Kernindikator
Stabilität d_m Laichgruben	95 %	F3*
Beschränkung Wasserwechselzone	60 %	F2*, B5, F6
Beschränkung Temperaturamplitude	90 %	Q1*
Allgemeine Reduktion Drift (aus Driftversuchen)	60 %	D1/A2
Keine Katastrophendrift (aus Driftversuchen)	95 %	D1/A2
Verlaichung und Laichentwicklung (verhindern Trockenfallen)	95 %	F3*
Ausreichende Habitateignung Makrozoobenthos	60 %	B5
Ausreichende Habitateignung Fische (nach Entwicklungsstadien)	60 %	F6
Reduktion Stranden (nach Entwicklungsstadien)	95 %	F2*
Reduktion Temperaturänderungsrate	90 %	Q1*
... gewässerspezifisch weitere Ansätze nach Fachexperten		

Allgemeines Beispiel
Aus der Defizitanalyse anhand der Indikatoren geht hervor, dass eine Beeinträchtigung des Gewässers besteht, weil die Jungfischdichte der Bachforelle ungenügend ist. Die Ursachenanalyse kommt zum Schluss, dass diese Beeinträchtigung nicht morphologischer Natur ist, da bevorzugte Jungfischhabitate vorhanden wären. Jedoch sind Schwall-Sunk spezifische Ursachen bekannt: eine reduzierte «Habitateignung für Fische» (angezeigt durch den Kernindikator F6) und ein erhöhtes Risiko des «Strandens von Fischen» (angezeigt durch den Kernindikator F2*). Für diese zwei Schwall-Sunk sensitiven und prognostizierbaren Indikatoren F2* und F6 werden Ziele festgelegt (z. B. Zustandsklasse gut).

Die massgebende hydrologische Kenngrösse für den Indikator F2* ist die Pegelrückgangsrate. Für den Indikator F6 ist es im untersuchten Gewässerabschnitt der Schwallabfluss. Entsprechend werden für diese hydrologischen Kenngrössen Zielwerte festgelegt:

- F2* für die Periode März/April (Bachforelle, larval): Pegelrückgangsrate < 0,3 cm/min, 95%-Quantil. D. h. die Pegelrückgangsrate sollte während dieser Periode nur in maximal 5 % der Schwall-Sunk Ereignisse diesen Wert überschreiten.
- F2* für die Periode April bis September (Bachforelle, juvenil): Pegelrückgangsrate < 3 cm/min, 95%-Quantil.
- F6 für die Periode April bis September (Bachforelle, juvenil): Schwallabfluss < 20 m^3/s, 60%-Quantil. D. h. während dieser Periode soll die Schwallspitze in mindestens 60 % der Schwall-Sunk Ereignisse diesen Wert nicht überschreiten um sicherzustellen, dass der Flächenverlust an geeignetem Habitat < 20 % betragen wird (Zustandsklasse gut gemäss Wertefunktion Indikator F6).

Fallbeispiel: Kraftwerke Oberhasli (KWO)
Liegen wie beispielweise in der Hasliaare die Schwall-Sunk bedingten Ursachen der festgestellten Beeinträchtigungen (hauptsächlich Strandung der Fische und Biomasse der Makroinvertebraten) in der Pegelanstiegs- und rückgangsrate, müssen in erster Linie diese zwei hydrologischen Kenngrössen mittels einer Massnahme verbessert werden (gebaut wurde ein Rückhaltebecken und eine Rückhaltekaverne mit entsprechender Steuerung). An der Hasliaare sind zur Beseitigung der Beeinträchtigung von Jungfischen aber auch morphologische Massnahmen wünschenswert die darauf zielen sollten Jungfischhabitate zu schaffen. Diese werden in separaten Untersuchungen entwickelt, da die Beeinträchtigungen nicht Schwall-Sunk bedingt sind [Bieri et al. 2013, Schweizer et al. 2013 (1) – (4)].

3.5 Vorauswahl der Massnahmen

Sanierungsprojekte
Bei Sanierungsprojekten muss dieser Arbeitsschritt nur durchgeführt werden, wenn sich die Rahmenbedingungen seit der Sanierungsverfügung verändert haben (z. B. die Morphologie wurde verbessert, der Geschiebehaushalt wurde saniert, der Kraftwerksbetrieb wurde verändert) oder wenn die zu treffenden Massnahmen vom Kanton, aus Zeitgründen oder aufgrund fehlender Grundlagedaten, in der Sanierungsverfügung nicht bestimmt werden konnten.

Sinn und Zweck der Massnahmenvorauswahl
Bei der Vorauswahl der Massnahmen handelt es sich um eine Grobtriage der möglichen und weiterzuverfolgenden Massnahmen, die zur Erreichung der Ziele führen sollen. Dies geschieht aufgrund der gewässer- und einzugsgebietsspezifischen sowie technischen Rahmenbedingungen und einer groben Kostenschätzung zur Ausgrenzung offensichtlich unverhältnismässiger Massnahmen. Bei dieser Triage handelt es sich noch nicht um die Priorisierung und Wahl der konkreten Massnahmen auf Grund von vertieften Kosten-Wirkungs-Analysen; diese erfolgt erst im Kapitel 4.

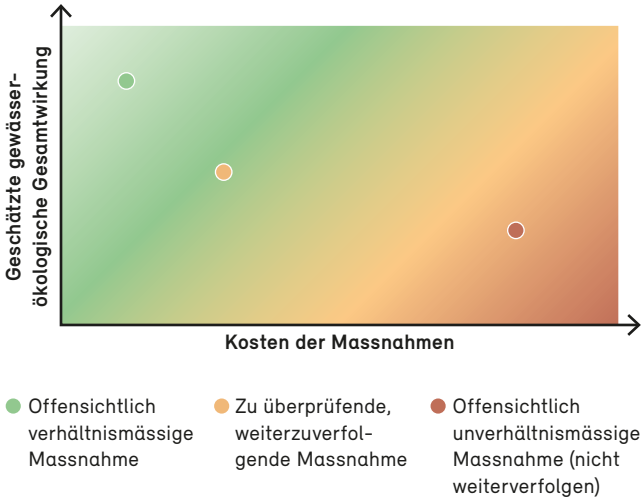
Vorgehen bei der Massnahmenvorauswahl
Im vorliegenden Arbeitsschritt geht es grundsätzlich darum (i) alle potenziellen Massnahmen zu berücksichtigen, (ii) die machbaren Massnahmen zu identifizieren und (iii) die offensichtlich unverhältnismässigen Massnahmen zu verwerfen.

Eine Auflistung und kurze Beschreibung möglicher baulicher und betrieblicher Massnahmen ist als Hilfestellung zu Punkt (i) im Anhang E (Teil «Mögliche Massnahmen») enthalten. Möglicherweise sind seit der Erarbeitung des vorliegenden Moduls neue Lösungswege entwickelt worden, die im spezifischen Fall berücksichtigt werden können. Es wird empfohlen, dass bei der Massnahmenvorauswahl, wo sinnvoll und insbesondere bei kleineren Anlagen, auch die Möglichkeit des Rückbaus beurteilt wird. Ebenfalls wird geraten, auch betriebliche Massnahmen bei der Massnahmenvorauswahl zu berücksichtigen, da diese flexible und verhältnismässige Lösungen darstellen können.

Punkt (ii) klärt, welche der potenziellen Massnahmen durch grobe Beurteilung der technischen Rahmenbedingungen (z. B. notwendige Mindestbetriebswassermenge von Turbinen, Anlauf- und Ausschaltzeit der Turbinen) sowie den gewässer- und einzugsgebietsspezifischen Rahmenbedingungen (z. B. Hochwasserschutz, räumliche Gegebenheiten wie Gewässernetz, Siedlungsgebiete oder Infrastrukturen, Schutzbestimmungen) überhaupt umsetzbar sind. Es wird empfohlen, bereits bei der Massnahmenvorauswahl die Aspekte der nachhaltigen Entwicklung wie z. B. die Auswirkung einer Sanierungsmassnahme auf die Energieproduktion, auf den Hochwasserschutz, auf den Erholungswert eines Gewässers oder auf die Landschaftsästhetik einfliessen zu lassen.

In Punkt (iii) werden Massnahmentypen (z. B. unterirdische und oberirdische Speichervolumen, Direktableitungen) hinsichtlich der grob abgeschätzten gewässerökologischen Gesamtwirkung und Kosten beurteilt. Dabei gilt es aufzuzeigen, welche Massnahmentypen auf Grund deren Wirkung und Kosten im Vergleich zu anderen offensichtlich in einem Missverhältnis stehen (Abb. 9) oder mit weiteren Rahmenbedingungen absolut nicht zu vereinbaren sind und deswegen a priori eliminiert werden. Es wird davon ausgegangen, dass es nur in wenigen Ausnahmefällen keine verhältnismässigen Massnahmen gibt.

Abb. 9
Grobtriage für die Vorauswahl der weiterzuverfolgenden Massnahmen.



Abschätzung der gewässerökologischen Gesamtwirkung
Die Abschätzung der ökologischen Gesamtwirkung erfolgt anhand einer (gutachterliche) Beurteilung der Verbesserung des ökologischen Zustandes gestützt auf den Zustandsklassen der Indikatoren.

Abschätzung der Kosten
Die zu erwartenden Baukosten (ohne Planung, Landbedarf und betriebliche Auswirkungen) sind standortspezifisch, können aber mit Erfahrungswerten vergleichbarer Bauten und Bauteilen unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten grob abgeschätzt werden (z. B. Bieri 2012, Rückhaltebecken KWO[1], Rückhaltebecken Tierfehd und Linthal[2]). Im Rahmen des Variantenstudiums und Wahl der Massnahmen (Kap. 4) sind die Kosten der Massnahmen genauer zu ermitteln, um die Optimierung der Massnahmenvarianten nachweisen zu können und eine transparente und objektive Wahl der Bestvariante zu ermöglichen.

Abschätzung von Speichervolumen
Sieht die Massnahme einen Rückhalt des Wassers z. B. durch Rückhaltebecken oder -kavernen vor, gilt zwingend zu beachten, dass die Wirkung der Massnahme vom Betriebsregime des Kraftwerks sowie vom zur Verfügung

1 Genaue Kosten nicht in frei zugänglicher Literatur festgehalten. Austausch von Erfahrungswerten im Rahmen zweckdienlicher, bilateraler Zusammenarbeit zwischen Kraftwerksinhaber möglich.
2 Gleiche Anmerkung wie 1.

Fallbeispiel: Kraftwerke Oberhasli (KWO)
Die Kraftwerke Oberhasli (KWO) haben als potenziell machbare Massnahmen einerseits eine Direktableitung des turbinierten Wassers in den Brienzersee anderseits ein Speichervolumen zwischen Kraftwerk und Rückgabe in die Hasliaare erachtet. Die Direktableitung im 16 km langen Stollen zwischen der bestehenden Wasserrückgabe und dem Brienzersee wäre selbst bei einer Ausnutzung des bestehenden Gefälles zur Stromproduktion mit offensichtlich unverhältnismässig hohen Kosten und zudem ausgeprägten landschaftlichen Eingriffen durch Deponierung des Ausbruchmaterials verbunden. Unter Berücksichtigung des Kosten-Wirkungs-Verhältnisses und der landschaftlichen Rahmenbedingungen konzentrierten sich die weiteren Abklärungen nach der Grobtriage auf Massnahmenvarianten mit verschiedenen Speichervolumen bis maximal 100 000 m^3 und eine Optimierung der Steuerung der Rückgaborgane [Schweizer et al. 2013 (3) – (4)].

stehenden Speichervolumen und der Art und Flexibilität der Speichersteuerung abhängt. Das erforderliche Speichervolumen ist über die gezielte Steuerung des Beckenauslasses (vgl. Anhang E Teil «Steuerung von Massnahmen») – gestützt auf die Defizite, Ursachen und festgelegten Ziele – zu optimieren und nicht nur auf Überlegungen zum Schwall-Sunk Verhältnis zu basieren. Artikel 39a Absatz 1 GSchG verlangt die Verhinderung bzw. Beseitigung einer wesentliche Beeinträchtigung und nicht die Einhaltung eines bestimmten Schwall-Sunk Verhältnisses. Mit diesem Ansatz, kann es durchaus sein, dass wesentlich kleinere Volumen notwendig sind, um die Beeinträchtigungen zu beseitigen bzw. verhindern. Dies hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Machbarkeit und Verhältnismässigkeit der Massnahme.

3.6 Absprache des Kraftwerksinhabers mit den kantonalen Behörden

Sinn und Zweck der Absprache
Die Arbeiten zur Massnahmenerarbeitung, zur Bewertung der Varianten und zur Wahl der Bestvariante können zeit- und kostenintensiv sein. Um einen unnötigen Planungsaufwand zu vermeiden, wird für die Sanierung bestehender Anlagen empfohlen, dass sich die Kraftwerksinhaber und die kantonalen Behörde vor dem Variantenstudium (Kapitel 4) über dessen Inhalt (sowie allfällige Vorgaben und Rahmenbedingungen) abstimmen. Grundlage dafür bilden die Resultate aus der Defizit- und Ursachenanalyse sowie die Festlegung der Ziele und die begründete Vorauswahl der weiterzuverfolgenden Massnahmen (Kap. 3.2 – 3.5).

Im Rahmen dieser Abstimmung soll auch die Koordination mit weiteren Gewässerschutzmassnahmen (v. a. Revitalisierung von Gewässern und Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sicherung angemessener Restwassermengen, Hochwasser- und Grundwasserschutz) sowie mit anderen Projekten (z. B. neue Kraftwerksanlagen) im Einzugsgebiet berücksichtigt werden (siehe dazu Kap. 2.4 & 4.4 sowie Anhang D «Deckblatt»). Die Aspekte der nachhaltigen Entwicklung können ebenfalls in die Auswahl der weiterzuverfolgenden Massnahmen einfliessen.

Es wird ausserdem angeraten, schon an dieser Stelle die weiteren Beteiligten und Betroffenen (NGO's, Grundstückbesitzer, Landwirtschaftskreise, Gemeinden, usw.) zu einem Informationsprozess einzuladen, damit sie Kenntnis von der Sachlage, von den Zielen und von der allgemeinen Stossrichtung der Massnahmen erhalten und ihre Anliegen einbringen können. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn der Landbedarf der möglichen Massnahmen gross ist oder Fruchtfolgeflächen betroffen sind. Konkrete Vorschläge zur Identifikation der betroffenen Akteure, der Formen des Einbezugs und dessen Planung finden sich in zwei Dokumente die von der Arbeitsgruppe Dialog Wasserkraft der Wasser-Agenda 21 redigiert wurden (Wasser-Agenda 21 2012 & 2013). Ganz allgemein wird bezüglich Partizipation auch auf die Praxisanleitung Einzugsgebietsmanagement, Teil 8 «Partizipation» (BAFU 2012) und bezüglich Verfahren bei Massnahmen, die der Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) unterstellt sind, auf das UVP-Handbuch, Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung, Modul 3 «Verfahren» (BAFU 2009) verwiesen.

4 Variantenstudium und Wahl der Massnahmen

4.1 Überblick

In diesem Hauptschritt geht es darum, Varianten von Massnahmen bezüglich deren Eignung zur Erreichung der definierten Ziele (Kap. 3.4) zur Beseitigung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigungen zu erarbeiten und zu bewerten. Die Massnahmen müssen geeignet sein, die geforderte ökologische Verbesserung erzielen und dem Stand der Technik entsprechen. Weiter richten sich die im Variantenstudium erarbeiteten Massnahmen nach den in Artikel 39a Absatz 2 GSchG genannten Kriterien. Dabei hat die Wahl der Massnahmen unter Berücksichtigung des Grades der Beeinträchtigung und dem ökologischen Potenzial des Gewässers sowie der Verhältnismässigkeit des Aufwandes, den Interessen des Hochwasserschutzes und der energiepolitischen Ziele zur Förderung der erneuerbaren Energien zu erfolgen. Ebenfalls sollen die Schwall-Sunk bezogenen Massnahmen im Rahmen ihrer Erarbeitung im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers aufeinander und mit weiteren, nicht Schwall-Sunk bezogenen Gewässerschutzmassnahmen, abgestimmt werden (Art. 39a Abs. 3 GSchG in Verbindung mit Art. 46 Abs. 1 GSchV).

Aufgrund der detaillierten Untersuchung und Bewertung der Massnahmen gemäss der nachfolgend aufgeführten Arbeitsschritte – (i) Variantenstudium, (ii) Wahl der Massnahmen, (iii) Koordination mit anderen Gewässerschutzmassnahmen – wird die geeignetste Massnahme definiert (Bestvariante), welche dem Kanton und, bei Bedarf vom Kanton dem BAFU, zur Prüfung vorgelegt wird (Abb. 2). Die kantonalen Behörden wählen dann die Bestvariante für die Projektierung.

Anhang G Teil III erläutert die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen für diesen Hauptschritt 2.

4.2 Variantenstudium

Detaillierter Beschrieb der Varianten
Voraussetzung für die Prognostizierung der Wirkung der Massnahmen und eine Abschätzung der Kosten ist ein genauer Beschrieb der Anlage (technische Spezifikationen, Speicher, Fassungen, Rückgabe, Betrieb gemäss Konzession mit allfälligen Einschränkungen) und der Massnahmen (Massnahmentyp, Standort, Umfang, usw.). Um die einzugsgebietsspezifische und technische Machbarkeit sowie die Kosten ausreichend beurteilen zu können, beinhaltet der Beschrieb auch eine Vordimensionierung der massgebenden Bauteile, quantifiziert den allfälligen Landbedarf der Massnahmen und permanenter Materialablagerungsstandorte und zeigt den eventuellen Einfluss der Massnahme auf den Betrieb (Elektrizitätsproduktion).

Vorgehen zur Ermittlung der ökologischen Wirkung der Schwall-Sunk Massnahmen
Um die ökologische Wirkung der Massnahmen zu ermitteln, ist als erstes eine Prognose des Zustandes des betroffenen Gewässers nach Umsetzung der Schwall-Sunk Massnahmen notwendig. Die Beurteilung dieses Zustandes ermöglicht dann einen Vergleich mit den definierten Zielen und somit die Ermittlung des Grades der Zielerreichung. Anschliessend werden die Zielerreichungsgrade zu einem Gesamtzielerreichungsgrad pro Massnahme aggregiert. Dieser entspricht der ökologischen Gesamtwirkung einer Massnahme und wird für die Wahl der geeignetsten Massnahme unter anderem mit den Kosten verglichen (Kap. 4.3). Die Aggregation darf nicht dazu führen, dass einzelne, limitierende Faktoren ausgemittelt werden. Solche sind bei der Beurteilung der Massnahmen durch Fachexperten einzuschätzen.

Prognose des Zustandes nach Umsetzung der Massnahmen
Zur Prognose des Zustandes nach Umsetzung der Massnahmen eignen sich insbesondere die sechs Kernindikatoren: «Stranden von Fischen», «Laichareale der

Fische», «Habitateignung Fische», «Habitateignung Makrozoobenthos; «Wassertemperatur, «Hydrologische Kenngrössen».

Der Zustand im Schwall-Sunk beeinträchtigten Gewässer nach Umsetzung der Schwall-Sunk Massnahmen wird mittels geeigneter Modellierungswerkzeuge wie numerische und gegebenenfalls physikalische Modelle prognostiziert (Anhang F). Ergänzend können Tests im Gewässer selbst durchgeführt werden (Schwallversuche, Test-Kits, usw.), wobei solche Tests nur zeitlich limitiert erfolgen und Kurzzeiteffekte abbilden können. Aber auch Expertenbeurteilungen mittels Gutachten, Quervergleichen und Analogieschlüssen sind Möglichkeiten.

Für den Aufbau von Prognosemodellen sind ausführliche Daten zum Schwall-Sunk beeinträchtigten Gewässer und zu den Abflussganglinien notwendig. Die Angaben zur Schwall-Sunk Strecke mit den entsprechenden Gewässerabschnitten werden anhand von Untersuchungsstrecken mittels der Grundlagenerhebung (Anhang B), im Normallfall schon im Rahmen der Bewertung des IST-Zustandes (Kap. 3), erfasst. Sind am betroffenen Gewässer nebst Schwall-Sunk Massnahmen auch andere hydrologische und/oder morphologische Änderungen vorgesehen (z. B. Restwassersanierungen, Geschiebesanierung, Revitalisierungen oder Hochwasserschutzprojekte), so müssen diese ebenfalls im Modell integriert werden. Die Prognose für den Zustand nach Massnahmen erfolgt somit unter Berücksichtigung des künftigen Zustands (inkl. andere Änderungen). Die Bestimmung von repräsentativen Abflussganglinien für das Gewässer kann gemäss Anhang E erfolgen.

Anhang F liefert Hinweise zu den wichtigsten Aspekten, welche bei der Wahl von geeigneten Modellierungswerkzeugen berücksichtigt werden sollten und erwähnt aktuelle Beispiele von Modellierungen im Zusammenhang mit Schwall-Sunk. Indikatorspezifische Grundlagen, welche für die Modellierung notwendig sind wie beispielsweise Präferenzkurven für Fische und Makroinvertebraten sowie Informationen zu Test-Kits (vgl. Indikator F3*) für Versuche im Gewässer können dem Anhang C entnommen werden.

Modellierungen

Der Aufwand für die hydraulischen Modellierungen soll sich grundsätzlich an der Komplexität eines Einzugsgebietes richten (Anzahl Schwallverursacher, vorhandene und künftige Morphologien, Länge und Grösse sowie ökologische Bedeutung und ökologisches Potenzial des Gewässers, usw.).

Ein- oder zweidimensionale, instationäre (= zeitabhängige) hydraulische Modelle kommen in komplexen Einzugsgebieten und Gewässersystemen zum Einsatz. In solchen Fällen, und insbesondere wenn sich der Schwall von mehreren Kraftwerken überlagert, ist es wesentlich, folgende Punkte abzuklären: die Wellenausbreitungsgeschwindigkeiten, die fliessende Retention (Abschwächung des Schwalls), evtl. das Aufstellen von Wellen (Verstärkung des Schwalls) oder die zeitliche und örtliche Überlagerung von Schwällen. Für den Betrieb solcher Modelle ist eine Eichung mit vorhandenen Abflussdaten massgebend.

Detaillierte zweidimensionale oder gar dreidimensionale Modellierungen sind im Rahmen der Habitatmodellierungen oder Detailfragen notwendig, sind jedoch sehr aufwändig. Es wird deshalb vorgeschlagen, nicht jeden einzelnen Gewässerabschnitt im durch Schwall-Sunk beeinträchtigten Gewässer detailliert zu modellieren, sondern pro vorhandenem oder vorgesehenem Morphologie-Typ (Kanal, Flusslauf mit Kiesbänken, verzweigter Flusslauf, usw.) repräsentative Untersuchungstrecken auszuwählen. Für jede Massnahme werden dann die ausgewählten Untersuchungsstrecken modelliert (Gewässerabschnitte a – c in Tab. 2). Die Resultate aus dem eindimensionalen Modell können die hydraulischen Randbedingungen (v. a. Wasserspiegel und Abflüsse) liefern.

Die Modellierungen in den ausgewählten Untersuchungsstrecken für die Situation nach Umsetzung der Schwall-Sunk Massnahmen liefern als Ergebnis die Daten zur Beurteilung des Zustandes der prognostizierbaren Indikatoren. Es sind dies grundsätzlich Wassertiefen und Fliessgeschwindigkeiten im modellierten Gewässerabschnitt sowie unter Einbezug von Korngrössen die Stabilität des Substrates. Daraus ableitbar sind die benetzten und trockenfallenden Flächen bei Schwall-Sunk sowie die Habitateignungen bei verschiedenen Abflüssen und die Stabilität der Laichgruben.

Beurteilung des Zustandes nach Umsetzung der Massnahmen

Der prognostizierte Zustand nach Umsetzung der Schwall-Sunk Massnahmen wird mit Hilfe von Wertefunktionen beurteilt. Die Definition der Wertefunktionen für die einzelnen Indikatoren kann dem Anhang C entnommen werden.

Für alle Indikatoren, welche in der Zielfestlegung (Kap. 3.4) berücksichtigt wurden, wird aufgrund des (modellierten) Prognosezustandes der Untersuchungsstrecke der künftige Zustand der Indikatoren mittels Wertefunktion bewertet und für die entsprechenden Gewässerabschnitte übernommen. Diese Zustandsbewertung liefert für jede Massnahme Zustandsklassen für die einzelnen Indikatoren pro Gewässerabschnitt («Prognosezustand nach Umsetzung der Massnahmen» in Tab. 2), welche der Ermittlung des Grades der Zielerreichung dienen.

Ermittlung des Grades der Zielerreichung der Massnahmen

Die Zielerreichung der einzelnen in Kapitel 3.4 festgelegten Ziele wird ermittelt, indem der prognostizierte Zustand im betroffenen Gewässer nach Umsetzung der Schwall-Sunk Massnahmen mit den definierten Zielzuständen verglichen wird. Der Grad der Zielerreichung wird für jede Massnahme, für jeden Gewässerabschnitt und pro Indikator berechnet («Zielerreichungsgrad» in Tab. 2). Der berechnete Wert entspricht der Differenz zwischen der prognostizierten Zustandsklassen und der in den Zielen festgelegten Zustandsklassen.

Ermittlung der Gesamtwirkung der Massnahmen

Um die einzelnen Massnahmen miteinander vergleichen zu können ist eine Aggregation der einzelnen Zielerreichungsgrade zu einem Gesamtzielerreichungsgrad (= Gesamtwirkung) notwendig. Zuerst erfolgt die Aggregation

Tab. 2

Ökologische Gesamtwirkung der Massnahmen.

Die Tabelle soll all jene Indikatoren enthalten, welche bei der Zielfestlegung gemäss Kapitel 3.4 definiert wurden. Dieses Beispiel berücksichtigt 3 Gewässerabschnitte (a – c) und 3 Massnahmen (M1–M3).

Relevantes Indikatorenset (Beispiel)	Ist-Zustand			Ziel-Zustand			Prognosezustand nach Umsetzung der Massnahmen									Zielerreichungsgrad (Δ Prognosezustand - Zielzustand)								
							M1			M2			M3			M1			M2			M3		
	Gewässerabschnitt			Gewässerabschnitt			Gewässerabschnitt									Gewässerabschnitt								
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
F2* Stranden von Fischen Bachforelle larval (März, April)	1	1	2	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	0	0	-1	1	0	0	0	-1	-1
F2* Stranden von Fischen Bachforelle juvenil (April bis September)	1	1	2	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F6 Habitateignung Fische Bachforelle juvenil (April bis September)	2	2	2	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	-1	1	0	0	1	0	0	0	0
A2 Hydrologische Kenngrössen	1	2	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0
B5 Habitateignung Makrozoobenthos	3	4	5	4	4	5	3	4	5	3	4	5	4	4	5	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0
ggf. weitere relevante Indikatoren																								
Zielerreichungsgrad pro Gewässerabschnitt (Summe der obigen Indikatoren)																-3	1	-2	-1	1	0	0	-1	-1
Gesamtwirkung = Gesamtzielerreichungsgrad (Summe über die Gewässerabschnitte)																-4			0			-2		
Gesamtkosten in CHF																10'000'000			15'000'000			13'000'000		

Zustand	Zustandsklasse
sehr gut	5
gut	4
mässig	3
unbefriedig.	2
schlecht	1

Zielerreichung	
Ziel übertroffen	1
Ziel erfüllt	0
Ziel nicht erfüllt	-1

der Zielerreichungsgrade der Indikatoren pro Gewässerabschnitt und dann die Aggregation der Gewässerabschnitte.

Die Aggregation pro Gewässerabschnitt für jede Massnahme erfolgt mittels Aufsummierung der Zielerreichungsgrade der einzelnen Indikatoren. Diese Aggregation liefert ein Zielerreichungsgrad pro Gewässerabschnitt (Tab. 2). Die Aggregation über die Gewässerabschnitte zu einer Gesamtwirkung pro Massnahme erfolgt ebenfalls mittels Aufsummierung der Zielerreichungsgrade der einzelnen Gewässerabschnitte (Tab. 2). Einzelne limitierende Faktoren bleiben in Tab. 2 trotz Ermittlung der Gesamtwirkung sichtbar und sind bei der Beurteilung der Massnahmen durch Fachexperten einzuschätzen.

Sollte sich in komplexen Fällen diese Methode als nicht ausreichend erweisen, können auch differenziertere Methoden zur Anwendung kommen, welche beispielweise eine zusätzliche Gewichtung der Gewässerabschnitte oder von limitierenden Faktoren berücksichtigen (z. B. in Funktion ihrer Länge, ihrer Gerinnegrösse/Strahlerzahl oder ihres ökologischen Potenzials). Welches Vorgehen auch immer gewählt wird, für die Nachvollziehbarkeit ist es wichtig, dieses zu begründen sowie genau zu dokumentieren und zu beschreiben. Unabhängig vom Vorgehen wird empfohlen die ermittelte Gesamtwirkung unter Berücksichtigung des Prognosezustandes der einzelnen Indikatoren und Abschnitte durch erfahrene Fachexperten validieren zu lassen.

4.3 Vorgehen zur Wahl der Massnahmen

Nachdem im Variantenstudium die ökologische Gesamtwirkung der Massnahmen ermittelt wurde, müssen die erarbeiteten Varianten zur Wahl der geeignetsten Massnahme (Bestvariante) hinsichtlich der Kriterien Grad der Beeinträchtigung und ökologisches Potenzial des Gewässers, Verhältnismässigkeit des Aufwandes, Interessen des Hochwasserschutzes sowie der Zielen zur Förderung erneuerbarer Energien gegeneinander abgewogen und priorisiert werden. Als weitere Kriterien können der Landbedarf im Allgemeinen und der Verlust von Kulturland im Besonderen in die Massnahmenwahl einfliessen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Landbedarf für Ausgleichsbecken bei der Erarbeitung der Schwall-Sunk Regelung im Gewässerschutzgesetz bekannt war (200 – 400 ha, vgl. BBl 07.492, 2008, S. 8070)

Nachfolgend wird beschrieben, wie diese Kriterien bei der Wahl der Massnahmen zu berücksichtigen sind (Kap. 4.3.1 – 4.3.3) und eine Hilfestellung gegeben, wie die Kriterien bei der Wahl der Bestvariante gegeneinander abgewogen werden können (Kap. 4.3.4).

4.3.1 Verhältnismässigkeit des Aufwandes

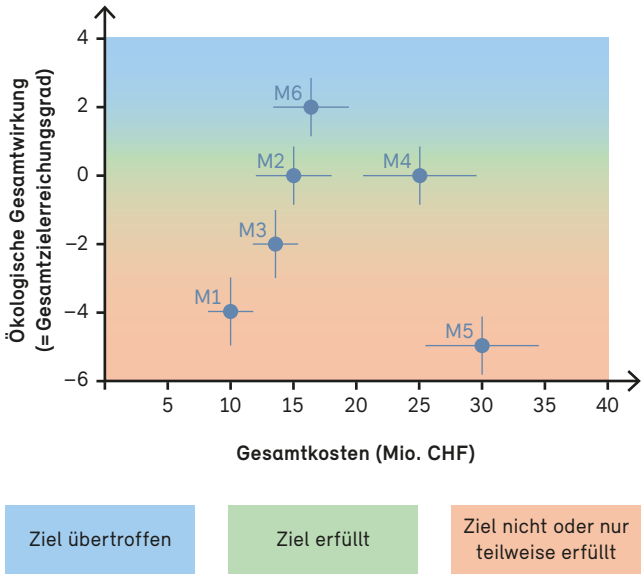
Kosten-Wirkung-Analyse

Zur Beurteilung der Verhältnismässigkeit des Aufwandes ist eine Kosten-Wirkungs-Analyse durchzuführen. Dabei

Abb. 10

Gesamtwirkung – Kosten zur Bestimmung der besten Massnahme.

Die Y-Achse quantifiziert die ökologische Gesamtwirkung der Massnahmen (in diesem Beispiel M1–M6), gemessen am Gesamtzielerreichungsgrad gemäss Tabelle 2; wobei Ziel erfüllt = 0, Ziel übertroffen = positive Werte, Ziel nicht oder nur teilweise erfüllt = negative Werte. Die X-Achse quantifiziert die Gesamtkosten der Massnahmen. Die horizontalen Balken zeigen die Kostenvariabilität (+/– 20 %) der Massnahmen und die vertikale Balken die Variabilität der Gesamtwirkung (als Bsp. +/– 1 Punkt). Die besten Massnahmen liegen oben links (M2, M6), die schlechtesten unten rechts (M5).



wird die ökologische Gesamtwirkung der Massnahmen, welche im Rahmen des Variantenstudiums (Kap. 4.2, Tab. 2) ermittelt wurde, mit den Kosten der Massnahmen in Bezug gesetzt (Abb. 10).

Eine erste grobe Kostenschätzung hat im Normalfall schon bei der Vorauswahl der weiterzuverfolgenden Massnahmen stattgefunden (Kap. 3.5), welche dem Ausschluss von klar unverhältnismässigen Massnahmen diente. Für die Wahl der Massnahmen werden alle vorhersehbaren Kosten der Massnahmen, welche massgeblich zu den Gesamtkosten beitragen, genauer ermittelt. Dabei sind, sofern für die Massnahme von Bedeutung, auch die Kosten des Landbedarfs einzubeziehen. Eine noch detailliertere Kostenzusammenstellung erfolgt dann in der Massnahmenumsetzungsphase (Abb. 2) und ist Gegenstand des Moduls «Finanzierung» (BAFU 2016).

Die Ermittlung der Gesamtwirkung und die Kostenschätzung der Massnahmen sind mit Unsicherheiten behaftet. Es wird deshalb angeraten, die Massnahmen einer Sensitivitätsanalyse zu unterziehen, d. h. folgende Frage zu beantworten: wie verändert sich das Verhältnis der verschiedenen Massnahmen zueinander (deren Position in der Abb. 10), wenn derer Gesamtwirkung bzw. deren Kosten über- oder unterschätzt werden? Um diese Frage zu beantworten wird für den Kosten-Parameter vorgeschlagen, eine Veränderung von +/– 20 % zu berücksichtigen. Ist eine deutliche Unterscheidung zwischen verschiedenen Massnahmen aufgrund der Kostenveränderung nicht mehr möglich (mehrere Massnahmen bewegen sich im gleichen Kostenrahmen), müssen die Kosten detaillierter ermittelt werden. Als Beispiel sieht man im Abbildung 10, dass sich die horizontale Balken der Kostenvariabilität (+/– 20 %) der Massnahmen M1, M2, M3 und M6 überschneiden. Da die zwei Massnahmen M2 und M6 auch aufgrund der ökologische Gesamtwirkung nahe beieinander liegen und als Bestvariante in Frage kämen, müssen die Kosten dieser zwei Massnahmen genauer definiert werden, um eine Wahl treffen zu können. Eine Sensitivitätsanalyse für die Gesamtwirkung ist sehr anspruchsvoll und von erfahrenen Fachexperten durchzuführen. Im Beispiel (Abb. 10) wurde eine Variabilität der Gesamtwirkung aller Massnahmen von +/– 1 Punkt angenommen.

Beurteilung der Verhältnismässigkeit

Eine Massnahme gilt grundsätzlich als verhältnismässig, wenn sie zur Erreichung der angestrebten Ziele geeignet, erforderlich und zumutbar ist. Die Verhältnismässigkeitsprüfung ist immer ein Abwägen zwischen Aufwand und Nutzen im konkreten Einzelfall. Die Verhältnismässigkeit des Aufwandes kann anhand der Kosten-Wirkungs-Analyse folgendermassen überprüft werden:

- Die Massnahme muss geeignet sein, um die angestrebten Ziele zu erreichen.
  → Die Prüfung dieses Prinzips erfolgt in der Abbildung 10 anhand der ökologische Gesamtwirkung: geeignete Massnahme sind M2, M4 und M6.
- Die Massnahme muss ausserdem erforderlich sein («Übermassverbot»). Es gilt, die geforderten Ziele mit den mildesten Mitteln zu erreichen (in sachlicher, zeitlicher, räumlicher, finanzieller und personeller Hinsicht). Vorliegend steht die Überprüfung der Erforderlichkeit der finanziellen Mittel («mildest = kostengünstigst») im Vordergrund.
  → Die Prüfung dieses Prinzips erfolgt in der Abbildung 10 mittels Vergleich der Kosten der verschiedenen Massnahmenvarianten (sachliche Erforderlichkeit). Von den Massnahmen, mit welchen die geforderten Ziele erreicht werden können (M2, M4, M6), sind M2 und M6 wesentlich kostengünstiger als M4. M4 scheidet demzufolge in finanzieller Hinsicht als nicht erforderlich, und somit auch als nicht verhältnismässig, aus.
- Eine Massnahme ist zumutbar, wenn die Zweck-Mittel-Relation ausgewogen ist. Deshalb kann eine geeignete und erforderliche Massnahme unverhältnismässig sein, wenn z. B. die Kosten im Vergleich zur Wirkung ein unausgewogenes Verhältnis aufweisen oder der damit verbundene Eingriff in die Rechtsstellung von Privaten im Vergleich zum verfolgten öffentlichen Interesse sehr schwer wiegt.
  → Bei der Prüfung der Zumutbarkeit kann daher in der Abbildung 10 z. B. die Massnahme M2 oder M6 ausscheiden – obwohl beide Massnahmen geeignet und erforderlich sind.

Die Verhältnismässigkeit wird bei der Wahl der Massnahmen berücksichtigt, indem jede Massnahme, je nach

Beurteilung obigen Kriterien, als verhältnismässig oder unverhältnismässig klassifiziert wird. Die Beurteilung der Verhältnismässigkeit soll nachvollziehbar begründet und festgehalten werden.

Es kann sich erweisen, dass eine ökologisch optimale bauliche Massnahme (beste Gesamtwirkung) im konkreten Einzelfall als unverhältnismässig bezeichnet werden muss und der Wasserkraftwerksinhaber nicht einwilligt, betriebliche Massnahmen zu treffen. In solchen Ausnahmefällen kann bei Sanierungsprojekten auch eine gewässerökologische Verbesserung ohne vollständige Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung ausreichend sein (d. h. es können auch Massnahmen ausgewählt werden, die die Ziele nur teilweise erfüllen, z. B. M3 in Abb. 10). Wenn es gar keine verhältnismässige bauliche Massnahme gibt, kann eine Anlage im Ausnahmefall aus der Sanierungspflicht entlassen werden, ohne dass Massnahmen umgesetzt werden. In diesen Fällen gilt die Anlage nicht als saniert.

Bei der Konzessionserneuerung von Anlagen, die nicht vollständig saniert werden konnten, hat die Konzessionsbehörde unter anderem die folgenden Grundsätze zu beachten:

- Bei der Konzessionserneuerung muss der Gesuchsteller grundsätzlich das geltende Recht einhalten. Dazu gehört auch Artikel 39a GSchG.
- In der Umweltverträglichkeitsprüfung ist aufzuzeigen, welche Beeinträchtigung des Gewässers durch Schwall und Sunk besteht und ob es verhältnismässige, bauliche Massnahmen gibt, um diese zu beheben. Aufgrund von Artikel 39a GSchG sind auch bei der Konzessionserneuerung betriebliche Massnahmen nur auf Antrag des Inhabers der Wasserkraftanlage möglich.

Kann die wesentliche Beeinträchtigung nicht mit verhältnismässigen baulichen Massnahmen behoben werden, entscheidet die Konzessionsbehörde aufgrund einer Gesamtinteressenabwägung über das Konzessionserneuerungsgesuch (Art. 39 WRG, Art. 9 Abs. 2 BGF). Dabei kann die Behörde zum Schluss kommen, dass eine Konzessionserteilung nur möglich ist, wenn die Auswirkungen von Schwall und Sunk durch betriebliche Massnahmen reduziert werden. Ziel der betrieblichen Massnahmen ist die Behebung der wesentlichen Beeinträchtigung, das Ausmass der Massnahmen wird jedoch aufgrund der Gesamtinteressenlage bestimmt.

4.3.2 Grad der Beeinträchtigung und ökologisches Potenzial

Der Grad der Beeinträchtigung und vor allem das ökologische Potenzial werden bei der Festlegung der Ziele berücksichtigt (Kap. 3.4) und fliessen somit auch indirekt in die Beurteilung der ökologischen Gesamtwirkung der Massnahmen ein (Tab. 2). Dies erfolgt zum Beispiel, indem die Ziele, welche die Massnahmen zu erfüllen haben, bei mittlerem oder grossem ökologischem Potenzial eines Gewässers entsprechend höher angesetzt werden.

Das ökologische Potenzial wird in drei Kategorien eingeteilt: gering, mittel und gross. Der Grad der Beeinträchtigung, gleich für alle Massnahmen, wird in drei Kategorien eingeteilt: mässig, stark und sehr stark. Wie diese zwei Kriterien beurteilt werden, ist fallspezifisch und nachvollziehbar zu erläutern.

Das ökologische Potenzial wird bei der Wahl der Massnahmen berücksichtigt, indem zum Beispiel eine Massnahme, welche eine höhere Gesamtwirkung aufweist aber teurer ist als andere (z. B. M6 im Vergleich zu M2 in Abb. 10), aufgrund des grossen ökologischen Potenzials des Gewässers, als Massnahmen durchaus gerechtfertigt und als Bestvariante auszuwählen ist.

4.3.3 Interessen des Hochwasserschutzes und energiepolitische Ziele

Interessen des Hochwasserschutzes

Die Interessen des Hochwasserschutzes werden berücksichtigt, indem der Einfluss der Massnahme auf den Hochwasserschutz von Fachexperten gutachterlich abgeschätzt oder falls erforderlich rechnerisch bestimmt wird. Der Einfluss wird in drei Klassen eingeteilt: positiv, neutral (kein Einfluss), negativ.

Wie der Einfluss auf den Hochwasserschutz abgeschätzt wird, ist fallspezifisch und nachvollziehbar zu erläutern.

Die Berücksichtigung dieser Einflüsse kann dazu führen, dass kostspieligere Massnahmen oder Massnahmen mit einer geringeren ökologischen Wirkung ausgewählt werden.

Energiepolitische Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien

Die energiepolitischen Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien werden berücksichtigt, indem der allfällige Einfluss der Massnahme auf die Elektrizitätsproduktion in kWh abgeschätzt wird. Der Einfluss wird in drei Klassen eingeteilt: Mehrproduktion, neutral (keine Mehr- bzw. Minderproduktion), Minderproduktion. Als Rahmenbedingung ebenfalls zu beachten ist der Einfluss auf die saisonale Energiespeicherung sowie auf die Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Flexibilität der Produktion). Diese Einflüsse werden in drei Klassen eingeteilt: positiv, neutral (kein Einfluss), negativ.

Wie der Einfluss auf die Produktion, auf die saisonale Speicherung und auf die Flexibilität der Produktion einer Wasserkraftanlage abgeschätzt wird, ist fallspezifisch und nachvollziehbar zu erläutern. Die Berücksichtigung dieser Einflüsse kann dazu führen, dass kostspieligere Massnahmen oder Massnahmen mit einer geringeren ökologischen Wirkung ausgewählt werden.

4.3.4 Wahl der geeignetsten Massnahme (Bestvariante) und Prüfung durch Behörden

Wahl der Bestvariante

Die Wahl der geeignetsten Massnahme (Bestvariante) erfordert eine Interessenabwägung hinsichtlich der Kriterien Grad der Beeinträchtigung, ökologisches Potenzial des Gewässers, Verhältnismässigkeit des Aufwandes, Interessen des Hochwasserschutzes sowie der Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien (Tab. 3). Dazu ist besonders in komplizierteren Fällen, eine Gesamtsicht der Problematik, Erfahrung und Experten-Know-how notwendig.

Bei der vorzunehmenden Interessenabwägung handelt es sich um ein Werturteil, welches im Einzelfall gefällt werden muss und welches sich daher nur bis zu einem gewissen Grad schematisieren lässt. Gleichwohl ist die Wahl der Bestvariante in jedem Fall nachvollziehbar zu dokumentieren und zu erläutern.

Tab. 3

Wahl der geeignetsten Massnahme (Bestvariante) unter Berücksichtigung der ökologische Gesamtwirkung und zusätzlicher Kriterien gemäss Art. 39a Abs. 2 GSchG.

Dieses Beispiel berücksichtigt die 3 zielerfüllende Massnahmen gemäss Abbildung 10 (M2, M4, M6).

	Zielerfüllende Massnahme		
	M2	M4	M6
Ökologische Gesamtwirkung (0 = Ziel erfüllt; > 0 = Ziel übertroffen)	0	0	2
Gesamtosten (CHF)	15 000 000	25 000 000	16 000 000
Weitere zu berücksichtigende Kriterien gemäss Art. 39a, Abs. 2 GSchG, Buchstabe:			
a) Grad der Beeinträchtigung (mässig, stark, sehr stark)	Sehr stark	Sehr stark	Sehr stark
b) Ökologisches Potenzial (gering, mittel, gross)	Gross	Gross	Gross
c) Verhältnismässigkeit des Aufwandes (verhältnismässig, unverhältnismässig)	Verhältniss-mässig	Unverhältniss-mässig	Verhältniss-mässig
d) Interessen des Hochwasserschutzes (positiv, neutral, negativ)	Neutral	Neutral	Neutral
e) [...] Förderung erneuerbarer Energien			
e.1) Einfluss auf Produktion (Mehrproduktion, neutral, Minderproduktion)	Minderproduktion	Mehrproduktion	Neutral
e.2) Einfluss auf saisonale Energiespeicherung (positiv, neutral, negativ)	Neutral	Positiv	Negativ
e.3) Einfluss auf die Flexibilität der Produktion (positiv, neutral, negativ)	Neutral	Positiv	Neutral
Gesamtbeurteilung für die Auswahl der geeignesten Massnahme (Bestvariante)	2. Wahl	3. Wahl	**Bestvariante**

Das Beispiel in Tabelle 3 zeigt eine mögliche Vorgehensweise für die Abwägung der in Art. 39a Abs. 2 GSchG genannten Kriterien. Dabei zeigt sich, dass die Massnahme M6 als Bestvariante gewählt werden könnte, da sie alle Ziele am besten erfüllt. Das heisst sie hat die beste ökologische Gesamtwirkung in einem Gewässer mit grossem ökologischen Potenzial, ist verhältnismässig, hat einen neutralen Einfluss auf den Hochwasserschutz und beeinflusst die energiepolitischen Ziele zur Förderung erneuerbarer Energien nur unwesentlich negativ.

Bei der Wahl der geeignetsten Massnahme soll auch berücksichtigt werden, dass ein ausreichender Spielraum für die Steuerung der Massnahme vorhanden bleibt, z. B. um künftige morphologische Aufwertungen oder Änderungen im Kraftwerkbetrieb auffangen zu können.

Weiter ist auch die Anpassungsfähigkeit der Massnahme auf geänderte Rahmenbedingungen zu berücksichtigen. Dabei ist zu beurteilen, wie geeignet die Massnahmen sind, wenn sich die Art und Weise des Betriebes (z. B. aufgrund von Veränderungen auf dem Strommarkt) oder die Rahmenbedingungen ändern würden.

Prüfung durch Behörde

Der Kanton bestimmt für jede Anlage die geeignetste der vom Inhaber ausgearbeiteten Massnahme (Bestvariante) und gibt dem Inhaber die Genehmigung zur Ausarbeitung des entsprechenden Sanierungs- bzw. Bauprojektes.

Bei Sanierungsprojekten ist die Anhörung des BAFU durch den Kanton erst vor dem endgültigen Entscheid über das Sanierungsprojekt vorgesehen (Art. 41g Abs. 2 GSchV). Es wird jedoch empfohlen, dass der Kanton bei Bedarf das BAFU bereits in der Phase der kantonalen Prüfung der Varianten von Massnahmen einbezieht, um allfällige Unklarheiten und Uneinigkeiten zu klären, bevor die detaillierte Projektausarbeitung auf Stufe Bauprojekt nach SIA in Angriff genommen wird (Abb. 2).

4.4 Koordination mit anderen Gewässerschutzmassnahmen

Andere nicht Schwall-Sunk bezogene Gewässerschutzmassnahmen wie beispielweise die Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, die Revitalisierung von Gewässern und Auen, die Sicherung angemessener Restwassermengen sowie der Hochwasser- und Grundwasserschutz müssen soweit erforderlich mit den Schwall-Sunk Massnahmen koordiniert und aufeinander abgestimmt werden (vgl. dazu das Modul Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben, BAFU 2013). Die Schwall-Sunk Sanierung braucht aufgrund der Komplexen Thematik manchmal längere Fristen als die übrigen Sanierungen. Dies darf aber nicht dazu führen, dass letztere aufgeschoben oder verzögert werden. Ausserdem sind auch andere realisierte, geplante oder vorgesehene Projekte wie z. B. neue Kraftwerksanlagen, die Einfluss auf die Wirkung der Massnahmen haben können, zu berücksichtigen.

Zusammenhänge zwischen anderen Gewässerschutzmassnahmen und Schwall-Sunk Massnahmen

Andere Gewässerschutzmassnahmen können vorbereitend wirken, d. h. vor der Umsetzung von Schwall-Sunk bezogenen Massnahmen (z. B. eine Revitalisierung oder morphologische Verbesserungen im Rahmen eines Hochwasserschutzprojektes) oder unterstützend und ergänzend wirken, d. h. die positive Wirkung von Schwall-Sunk Massnahmen erhöhen (z. B. das Schaffen von punktuellen Strukturen im Gewässer zur Schaffung von Jungfisch-Rückzugsorten mit Bereichen geringer Fliessgeschwindigkeit und Abflusstiefen unter Schwallbedingungen). Aus diesem Grund wird die Ursachenanalyse (Kap. 3.3 und Teil 2 Hilfstabelle Anhang D) nicht nur auf Schwall-Sunk bezogene Ursachen beschränkt. Die Resultate der Ursachenanalyse dienen somit auch als Grundlage für den Einbezug von anderen Gewässerschutzmassnahmen in der Ausarbeitung der Schwall-Sunk Massnahmen.

Koordination durch Kanton

Die Koordination der verschiedenen Gewässerschutzmassnahmen obliegt den Kantonen (Art. 46 Abs. 1 GSchV). Es wird empfohlen, die anderen geplanten Gewässerschutzmassnahmen sowie andere Projekte (z. B. neue Kraftwerksanlagen) im Einzugsgebiet des vom Schwall-Sunk betroffenen Gewässers im Rahmen der Absprache zwischen Kanton und Kraftwerksbetreiber abzustimmen (Kap. 3.6). Im Rahmen des vertieften Variantenstudiums sollen diese Massnahmen einbezogen und

deren vorbereitende, unterstützende oder ergänzende Wirkung auf die zu analysierenden Schwall-Sunk Massnahmen untersucht werden, um Synergien bzw. Konflikte frühzeitig zu entdecken.

4.5 Spezialfälle: Ausbauprojekte, Schwall-Ausleitkraftwerke, Restwassersanierung noch ausstehend, Rückhaltebecken zur Pumpspeicherung

Ausbauprojekte

Bei einer Konzessionserneuerung mit Ausbau (z. B. Erhöhung der turbinierten Wassermenge bei einem bestehenden Speicherkraftwerk) muss die durch den Ausbau bedingte Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk gestützt auf Artikel 39a GSchG verhindert werden. Entsprechend wird bei einem Ausbauprojekt nur der Teil der Massnahmen entschädigt, welcher bereits bestehende Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk beseitigt (Art. 15a^{bis} des Energiegesetzes vom 26. Juni 1998 [EnG, SR 730.0]).

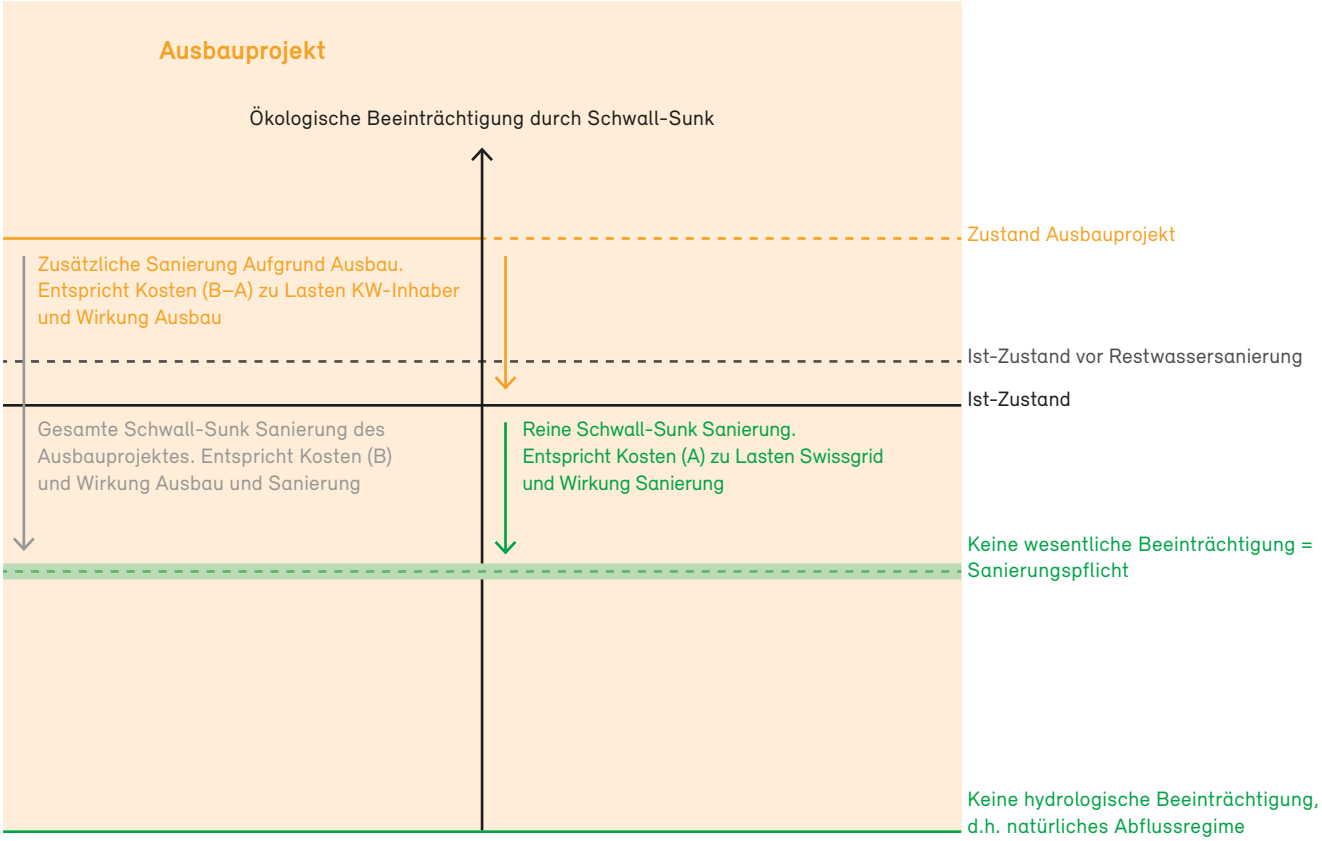
Bei Ausbauprojekten kann die Ermittlung der ökologische Gesamtwirkung sowie der Kosten gemäss vorliegendem Modul erfolgen, es sind jedoch zwei Prognosen notwendig:

1. Wirkung und Kosten (A) der Schwall-Sunk Sanierung ohne Ausbau (grüner Pfeil in Abb. 11).
2. Wirkung und Kosten (B) der Schwall-Sunk Sanierung mit Ausbau (grauer Pfeil in Abb. 11). Die Wahl der Variante zur Sanierung erfolgt so, dass trotz Ausbau, dieselbe Wirkung wie durch die reine Sanierungsmassnahme erreicht wird (i. d. R. keine wesentliche Beeinträchtigung mehr durch Schwall-Sunk).

Abb. 11

Ermittlung der Wirkung und Kosten bei Ausbauprojekte.

Der grüne Pfeil zeigt den reinen Sanierungsanteil bzgl. dem IST-Zustand (Kosten zu Lasten Swissgrid), der orangene Pfeil zeigt den ausbaubedingten Anteil (Kosten zu Lasten Kraftwerksinhaber).



Um den ausbaubedingten Anteil der Kosten (B – A) zu bestimmen, wird die Differenz gebildet (oranger Pfeil in Abb. 11). Die Kosten (A) des reinen Sanierungsanteils bezüglich dem IST-Zustand gehen zu Lasten Swissgrid, die Kosten des ausbaubedingte Anteils (B – A) zu Lasten des Kraftwerksinhabers.

Schwall-Ausleitkraftwerke
Bei der Beurteilung solcher Ausleitkraftwerke zur Sanierung von Schwall-Sunk sind dem Vorhaben theoretische, jedoch realisierbare Massnahmen gegenüberzustellen, mit welchen die gewünschte ökologische Wirkung (keine wesentliche Beeinträchtigung) ebenfalls erreicht werden könnte.

Die einmalige Kostenbeteiligung an den Gesamtkosten des Schwall-Ausleitkraftwerkes beeinflusst dessen voraussichtliche Wirtschaftlichkeit. Im Gegenzug verpflichtet die Kostenbeteiligung den Kraftwerksinhaber dazu, das Schwall-Ausleitkraftwerk so zu betreiben, dass im sanierten Gewässerabschnitt effektiv keine wesentliche Beeinträchtigung mehr besteht und durch die Ausleitung auch keine solche in einem anderen Abschnitt geschaffen wird. Voraussetzung für solche Schwall-Ausleitkraftwerke ist, dass diese Schwall-Sunk optimiert und nicht energieoptimiert ausgelegt werden. Das Variantenstudium soll auch aufzeigen, welche möglichen negativen ökologischen Auswirkungen der Bau eines solches Schwall-Ausleitkraftwerk mit sich bringen kann, z. B. durch Verlängerung der Restwasserstrecke, Bauten im Gewässer, Unterbindung von Fischgängigkeit oder Hochwasser- und Geschiebedynamik. All diese Faktoren sind bei der Beurteilung der ökologischen Gesamtwirkung und bei der Wahl der Bestvariante zu berücksichtigen.

Restwassersanierung noch ausstehend
Wenn ein materieller Zusammenhang mit der Restwassersituation gegeben ist (z. B. Sunkabfluss hängt von der Restwasserdotation ab), muss die Restwassersanierung spätestens zum Zeitpunkt der Erstellung des Entschädigungsgesuchs definitiv entschieden sein (vgl. Modul «Finanzierung», Kap. 2.3). Sinnvollerweise liegt sie aber bereits vorher vor, damit sie als Randbedingung in die Massnahmenplanung und bei der Auswahl der Bestvariante zum Abschluss des Variantenstudiums einfliessen kann. Das BAFU hat zudem bei seiner Anhörung vor dem Entscheid über das Sanierungsprojekt bereits die Verhältnismässigkeit (das schliesst auch die Notwendigkeit der Massnahme mit ein) zu beurteilen. Die Kenntnis über die abzugebende Restwassermenge ist dafür eine Voraussetzung.

Führt der Umstand, dass die definitiven Restwassermengen noch nicht bekannt sind zu Mehrkosten bei der Planung, stellt sich die Frage der Anrechenbarkeit dieser Kosten (anrechenbar sind nur Kosten, die unmittelbar für die wirtschaftliche und zweckmässige Ausführung – schliesst auch die Projektierung mit ein – der Massnahmen erforderlich sind).

Rückhaltebecken zur Pumpspeicherung
Gemäss Artikel 39a Absatz 4 GSchG dürfen Ausgleichbecken, die in Anwendung von Artikel 39a Absatz 1 GSchG erstellt werden, zur Pumpspeicherung genutzt werden, ohne dass eine Konzessionsänderung erforderlich ist.

Voraussetzung für die Benutzung des Speichervolumens für Pumpspeicherung ist, dass die festgelegten Ziele und entsprechenden Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen (Kap. 3.4) immer eingehalten werden, ansonsten darf das Rückhaltebecken nicht zur Pumpspeicherung betrieben werden. Wenn grössere Speichervolumen gebaut werden als notwendig, um die wesentliche Beeinträchtigung zu beseitigen (z. B. um Pumpspeicherung zu gewährleisten), gehen die zusätzlichen Kosten zu Lasten des Kraftwerksinhabers.

Grundsätzlich ist anzumerken, dass sich oben genannte und allfällige zusätzliche Sonderfälle nicht in jedem Fall generalisieren lassen. Die Abgrenzung der Finanzierung ist folglich im Einzelfall mit dem Kanton und dem Bund festzulegen.

5 Erfolgskontrolle

5.1 Überblick

Die Erfolgskontrolle stellt ein wichtiges Instrument dar, um den Vollzug des Gewässerschutzes im Bereich Schwall-Sunk sicherzustellen und sie bildet die Grundlage, um die Öffentlichkeit über den Stand der umgesetzten Massnahmen und deren Wirksamkeit zu informieren. Die Erfolgskontrolle stellt auch ein wichtiges Instrument für den Lernprozess dar.

Anhang G Teil IV erläutert die Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen für diesen Hauptschritt 3.

Erfolgskontrolle umfasst Umsetzungs- und Wirkungskontrolle
Im Rahmen der Sanierung von bestehenden Anlagen sind die Kraftwerksinhaber verpflichtet die Wirksamkeit der getroffenen Schwall-Sunk Massnahmen, nach Anordnung der Behörde, zu prüfen (Art. 41g Abs. 3 GSchV). Ausserdem sind die Kantone verpflichtet dem Bund alle vier Jahre Bericht über die durchgeführten Massnahmen (Umsetzungskontrolle) und deren Wirkung (Wirkungskontrolle) zu erstatten (Art. 83b Abs. 3 GSchG). Somit beinhaltet die Erfolgskontrolle Umsetzungs- und Wirkungskontrolle (vgl. auch die Praxisanleitung Einzugsgebietsmanagement, Teil 6 «Erfolgskontrolle», BAFU 2012).

Bei Neuanlagen ist die Durchführung einer Erfolgskontrolle ebenfalls notwendig. Die Kraftwerksinhaber sind nach Artikel 46 Absatz 1 USG verpflichtet, die zur Überprüfung der Wirksamkeit der Massnahme erforderlichen Abklärungen durchzuführen. Die Kantone wiederum müssen über die getroffenen Massnahmen und deren Wirksamkeit für den Gewässerschutz informieren (Art. 50 GSchG, Art. 49 Abs. 2 GSchV).

Lernprozess und Aktualisierung des Moduls
Die aus der Erfolgskontrolle gewonnenen Erkenntnisse sollen in die Aktualisierung des vorliegenden Moduls einfliessen, die nach Bedarf bis 2030 durch das BAFU vorgesehen ist. Auf diese Weise kann aus Erfahrungen gelernt, Projekte verbessert und ein effektiver Mitteleinsatz gewährleistet werden. Die neuen Erkenntnisse sind jeweils je nach Fortschritt auf laufende Projektierungen anzuwenden. Bereits verfügte oder gar (teilweise) umgesetzte Massnahmen müssen nicht angepasst werden.

5.2 Anforderungen an die Berichterstattung durch die Kantone

Der Bericht der Kantone[3], welcher alle vier Jahre zu verfassen ist (erstmalig Ende 2018), umfasst pro Gewässereinzugsgebiet den genauen Stand der Umsetzung bei sämtlichen sanierungspflichtigen Anlagen wie auch bei Neuanlagen. Bei betrieblichen Massnahmen gibt der Bericht auch Auskunft über die Kontrolle der Einhaltung der entsprechenden Vorgaben. Allfällige Ergänzungen zu der Strategischen Planung der Kantone sind auch zu berücksichtigen und verfassen.

Für jede umgesetzte Massnahme, bei welcher die Resultate einer Wirkungskontrolle gemäss Kapitel 5.4 vorliegen, enthält der Bericht zudem eine entsprechende Beurteilung der erreichten Wirkung und zeigt auf, wo allenfalls Nachbesserungen erforderlich sind und auf welche Art und Weise diese erfolgen werden.

5.3 Umsetzungskontrolle

Sinn und Zweck der Umsetzungskontrolle
Die Umsetzungskontrolle (auch Vollzugskontrolle genannt) stellt eine periodische Überprüfung des Umsetzungsstandes und -fortschritts dar. Damit wird durch die Kantone kontrolliert, ob die verfügten Massnahmen wie geplant sachlich und zeitlich umgesetzt werden.

5.4 Wirkungskontrolle

Sinn und Zweck der Wirkungskontrolle
Die Wirkungskontrolle untersucht, ob die ausgeführten Massnahmen die gewünschte Wirkung entfalten, d. h. die

3 Der Inhalt und die Form des Berichtes waren zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des vorliegenden Moduls noch nicht definiert.

wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk beseitigen (bestehende Anlagen) bzw. verhindern (Neuanlagen). Dabei werden die prognostizierten positiven Auswirkungen auf die Gewässerökologie als auch die Einhaltung der angestrebten Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen (Kap. 3.4) durch die Kraftwerksinhaber und Kantone periodisch überprüft. Damit liefert die Wirkungskontrolle auch Hinweise, ob und welche Nachbesserungen notwendig sind.

Konzept für die Wirkungskontrolle
Die Wirkungskontrolle erfolgt in der Praxis mit umfassenden Untersuchungen durch den Kraftwerksinhaber über einen längeren Zeitraum. Im Rahmen der Projektierung der Schwall-Sunk Massnahmen (d. h. nach Variantenstudium aber vor Baubewilligung; Abb. 2) haben die Kraftwerksinhaber dem Kanton ein Konzept für die Wirkungskontrolle einzureichen.

Die kantonale Behörde verfügt bei Sanierungsprojekten wie bei Neuanlagen spätestens im Rahmen der Baubewilligung die Wirkungskontrolle.

Anforderungen und Methodik
Das Konzept für die Wirkungskontrolle soll aufzeigen wo auf der Schwallstrecke, mit welchen Indikatoren und Methoden sowie über welchen Zeitrahmen die Wirkungskontrolle durchgeführt werden soll. Die Wirkungskontrolle betrachtet drei Gewässerzustände:

1. Der Zustand vor der Planung der Massnahmen (IST-Zustand).
2. Der prognostizierte Zustand nach Umsetzung der Massnahmen.
3. Der effektive Zustand nach Umsetzung der Massnahmen.

Die Wirkungskontrolle erfolgt mittels der biotischen und abiotischen Indikatoren, welche für die Defizitanalyse (Kap. 3.2) und für die Prognostizierung der Wirkung der Massnahmenvarianten gemäss Kapitel 4 untersucht und bewertet wurden. Ausserdem sollte die Wirkungskontrolle an den gleichen Orten im Gewässer (vgl. Anhang B) und mit den gleichen Methoden stattfinden wie bei der Defizitanalyse (IST-Zustand). Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Untersuchungen des Gewässers vor und nach Umsetzung der Schwall-Sunk Massnahmen möglichst systematisch miteinander verglichen werden können und somit die Überprüfung der Erfüllung der angestrebten Ziele und der damit verbundenen Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen (Kap. 3.4) möglich ist. Eine genaue Beschreibung sowie die Anleitung für die praktische Untersuchung und Bewertung der Indikatoren befinden sich im Anhang C.

Wirkungskontrollen sollten eine Zeitspanne von mindestens 3 – 5 Jahren erfassen, im Idealfall bis zu 10 Jahren; dies vor allem bei grossen Projekten und wenn Kraftwerke ökologisch wertvolle Gewässer beeinträchtigen. Die Zeitspanne ist auch von den festgelegten Zielen abhängig. In den meisten Fällen wird empfohlen, eine Wirkungskontrolle 2, 5 und 10 Jahre nach Umsetzung der Massnahmen vorzunehmen. Steht nur ein minimales Budget für die Wirkungskontrolle zur Verfügung, sollte die Wirkung nach einem mittleren und längeren Zeitabstand dokumentiert werden, z. B. nach 3 und 10 Jahren.

Es wird empfohlen, die Wahl der Indikatoren für die Wirkungskontrolle sowie die örtlichen und zeitlichen Rahmenbedingungen schon in der Absprache zwischen Kraftwerksinhaber und kantonalen Behörden festzulegen (Kap. 3.6). Diese fliessen dann ins Konzept ein.

Nichterreichen der erwarteten Wirkung und Nachbesserungen
Werden die festgelegten Ziele und die damit erwartete ökologische Gesamtwirkung im Gewässer auch nach 5 – 10 Jahren nicht erreicht, so müssen die Ursachen dafür untersucht werden und es soll beurteilt werden, ob sich der Erfolg später noch einstellen könnte. Die Ursachen können darin liegen, dass die bestimmten Zielwerte und das daraus resultierende hydrologisches Anforderungsprofil der Abflussganglinien nicht eingehalten wurden oder die Gewässerökologie nicht wie prognostiziert auf die neuen Abflussganglinien reagiert.

Zeigt die Wirkungskontrolle auf, dass mit den umgesetzten Massnahmen die festgelegten Zielen nicht erreicht wurden, können vom Kanton zusätzliche Massnahmen zur Beseitigung bestehender wesentlicher Beeinträchtigungen im Gewässer verfügt werden (Nachbesserungen). Diese unterliegen wiederum einer Umsetzungs- und Wirkungskontrolle gemäss Kapiteln 5.3 und 5.4.

Wenn die geplante Gesamtwirkung nicht erreicht wird, weil sich die zur Zeit der Planung der Massnahmen geltenden Rahmenbedingungen geändert haben (z. B. Veränderung der Morphologie oder des Geschiebehaushalts) oder die Betriebsweise des Kraftwerks auf Grund der Marktanforderungen verändert werden musste, so ist dies durch den Kraftwerksinhaber zu belegen und dem Kanton vorzuweisen. Dieser entscheidet auf dieser Grundlage, inwiefern der Kraftwerksinhaber Schwall-Sunk bezogene Nachbesserungen selbst vorzunehmen hat oder andere nicht Schwall-Sunk bezogene Massnahmen allenfalls durch Dritte zu treffen sind. Ist Ersteres der Fall, liegt die Pflicht beim Inhaber. Die Finanzierung von Nachbesserungen ist im Modul Finanzierung geregelt.

Koordination mit anderen Massnahmen

Eine Koordination der Wirkungskontrolle der Schwall-Sunk Massnahmen mit derjenigen der anderen Gewässerschutzmassnahmen (v. a. Revitalisierung von Gewässern und Auen, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sicherung angemessener Restwassermengen, Hochwasser- und Grundwasserschutz) sollte angestrebt werden um Synergien optimal zu nutzen und Doppelspurigkeiten zu vermieden. Dabei finden die Überlegungen zur Koordination der Massnahmen gemäss Kapitel 4.4 sinngemäss Anwendung. Die Kosten der Wirkungskontrolle müssen für alle Sanierungs- und Schutzbestrebungen getrennt ausgewiesen werden.

6 Literaturverzeichnis

In den Kapiteln 2 bis 5 zitierte Literatur

Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. 2014. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. BOKU, Wien: 109 S.

BAFU 2009. Bundesamt für Umwelt 2009: UVP-Handbuch. Richtlinie des Bundes für die Umweltverträglichkeitsprüfung. Umwelt-Vollzug Nr. 0923, Bern. 156 S.

BAFU 2012. Einzugsgebietsmanagement. Anleitung für die Praxis zur integralen Bewirtschaftung des Wassers in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1204.

BAFU 2013. Koordination wasserwirtschaftlicher Vorhaben. Die Abstimmung wasserwirtschaftlicher Vorhaben in und zwischen den Bereichen, den Staatsebenen und im Einzugsgebiet. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Umwelt-Vollzug Nr. 1311: 58 S.

BAFU 2016. Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen –Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1634: 42 S.

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.

Bieri M. 2012. Operation of complex hydropower schemes and its impact on the flow regime in the downstream river system under changing scenarios. Dissertation. EPFL, Lausanne: 199 S.

Bieri M., Person E., Peter A., Schleiss A.J. 2013. Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion von Schwall und Sunk – Fallbeispiel Hasliaare. Wasser Energie Luft 105: 95 – 102.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk – Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf: 92 S.

Habersack H., Hauer C. 2014. Schwalluntersuchung Alpenrhein –Sedimentologische und morphologische Bewertungen. BOKU, Wien: 163 S.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K. 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105: 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105: 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M., Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105: 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105: 277 – 287.

Wasser-Agenda 21 2012. Einbezug der Betroffenen bei der Sanierung von Schwall und Sunk, Standpunkt der Arbeitsgruppe Dialog Wasserkraft. Wasser-Agenda 21, Dübendorf: 4 S.

Wasser-Agenda 21 2013. Einbezug der Betroffenen bei der Sanierung von Schwall und Sunk, Checkliste zur Planung des Einbezugs. Wasser-Agenda 21, Dübendorf: 2 S.

Anhang A – Rechtliche Grundlagen

Tab. A1

Übersicht über Schwall-Sunk betreffende Artikel im Gewässerschutzgesetz (GSchG) und in der zugehörigen Gewässerschutzverordnung (GSchV).

GSchG	**Titel** und Wortlaut
Art. 39a Abs. 1	**Schwall und Sunk** 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. 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. 39a Abs. 3	Im Einzugsgebiet des betroffenen Gewässers sind die Massnahmen nach Absatz 1 nach Anhörung der Inhaber der betroffenen Wasserkraftwerke aufeinander abzustimmen.
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. 83a	**Sanierungsmassnahmen** 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. 83b Abs. 1	**Planung und Berichterstattung** 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. 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.

GSchV	**Titel** und Wortlaut
Art. 33a	**Ökologisches Potenzial** 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. 41e	**Wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall und Sunk** 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.

GSchV	**Titel** und Wortlaut
Art. 41g Abs. 1	**Massnahmen zur Sanierung bei Schwall und Sunk** 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.
Art. 46 Abs. 1	**Koordination** 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.

Tab. A2

Übersicht über Schwall-Sunk betreffende Artikel im Energiegesetz (EnG) und in der zugehörigen Energieverordnung (EnV).

EnG	**Titel** und Wortlaut
Art. 15a^{bis} Abs. 1	**Entschädigung des Konzessionärs** Die nationale Netzgesellschaft erstattet dem Konzessionär nach dessen Anhörung sowie im Einvernehmen mit dem Bundesamt für Umwelt und dem betroffenen Kanton die vollständigen Kosten für die Massnahmen nach Artikel 83a des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 oder nach Artikel 10 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei.
Art. 15a^{bis} Abs. 2	Der Bundesrat regelt die Einzelheiten.

EnV	**Titel** und Wortlaut
Art. 17d Abs. 1	**Gesuch** Der Inhaber eines Wasserkraftwerks kann für Massnahmen nach Artikel 83a des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 (GSchG) oder nach Artikel 10 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über die Fischerei (BGF) bei der zuständigen kantonalen Behörde ein Gesuch um Erstattung der Kosten einreichen.

Anhang B – Morphologische und hydrologische Grundlagenerhebung

1 Einleitung

Sinn und Zweck der Grundlagenerhebung
Die Eignung eines Gewässers als Lebensraum für die Wasserflora und -fauna wird, abgesehen von der chemisch-physikalischen Wasserqualität und der Wasserführung, hauptsächlich durch die gerinnemorphologischen und den damit in Wechselwirkung stehenden hydraulischen Faktoren bestimmt.

Die morphologische und hydrologische Grundlagenerhebung ist notwendig um die sorgfältige Planung der Untersuchungen vorzunehmen, die Abgrenzung der Einflüsse zu ermöglichen und die Übertragbarkeit der Resultate sicherzustellen.

Ziele der Grundlagenerhebung
Mit der Grundlagenerhebung werden zwei Hauptziele verfolgt:

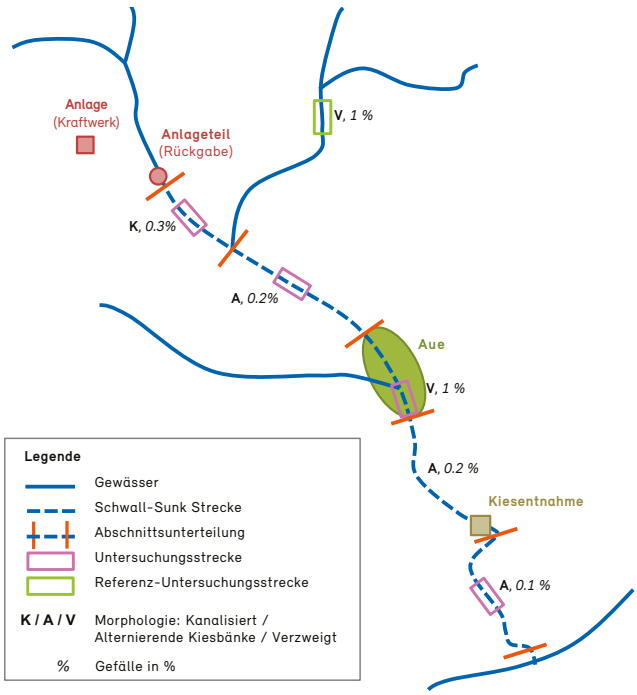
1. Die Charakterisierung des Gewässers und dessen Unterteilung in morphologisch-hydraulisch und hydrologisch homogene Abschnitte.
2. Die Festlegung der Untersuchungsstrecken und der Erhebungen.

Zeitpunkt der Grundlagenerhebung
Die Grundlagenerhebung des untersuchten Gewässers geschieht im Normallfall vor der weiteren, detaillierten Bearbeitung der Indikatoren (Anhang C), der Defizit-, Ursachenanalyse und Festlegung der Ziele (Kap. 3 und Anhang D) sowie der Habitatmodellierungen (Anhang F).

2 Abschnittsbildung in der Schwall-Sunk Strecke

Die Abschnittsbildung im Gewässer ist je nach Konfiguration der Anlage (Speicher, Fassungen, Rückgabe) anhand der Morphologie, der Hydrologie und der Wasserqualität sowie unter Berücksichtigung von Schutzgebieten, Zuflüsse aus Seitengewässer, Einflüsse der ober- und unterhalb liegenden Gewässerabschnitten und anderen (zu sanierenden) Anlagen im Einzugsgebiet vorzunehmen (Abb. B1).

Abb. B1
Unterteilung der Schwall-Sunk Strecke in Abschnitte und Untersuchungsstrecken.



Grundsätzlich soll ein Abschnitt die Mindestlänge von 10 bis 20 Mal der mittlerer Gewässerbreite nicht unterschreiten. Er darf aber durchaus wesentlich länger sein, sofern Morphologie, Geschiebe oder Hydrologie keinen Anlass zu einer feineren Unterteilung geben. Innerhalb eines längeren Abschnitts gleicher Morphologie ist anhand des Längenprofils zu prüfen, ob sich die hydraulischen Eigenschaften durch Gefällsknicke massgeblich ändern.

In den allermeisten Fällen ist davon auszugehen, dass das Gewässer bis zur Einmündung in einen See oder ein

grösseres Fliessgewässer von Schwall-Sunk betroffen ist. Dabei ist zu prüfen, dass der «Verdünnungseffekt» im grösseren Fliessgewässer auch bei Niederwasser ausreichend ist, so dass keine wesentliche Beeinträchtigung mehr besteht. Dies ist z. B. der Fall, wenn das Schwall-Sunk Verhältnis kleiner als 1,5 ist (Art. 41e GSchV).

Die Informationen aus den strategischen kantonalen Schwall-Sunk Planungen sowie die Hinweise aus den Anhänge A2 bis A4 des Moduls «Schwall-Sunk – Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) sind bei der Abschnittsbildung zu berücksichtigen.

Morphologie und Geschiebe
Die Morphologie ist eine wesentliche Grösse zur Unterteilung des Gewässers in morphologisch-hydraulisch homogene Abschnitte. Der Abschnitt wird anhand von Gerinneform, Korngrössen, Gefällsknicken, Geschiebeeinträgen und -entnahmen beschrieben. Informationen dazu können z. B. den strategischen, kantonalen Planungen zum Geschiebehaushalt entnommen werden.

Gestützt auf Anhang A3 des Moduls «Strategische Planung» sind prioritär Abschnitte mit einer noch natürlichen oder naturnahen Morphologie (d. h. unkorrigierte Gewässerstrecken) und der empfindlichste Zustand (d. h. die vielfältigste der vorhandenen Morphologien) zu identifizieren.

Hydrologie und Seitengewässer
Die Bewertung der Hydrologie zielt auf eine Unterteilung in Gewässerabschnitte mit vergleichbaren hydrologischen Bedingungen sowie auf die Erfassung von Defiziten in der Wasserführung (Abflussregime) ab, welche nicht unmittelbar im Zusammenhang mit Schwall-Sunk stehen, jedoch einen Beitrag zur Interpretation der festgestellten Beeinträchtigungen im Gewässer liefern.

In einfachen Fällen kann die Unterteilung in Gewässerabschnitte mit vergleichbaren hydrologischen Bedingungen gutachterlich erfolgen. In komplexeren Fällen (Gewässernetz mit vielen hydrologischen Eingriffen) kann der Einfluss der Hydrologie und der Seitengewässer mit Hilfe des Moduls Hydrologie des Modul-Stufen-Konzepts (Pfaundler et al. 2011) bestimmt werden.

Wasserqualität
Vorhandene Daten sind auf Aktualität zu prüfen. Notwendige Ergänzungen können gemäss Liechti (2010) oder mit Hilfe des Moduls Kieselalgen des MSK (Hürlimann & Niederhauser 2007) durchgeführt werden, um die Wasserqualität als allfälligen Störfaktor für die Bewertung der Schwall-Sunk Indikatoren auszuschliessen.

Schutzgebiete
Schutzgebiete sind für die Festlegung der Abschnitte und insbesondere für die Untersuchungsstrecken von zentraler Bedeutung. Sie umfassen unter anderem: (i) BLN-Gebiete, (ii) Auen von nationaler, kantonaler oder regionaler Bedeutung, (iii) Grundwasserschutzgebiete, (iv) Wasser- und Zugvogelreservate, (v) Smaragd Gebiete, (vi) Fischreservate von nationaler Bedeutung (z. B. Nasen- oder Äschenlaichplätze), (vii) Amphibienlaichgebiete.

3 Festlegung der Untersuchungsstrecken und der Erhebungen

Wahl der Untersuchungsstrecken
Grundsätzlich wird empfohlen, einige Strecken sehr detailliert zu untersuchen und dann mittels Extrapolationen Rückschlüsse zu ziehen. Es ist davon auszugehen, dass falls in der Untersuchungsstrecke durch eine Massnahme ein Defizit behoben werden kann, dieses im gesamten homogenen Abschnitt bzw. in vergleichbaren homogenen Abschnitten behoben wird.

Zur Begrenzung des Aufwandes wird: (i) pro homogenem Abschnitt max. eine Untersuchungsstrecke gewählt, (ii) die Länge der Untersuchungsstrecke innerhalb eines Abschnitts auf eine Länge normalerweise von 10 bis 20 Mal die Breite beschränkt, (iii) die Wahl der Untersuchungsstrecken prioritär auf eher kritische Abschnitte beschränkt, d. h. empfindliche bzw. naturnahe Abschnitte werden bevorzugt.

Je nach Komplexität des Einzugsgebietes (Anzahl Schwallverursacher, vorhandene und künftige Morphologien, Länge und Grösse, ökologisches Potenzial des Gewässers, usw.) sind mehrere Untersuchungsstrecke innerhalb eines Abschnittes detailliert zu untersuchen oder flächendeckende Erhebungen durchzuführen.

Innerhalb der Untersuchungsstrecke(n) sind bei der Begehung, gestützt auf die vermuteten Defizite, die zu berücksichtigenden Indikatoren und deren Untersuchungsstellen festzulegen. Folgende Erhebungsstellen und Untersuchungen sind zu berücksichtigen: (i) Abfischungsstrecken sowie Erhebungsstellen für weitere fischökologische Untersuchungen (z. B. Test-Kits, vgl. Anhang C Indikator F3*), (ii) Erhebungsstellen Makrozoobenthos, (iii) Beurteilung der Notwendigkeit und gegebenenfalls Erhebungsstellen für Drift sowie innere und äussere Kolmation, (iv) Lage von ausgewählten Querprofilen, zur Modellierung und Beurteilung der verschiedenen Indikatoren (1D-Ansatz), (v) Sektoren zur Modellierung und Beurteilung der verschiedenen Indikatoren (2D-Ansatz), (vi) Erhebungsstellen der Korngrössenverteilung zur Definition von Rauhigkeitsbeiwerten und Substrateignung, Wassertiefen und Fliessgeschwindigkeiten für Leitfischarten und Makrozoobenthos (Präferenzkurven), (vii) Erhebung funktioneller Unterstände für Fische. Eine frühzeitige und sorgfältige Koordination unter den Fachspezialisten ist wichtig.

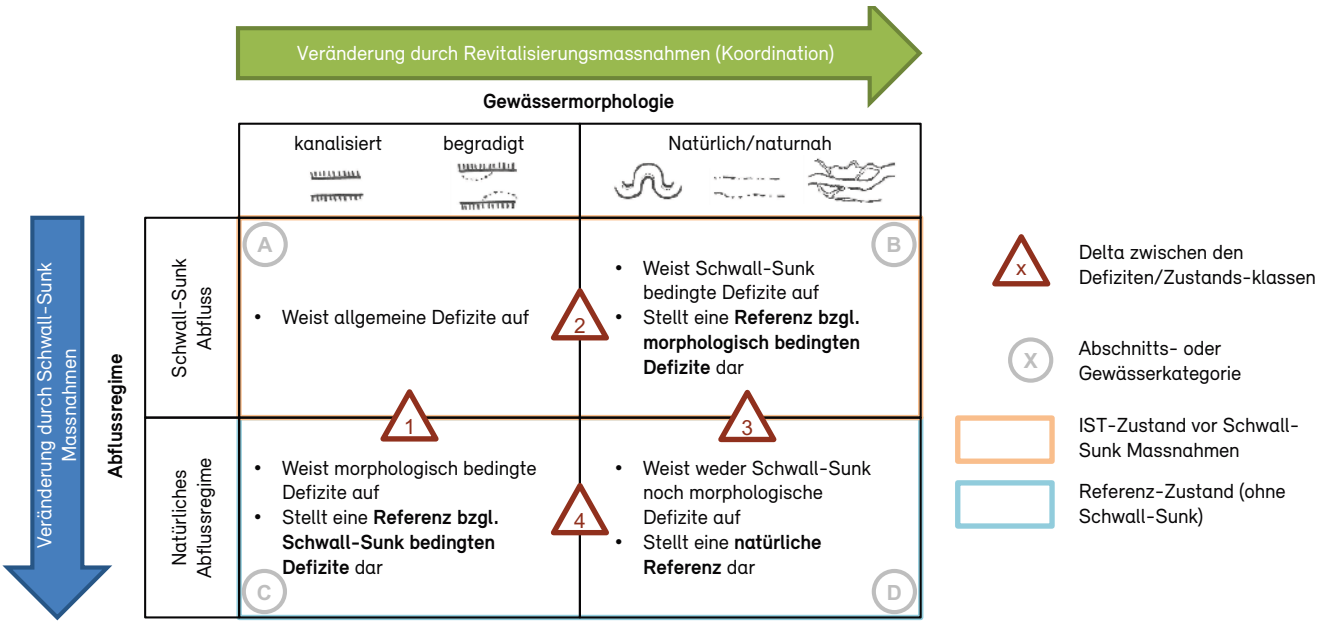
Einordnung und Interpretation der Resultate der Untersuchungsstrecken

Zur Einordnung der Zustände und allfälliger Defizite der Detailuntersuchungen sind, sofern vorhanden, Untersuchungsstrecken in folgenden Abschnitten zu berücksichtigen (Abb. B2):

(A) Abschnitte mit Schwall-Sunk, deren Gewässermorphologie kanalisiert oder begradigt ist.
(B) Abschnitte mit Schwall-Sunk, deren Gewässermorphologie einem natürlichen oder naturnahen Zustand entspricht, nach Möglichkeit dem empfindlichsten Zustand gemäss Baumann et al. (2012).
(C) Kanalisierte oder begradigte Abschnitte ohne Schwall-Sunk ausserhalb der Schwall-Sunk Strecke. Ein solcher Abschnitt zeigt das Maximalniveau der ökologischen Verbesserung durch die Schwall-Sunk Massnahme auf.
(D) Abschnitte mit natürlicher oder naturnaher Gewässermorphologie ohne Schwall-Sunk. Ein solcher Abschnitt stellt die natürliche Referenz dar und zeigt das ökologische Potenzial an.

Abb. B2

Einordnungen der Resultate der Untersuchungsstrecken zur Interpretation der Defizite.



Die Defizite, die Ursachen der Beeinträchtigung und die tatsächliche Wirkung von Massnahmen kann mit den Ergebnissen der Referenzzustände (B), (C), (D) relativ gut eingeordnet werden. Ein Vergleich der Defizite und/oder der Zustandsklassen dient der genaueren Identifikation der Schwall-Sunk oder gewässermorphologisch bedingten Anteile (Abb. B2):

- Delta 1 wie auch Delta 3 entsprechen den Schwall-Sunk bedingten Anteilen, in kanalisierten oder begradigten bzw. gewässermorphologisch natürlichen oder naturnahen Abschnitten.
- Delta 2 zeigt den Anteil der gewässermorphologisch bedingten Defizite in Schwall-Sunk beeinträchtigten Abschnitten, d. h. inwiefern sich die Situation z.B, durch Revitalisierungsmassnahmen verbessern könnte.
- Delta 4 entspricht dem gewässermorphologisch bedingten Anteil der Defizite in Abschnitten mit natürlichem Abflussregime, ist aber für die Schwall-Sunk Bewertung und die Erarbeitung von Massnahmen von untergeordneter Bedeutung.

Perioden und Koordination der Felderhebungen
Weiter zu prüfen sind, welche Felderhebungen örtlich, zeitlich und themenübergreifend zu koordinieren sind (z. B. Substraterhebungen mit Makrozoobenthos (MZB) und Fischen, MZB-Untersuchungsstellen mit Kolmationserhebungen, Habitatkartierungen für die Modellierungen).

4 Darstellung der Informationen aus der Grundlagenerhebung

Auf einer Übersichtskarte (vgl. Abb. B1) können folgende Informationen dargestellt werden: (i) die Anlage und die Anlageteile (Speicher, Fassungen, Rückgabe), (ii) die Schwall-Sunk Strecke, (iii) die homogenen Abschnitte, (iv) die Untersuchungsstrecken und gegebenfalls weitere Informationen wie Schutzgebiete, Referenzstrecken, andere (zu sanierende) Anlagen im Einzugsgebiet, Abflussmessstellen, Seitengewässer, Kiesentnahmestellen, Baustellen usw.

Für die Untersuchungsstrecke können auf Orthophotos folgende Informationen abgebildet werden: (i) die Untersuchungstellen mit Angaben zu den zu erhebenden Indikatoren, (ii) die benetzten Breiten bei verschiedenen Abflüssen, (iii) Angaben zu Mesohabitaten und Uferanbindung, (iv) Angaben zur Wasserqualität, (v) Angaben zu den Erhebungsperioden.

5 Literatur

Baumann P., Kirchhofer A., Schächli U. 2012. Sanierung Schwall-Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.

Hürlimann J., Niederhauser P. 2007. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Kieselalgen Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 0740: 130 S.

Liechti P. 2010. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Chemisch-physikalische Erhebungen, Nährstoffe. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1005: 44 S.

Pfaundler M., Dübendorfer C., Zysset A. 2011. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abfussregime Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.

Anhang C – Indikatoren für Defizitanalyse, Prognose und Wirkungskontrolle

Abb. C1

Indikatorenliste.

Mit einem Klick auf die Indikatoren gelangen Sie direkt zum jeweiligen Kapitel.

Kurzbezeichnung		Defizitanalyse (IST-Zustand)	Prognose	Wirkungskontrolle	Indikator Modul «Strategische Planung»	Hauptänderungen bzgl. Modul «Strategische Planung» bzw. Ziele neuer Indikatoren
A2	Hydrologische Kenngrössen	●	●	●		Definition gewässerspezifischer Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen über Wechselwirkung mit anderen Indikatoren
F2*	Stranden von Fischen	●	●	●	●	Wertefunktionen, Fischarten und -Entwicklungsstadien
F3*	Laichareale der Fische	●	●	●	●	Wertefunktion, Laichgrubenkartierung, Laichgruben- und Brutboxentests
F6	Habitateignung Fische	●	●	●		Modellierung Habitateignung Fische
B5	Habitateignung Makrozoobenthos	●	●	●		Modellierung Habitateignung Makrozoobenthos
Q1*	Wassertemperatur	●	●	●	●	Messstandort, Prognose
F4*	Jungfischvorkommen	●		●	●	Fischarten, Verzicht auf Wertefunktion, vormals: «Reproduktion der Fischfauna»
B1*	Biomasse und Diversität Makrozoobenthos	●		●	●	Bewertung Biomasse und Diversität, nur EPT-Taxa
B3	Längenzonation Makrozoobenthos	●		●	●	
B4	EPT-Familien Makrozoobenthos	●		●	●	
D1	Drift	●		●		Definition gewässerspezifischer Schwellenwerte gestützt auf Schwallversuche
F1*	MSK-Modul Fische	●		●	●	Befischungsmethodik, Interpretation
B2*	MSK-Modul Makrozoobenthos	●		●	●	Erhebungsmethodik, Interpretation
H1*	Innere Kolmation	●		●	●	Erhebungsmethodik
H2	Äussere Kolmation	●	●	●		Quantifizierung Bewohnbarkeit Habitate

● Kernindikatoren ● Breitbandindikatoren (X*) Indikator überarbeitet

● Schwall-Sunk sensitive Indikatoren ● Zusatzindikatoren (X) Neuer Indikator

Kernindikatoren
Als Kernindikatoren werden diejenigen Indikatoren bezeichnet, welche Schwall-Sunk sensitiv und gut prognostizierbar sind. Mindestens fünf von sechs Kernindikatoren sollten im Hinblick auf die Prognose zur Wirkung der Massnahmen und für den Variantenvergleich (Kap. 4) erhoben werden.

Der Kernindikator **A2 «Hydrologische Kenngrössen»** kann nicht weggelassen werden, da dieser in direkter Wechselwirkung mit weiteren Indikatoren steht sowie für die Festlegung der Ziele (Kap. 3.4) und von repräsentativen Abflussganglinien (Anhang E) ausschlaggebend ist. Dieser Kernindikator vermittelt zwischen den aus rechtlicher Sicht massgeblichen ökologischen Indikatoren, der Kraftwerkssteuerung und beispielsweise der Steuerung eines Rückhaltbeckens. Der Kernindikator A2 muss besonders sorgfältig unter Berücksichtigung konträrer Interessen (Schutz und Nutzung) festgelegt werden, weil er Gewähr bieten soll, dass bei seiner Einhaltung die wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk beseitigt bzw. verhindert wird.

Schwall-Sunk sensitive Indikatoren
Schwall-Sunk sensitive Indikatoren gehören nicht zu den Kernindikatoren, da sie nach heutigem Wissensstand nicht ausreichend prognostizierbar sind. Die Erhebung der Schwall-Sunk sensitiven Indikatoren wird zur Vervollständigung der Defizit- und Ursachenanalyse empfohlen.

Breitbandindikatoren
Breitbandindikatoren sind nicht besonders Schwall-Sunk sensitiv. Bei ausreichendem oder gutem Zustand der abiotischen Einflussfaktoren Wasserqualität und Morphologie oder bei Vorhandensein einer Referenzstrecke können sie Hinweise auf eine Schwall-Sunk bedingte Beeinträchtigung geben.

Zusatzindikatoren
Die Zusatzindikatoren sind nach heutigem Wissensstand nicht besonders Schwall-Sunk sensitiv. Sie dienen dem Prozessverständnis und sollten nach Möglichkeit vergleichend zu einer Referenzstrecke beurteilt werden. Deren Erhebung empfiehlt sich in Einzugsgebieten mit hoher Trübung und damit in Zusammenhang mit Kolmationsprozessen.

A2 Hydrologische Kenngrössen

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Neuer Indikator. Der Indikator «Mindestabfluss» vom Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) wird über den Sunkabfluss berücksichtigt.

- Wirkt unterstützend zur Einordnung der biotischen Defizite, auch im Vergleich zu Referenzstrecken oder -zuständen.
- Dient der gewässerspezifischen Festlegung von Zielen für Schwallabfluss, Sunkabfluss und der Pegeländerungsraten.
- Eignet sich durch die Einschätzung der Zielerreichung gut als Syntheseindikator für eine Vorauswahl von Massnahmen.
- Steht in Wechselwirkung mit weiteren biotischen und abiotischen Indikatoren.

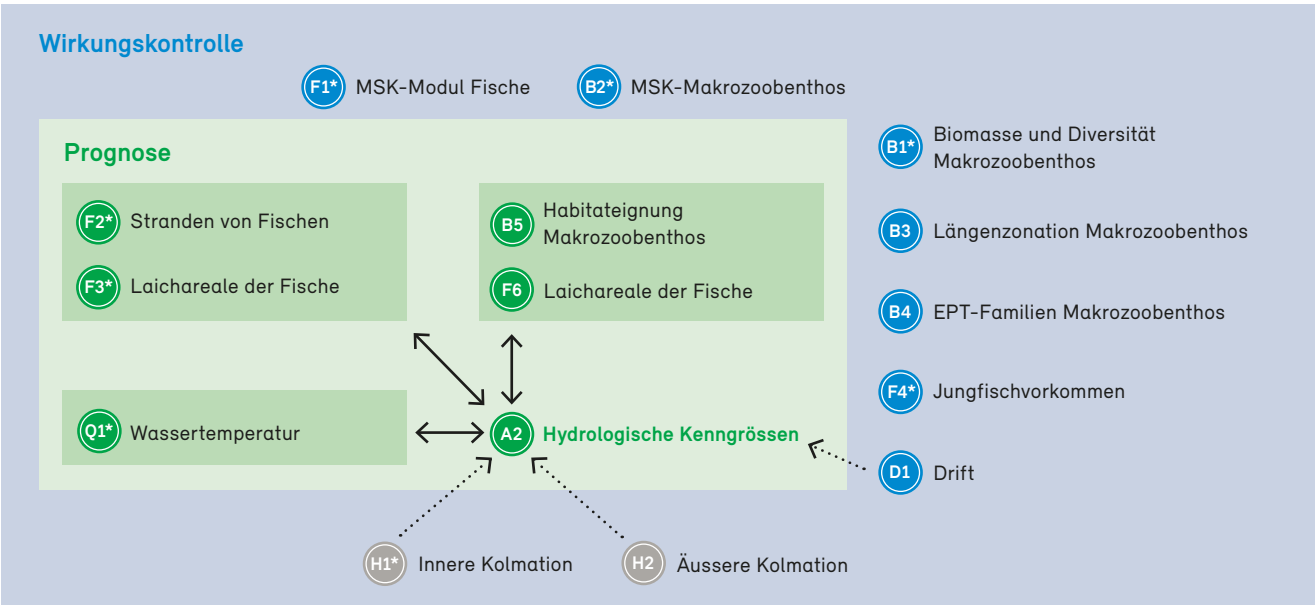
1 Grundlagen

Grundsätze zur Festlegung der Zielwerte von hydrologischen Kenngrössen
Die Zielwerte für die hydrologischen Kenngrössen müssen gewässerspezifisch sein und sich an den Erkenntnissen aus der Defizit- und Ursachenanalyse orientieren. Sie sind nicht losgelöst von den anderen biotischen und abiotischen Indikatoren, zu welchen die hydrologischen Kenngrössen in Wechselwirkung stehen (Abb. C2). Zusätzlich fliesst die Morphologie in die Festlegung der Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen ein (Anhang B).

Weitere bereits erfolgte Untersuchungen (z. B. Driftversuche D1, Test-Kits [Anhang C, F3*]), können ebenfalls als Grundlage in die Festlegung der hydrologischen Zielwerte einfliessen.

Gestützt auf die Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen und dem daraus resultierenden hydrologischen Anforderungsprofil (vgl. Hilfstabelle Teil 3 Anhang D) kann

Abb. C2
Wechselwirkung zwischen A2 «Hydrologischen Kenngrössen» und den weiteren Indikatoren.
Gestrichelte Pfeile: unterstützen die Festlegung der Zielwerte; durchgezogene Pfeile: dienen der Festlegung der Zielwerte (in Richtung A2) bzw. der Bestimmung der Zustandsklasse (in Richtung biotische und abiotische Indikatoren).



die Wirkung von verschiedenen Massnahmen einzeln oder aggregiert eingeordnet werden. In diesem Sinne handelt es sich bei A2 «Hydrologischen Kenngrössen» um einen Syntheseindikator der Zielerreichung. Mit dem Indikator A2 alleine kann aber keine abschliessende Aussage zum Zustand des Gewässers und einer allfälligen wesentlichen Beeinträchtigung gemacht werden.

2 Bestimmung des Indikators

Planung und Vorgehen
Die Bestimmung dieses Indikators erfordert keine besonderen Angaben, da es sich nicht um Felderhebungen handelt. Allenfalls kann die Einrichtung einer Abflussmessstation von Nutzen sein, um fehlende Abflussdaten zu erheben, welche der vertieften Defizitanalyse, Ursachenanalyse, Festlegung der Ziele und Massnahmenerarbeitung dienen.

Zeitliche Auflösung der Abflussdaten
Es werden zeitlich hoch aufgelöste Abflussdaten (Momentanwerte) benötigt. Momentanwerte geben im Gegensatz zu gemittelten Werten (z. B. Stundenwerte, Tageswerte, Monatswerte) den aktuellen Abflusswert zu einem bestimmten Zeitpunkt wieder. Werden sie in regelmässigen Zeitabständen mit hoher zeitlicher Auflösung (z. B. 10 min Werte) gemessen und aufgezeichnet oder wenn die Registrierung immer dann erfolgt, wenn sich der Abfluss merklich verändert, dann wird damit sichergestellt, dass durch eine solche Datenreihe der tatsächliche Abflussverlauf kontinuierlich abgebildet wird. In der Praxis des Bundesamtes für Umwelt messen die Logger an den Stationen in der Regel 10 min lang mit hoher Frequenz und zeichnen dann den über dieses Zeitintervall gemittelten Wert auf. Aufgrund des kurzen Zeitintervalles können diese Werte als Momentanwerte verwendet werden. Die zeitliche Auflösung der Daten zur Beurteilung der Kenngrössen der Abflussganglinie sollte daher nicht mehr als 10 – 15 min betragen. Je nach Fall kann die Abflussganglinie anhand der Betriebsdaten berechnet werden (vgl. Pfaundler et al. 2011).

Bestimmung der Zielwerte für die hydrologischen Kenngrössen
Die Bestimmung der Zielwerte für die verschiedenen hydrologischen Kenngrössen und deren Zielerreichung erfolgt in fünf Schritten:

1. Wahl und Begründung der berücksichtigten Gewässerabschnitte und Morphologie(n).
2. Wahl und Begründung der berücksichtigten Jahreszeit(en).
3. Wahl der hydrologischen Kenngrössen.
4. Festlegung der Zielwerte.
5. Bestimmung der Zielerreichung der hydrologischen Kenngrössen (= Zustandsklasse).

Wahl und Begründung der berücksichtigten Gewässerabschnitte und Morphologie(n)
Der Einfluss von Schwall-Sunk auf die Gewässerökologie ist nicht für alle Morphologien derselbe. Die Einflüsse von Schwall-Sunk und der Morphologie müssen soweit möglich unterschieden werden. Dazu kann der Einbezug von Referenzstrecken (d. h. morphologisch natürliche/naturnahe Gewässerabschitte mit Schwall-Sunk, z. B. Mastrilser Auen am Alpenrhein) wie auch von Referenzzuständen (d. h. morphologisch vergleichbare Gewässerabschitte ohne Schwall-Sunk) oder der natürlichen Referenz (d. h. Gewässerabschitte in einem vergleichbaren Gewässer ohne bzw. geringem Schwall-Sunk < 1,5) die Festlegung der Zielwerte unterstützen (vgl. Abb. B2 Anhang B).

Das Vorgehen für die Wahl und Begründung der berücksichtigten Gewässerabschnitte und Untersuchungsstrecken ist im Anhang B beschrieben.

Wahl und Begründung der berücksichtigten Jahreszeit(en)
Die Wahl der zu berücksichtigenden Jahreszeit(en) ist fallspezifisch und lässt sich beispielsweise begründen durch:

- Die Periode mit grössten Abweichungen der Abflüsse und Pegel (evtl. Temperaturänderungsraten) gegenüber dem natürlichen Zustand. Diese ist in alpinen Gewässern im Normalfall das Winterhalbjahr.

- Die Periode mit den bedeutendsten Defiziten bzw. den gewässerökologisch kritischsten Perioden (z. B. Laichperiode) bezüglich der Anforderungen der Leitarten (Fische und Makrozoobenthos).

Wahl der hydrologischen Kenngrössen
Verschiedene Studien haben sich in jüngster Vergangenheit mit dem Ansatz der gewässerspezifischen Festlegung der hydrologischen Kenngrössen befasst [z. B. Flussbau 2012, Schweizer et al. 2013 (1) – (4)]. Es wurden auf hydraulische Berechnungen gestützte Werte des Schwallabfluss, des Sunkabfluss, der Pegelrückgangsraten und Pegelanstiegsraten unter Berücksichtigung der hydromorphologischen Gegebenheiten erarbeitet (beispielsweise Anforderungen bezüglich Stranden F2* und/oder Laichareale F3*).

Die hydrologischen Kenngrössen sind:

- Der Schwallabfluss (= Abfluss Tagesmaxima): hat insbesondere einen Einfluss auf die Drift, die Stabilität der Laichgruben und der Habitate von Makroinvertebraten, Aufwuchsalgen, Makrophyten und Jungfische durch die Mobilisierung von Geschiebe/Feinsedimenten und indirekt auf die Trübung und Kolmation (physiologischer Stress, Beeinträchtigung der Photosynthese, reduzierte Sauerstoffversorgung von Fischlaich, usw.) (Bruder 2012, Bruder et al. 2012).
- Der Sunkabfluss (= Abfluss Tagesminima): dient nebst der Beurteilung des Strandungsrisikos auch der Bestimmung der geeigneten Flächen für Laichgruben, sowie der Habitateignung für Fische und Makrozoobenthos im dauerbenetzten Bereich der Gewässersohle. Ein Vergleich mit den Anforderungen bzgl. Restwassermenge (Art. 31 – 33 GSchG), d. h. dem Indikator A1 des Moduls «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) zeigt, ob der Minimalsunk diese Mindestanforderungen erfüllt. Der Vergleich mit dem natürlichen Q_{347} dient der Einordnung des Sunkabflusses unter natürlichen Bedingungen. Der Q_{347} Abfluss ist direkt vergleichbar mit dem 95 % Quantil des Sunkabflusses übers Jahr betrachtet (347/365 = 95 %). Zusammen mit dem Schwallabfluss dient der Sunkabfluss der Berechnung der trockenfallenden Flächen.
- Pegelrückgangsrate: diese Kenngrösse beeinflusst hauptsächlich das Strandungsrisiko und teilweise auch das Aussedimentieren von Schwebstoffen und somit die innere und äussere Kolmation (Bruder 2012, Bruder et al. 2012).
- Pegelanstiegsrate: ähnlich wie der Schwallabfluss steht diese Kenngrösse für die Intensität der Verdriftung von Makrozoobenthos (implizit auch Biomasse und Diversität) und Fischlarven und spielt für die Resuspension von Feinstoffen eine Rolle (Bruder 2012, Bruder et al. 2012).

Bei mehreren Schwallereignissen pro Tag wird im vorliegenden Modul der höchste Tageswert (Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate) bzw. der tiefste Tageswert (Sunkabfluss, Pegelrückgangsrate) berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung der Gewässergeometrie beinhalten die oben genannten Kenngrössen auch die Lage des Wasserspiegels, die benetzte Breite und die laterale Änderungsraten der benetzten Breite.

Gestützt auf die Defizit- und Ursachenanalyse ist nachvollziehbar zu begründen, welche Kenngrössen die Schwall-Sunk Problematik im betrachteten Gewässerabschnitt am besten abbilden. Je nach Defiziten und Ursachen kann auch nur ein Teil der hydrologischen Kenngrössen relevant sein (z. B. Indikator F2* «Stranden von Fischen» sehr guter oder guter Zustand Pegelrückgangsrate wenig relevant).

Festlegung der Zielwerte
Für die relevanten hydrologischen Kenngrössen werden Zielwerte festgelegt. Dies erfolgt im Rahmen der Festlegung der Ziele, gestützt auf die Wechselwirkung des Indikators A2 mit den biotischen und abiotischen Indikatoren (Kap. 3.4 und Hilfstabelle Teil III im Anhang D). Bei der Festlegung der Zielwerte ist immer auch die geforderte Häufigkeit der Einhaltung des Zielwerts anzugeben (das entspricht dem als Quantil ausgedrückten Prozentsatz der Zeit, in welcher der geforderte Zielwert eingehalten werden soll). Dabei soll unterschieden werden:

a) Beeinträchtigungen, die bereits durch wenige, dafür ausgeprägte Schwall-Sunk Ereignisse in ökologisch besonders kritischen Perioden (z. B. Laichperiode) hervorgerufen werden (Einhaltung 95%-Quantil erforderlich).

b) Beeinträchtigungen, welche durch regelmässige, immer wiederkehrende aber weniger ausgeprägte Schwall-Sunk Ereignisse verursacht werden (Einhaltung 60 %-Quantil erforderlich).

Die Tabellen C1 bis C4 beinhalten mögliche Ansätze zur Festlegung der Zielwerte und Quantile sowie die massgebenden in Wechselwirkung stehenden Kernindikatoren.

Bestimmung Zielerreichung der hydrologischen Kenngrössen (= Zustandsklasse)
Die Zusammenfassung der gewässerspezifischen Ziele für Schwall-Sunk Massnahmen ergibt die Vorgaben zur Verbesserung der Abflussganglinie im Sinne eines hydrologischen Anforderungsprofils zur Beseitigung bzw. Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigung (vgl. Hilfstabelle Teil 3 Anhang D).

Die Festlegung von Zielwert und Quantil erlaubt es, die Zustandsklasse der hydrologischen Kenngrössen anhand der Wertefunktion (Abb. C3) sowohl für den IST-Zustand wie auch für den Zustand mit Massnahmen zu bestimmen.

Für den IST-Zustand wird das Defizit aufgezeigt. Für den Zustand mit Massnahmen wird ersichtlich, ob beispielsweise das Rückhaltevolumen und die vorgesehene Steuerung die turbinierten Wassermengen so weit zu dämpfen vermögen, dass die Zielwerte in der massgebenden Periode ausreichend oft eingehalten werden.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Wertefunktionen
Die Wertefunktionen für die Bewertung in Zustandsklassen sind in Abbildung C3 dargestellt. Die Beurteilung des Zustandes der jeweiligen hydrologischen Kenngrösse X basiert auf der Einhaltenswahrscheinlichkeit des Zielwertes p(X) im Vergleich zum geforderten Quantil (60 % oder 95 % für den Schwallabfluss und die Absolutwerte der Pegeländerungsraten, 40 % und 5 % für den Sunkabfluss), gemessen an der Anzahl Tage mit Einhaltung des Zielwerts, verglichen mit der Anzahl Tage der berücksichtigten Periode. Massgebend sind die jeweiligen höchsten Tageswerte (Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate) respektive kleinsten Tageswerte (Sunkabfluss, Pegelrückgangsrate).

Zielwerte anhand der Abflussganglinie
Abbildung C4 zeigt einen Ausschnitt der Abflussganglinie und Pegeländerungsraten im Gewässer ohne und mit schwalldämpfenden Massnahmen. Die hydrologischen Kenngrössen sind vergleichend zum Zielwert dargestellt. In diesem fiktiven Beispiel ist eine zu hohe Pegelrückgangsrate nur für Abflüsse kleiner 50 m^3/s problematisch (hellgrau in Abb. C4). Dementsprechend ist ein Zielwert nur für diesen Abflussbereich festgelegt.

Summenhäufigkeit: Darstellungs- und Lesebeispiel
Die Auswertung der Abflussganglinie (vgl. Anhang E), mit oder ohne Massnahmen, liefert die jeweiligen Tagesmaxima bzw. -minima der hydrologischen Kenngrössen Schwallabfluss, Sunkabfluss, Pegelrückgangsrate und Pegelanstiegsrate. Dargestellt für die massgebende Periode als Summenhäufigkeit, ergibt sich die Häufigkeit der Unterschreitung (Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate) bzw. Überschreitung (Sunkabfluss, Pegelrückgangsrate).

Abb. C3
Wertefunktionen. Legende zu den Abb. C5 bis C8.

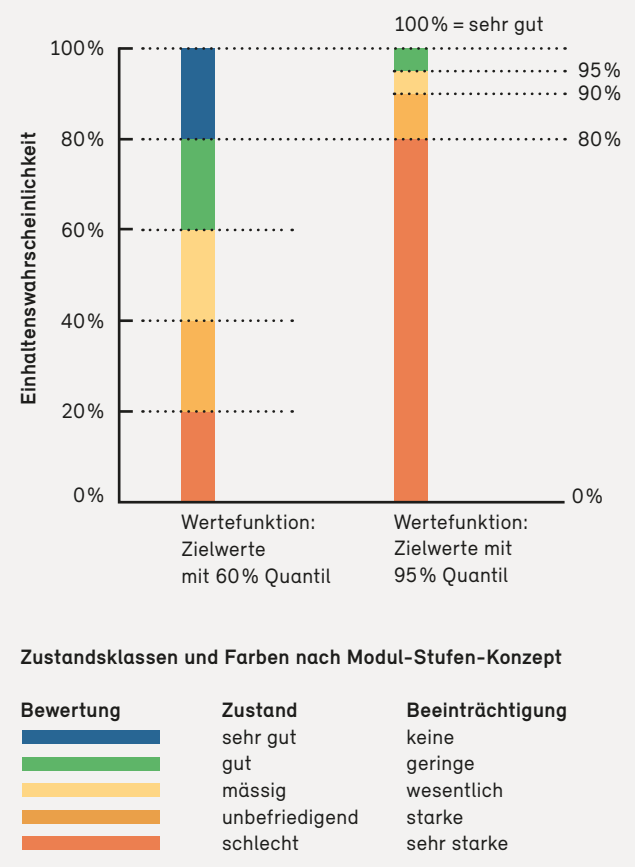


Abb. C4

Abflussganglinie mit und ohne Massnahme zur Schwalldämpfung (oben), Pegeländerungsraten mit Massnahme (unten).

Darstellung der Zielwerte.

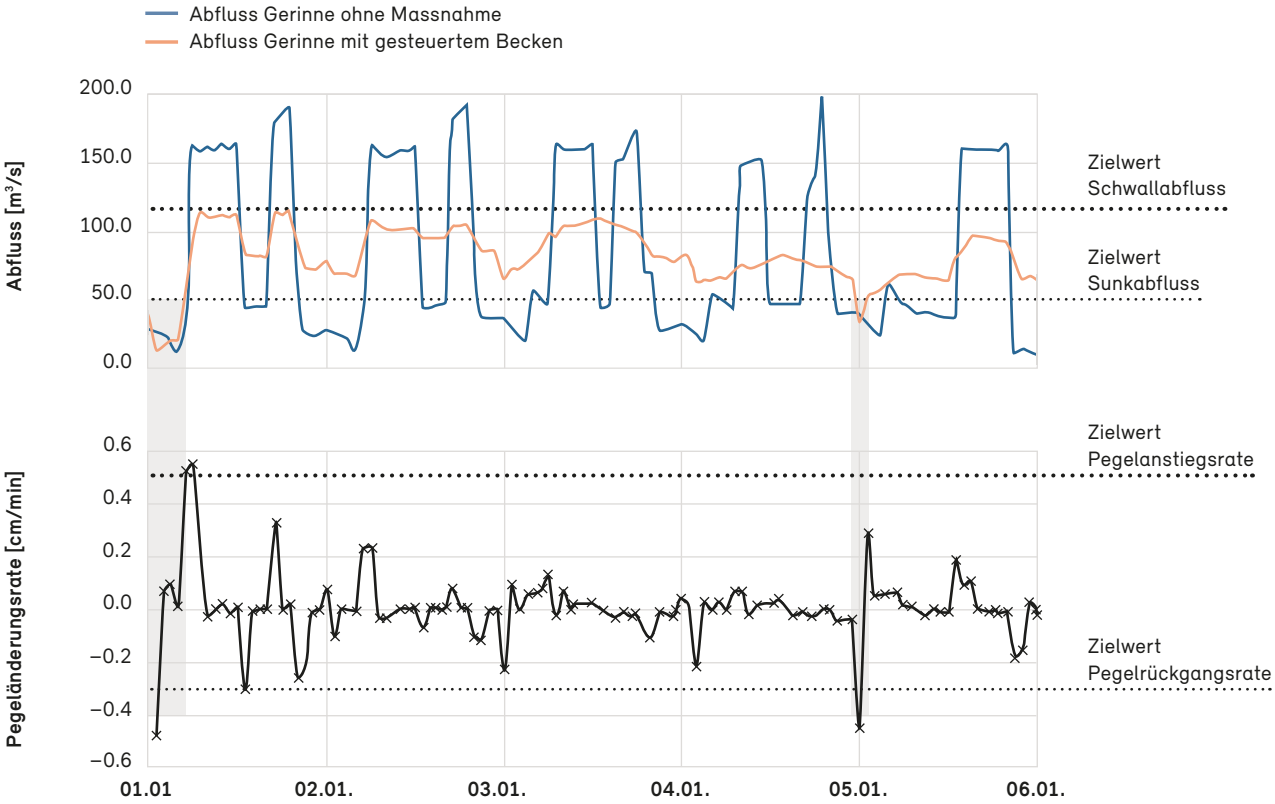


Abb. C5

Darstellungs- und Lesebeispiel der Zielwerterreichung anhand der Summenhäufigkeit des Schwallabflusses $p(Q_{max})$ für 3 Massnahmen, sowie für IST-Zustand und Referenzzustand.

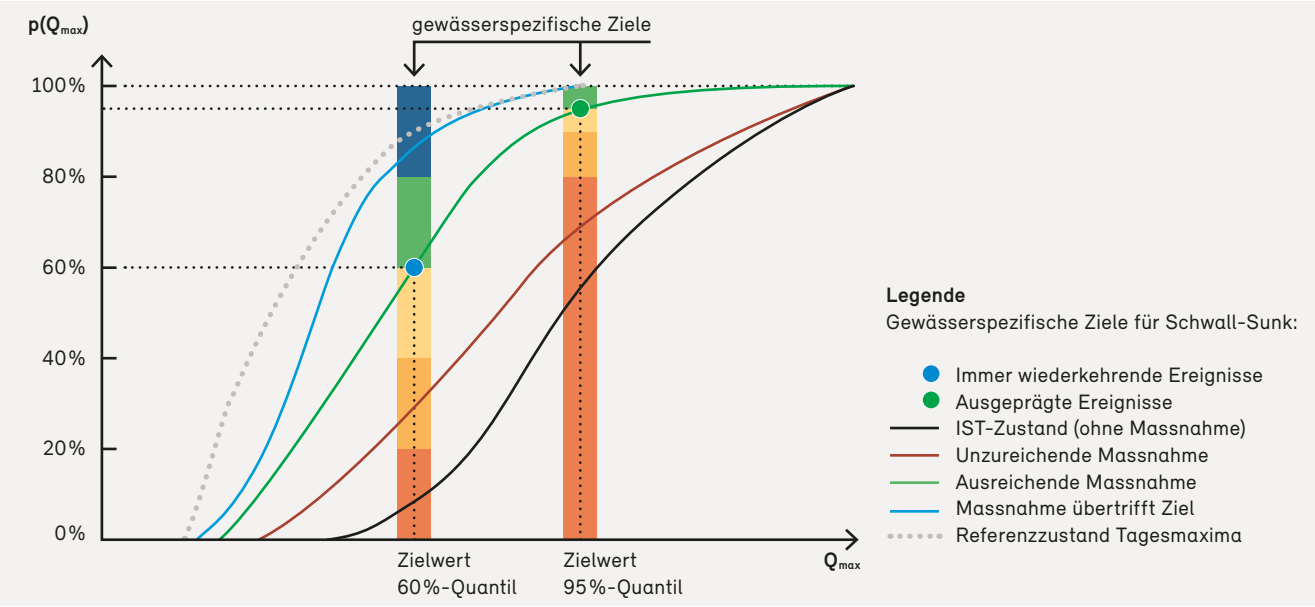


Abbildung C5 als Darstellungsbeispiel für den Schwallabfluss liest sich wie folgt: Die Summenhäufigkeit des Schwallabflusses [$p(Q_{max})$] für drei untersuchte Massnahmen zeigt, dass mit der «grünen» Massnahme der Schwallabfluss den Zielwert Q_{max} (60 %-Quantil) mit einer Häufigkeit von ca. 65 % einhält. Auch der Zielwert Q_{max} (95%-Quantil) kann mit 95%-iger Einhaltung erfüllt werden. Es resultiert zweimal die Zustandsklasse «gut». Die «rote» Massnahme ist unzureichend (Zustandsklasse «unbefriedigend» bzw. «schlecht»), aber besser als der IST-Zustand. Die «blaue» Massnahme übertrifft das Ziel bezüglich der hydrologischen Kenngrösse Schwallabfluss (Zustandsklasse «sehr gut») und nähert sich dem Referenzzustand (nat. Hydrologie) an. Die Abbildungen C6 – C8 lesen sich analog zu diesem Beispiel.

Zielwerte und Darstellung Schwallabfluss (Abfluss Tagesmaxima)

Die Darstellung für den Schwallabfluss kann Abbildung C5 entnommen werden. Ausgewertet wird der höchste Abflusstageswert. Als weitere gewässerspezifische Ansätze seien beispielsweise Aspekte der Geschiebemobilisierung und des Geschiebetransports erwähnt (Flussbau 2012).

Zielwerte und Darstellung Sunkabfluss (Abfluss Tagesminima)

Definitionsbedingt sind beim Sunkabfluss für die Summenhäufigkeit das 5 % und das 40 % Quantil massgebend. Dieser Unterschied zu den anderen hydrologischen Kenngrössen ändert nichts an der geforderten Einhaltung der Zielwerte an 95 % resp. 60 % der Tage der berücksichtigt Periode.

Tab. C1

Möglichkeiten zur Festlegung der Zielwerte Schwallabfluss.

Bei der Temperaturamplitude wird, methodisch bedingt, ein 90 % und nicht ein 95%-Quantil benutzt (vgl. Anhang C Indikator Q1).*

Schwallabfluss (= Abfluss Tagesmaxima) Ansatz zur Festlegung des Zielwerts Schwallabfluss	**Quantil**	**Massgebender Kernindikator**
Stabilität d_m Laichgruben bei Schwallabfluss	95 %	F3*
Beschränkung Wasserwechselzone durch Reduktion Schwall	60 %	F2*, B5, F6
Beschränkung Temperaturamplitude $TA_{Schwall\text{-}Sunk} < TA_{Ref}$	90 %	Q1*
Allgemeine Reduktion Drift (aus Driftversuchen)	60 %	D1/A2
Keine Katastrophendrift (aus Driftversuchen)	95 %	D1/A2
Ausreichende Habitateignung Fische bei Schwall (nach Entwicklungsstadien)	60 %	F6
... Gewässerspezifisch weitere Ansätze nach Fachexperten		

Tab. C2

Möglichkeiten zur Festlegung der Zielwerte Sunkabfluss.

Bei der Temperaturamplitude wird, methodisch bedingt, ein 10 % und nicht ein 5 %-Quantil benutzt (vgl. Anhang C Indikator Q1).*

Sunkabfluss (= Abfluss Tagesminima) Ansatz zur Festlegung des Zielwerts Sunkabfluss	**Quantil**	**Massgebender Kernindikator**
Verlaichung und Laichentwicklung (verhindern Trockenfallen)	5 %	F3*
Beschränkung Wasserwechselzone durch Erhöhung Sunk	40 %	F2*, B5, F6
Ausreichende Habitateignung Fische bei Sunk (nach Entwicklungsstadien)	40 %	F6
Ausreichende Habitateignung Makrozoobenthos bei Sunk	40 %	B5
Beschränkung Temperaturamplitude $TA_{Schwall\text{-}Sunk} < TA_{Ref}$	10 %	Q1*
... Gewässerspezifisch weitere Ansätze nach Fachexperten		

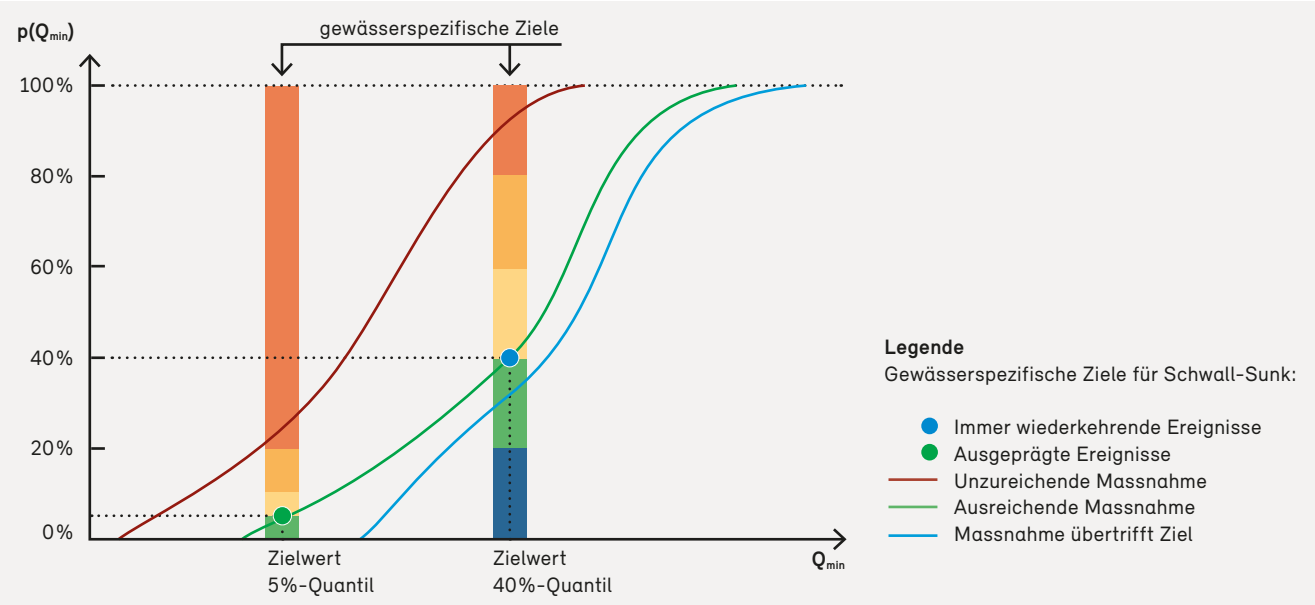
Zielwerte und Darstellung Pegelanstiegsrate bei Abflussanstieg

Die Festlegung der Zielwerte der Pegelanstiegsrate stützt sich im Wesentlichen auf Driftversuche. Driftversuche sind per Definition gewässerspezifisch und liefern entsprechende Zielwerte. Für die Stabilität des Sohlenmaterials bei Pegelanstieg können auch instationäre 1D oder 2D Modellierung einbezogen werden (Anhang F).

Abb. C6

Darstellung der Zielwerterreichung anhand der Summenhäufigkeit des Sunkabflusses $p(Q_{min})$ für 3 Massnahmen.

Ausgewertet wird der kleinste Abflusstageswert.



Tab. C3

Möglichkeiten zur Festlegung der Zielwerte Pegelanstiegsrate.

Bei der Temperaturänderungsrate wird, methodisch bedingt, ein 90 % und nicht ein 95%-Quantil benutzt (vgl. Anhang C Indikator Q1).*

Pegelanstiegsrate bzw. für Temperatur Abflussänderungsrate Ansatz zur Festlegung des Zielwerts Pegelanstiegsrate	**Quantil**	**Massgebender Kernindikator**
Stabilität d_m Laichgruben bei Pegelanstieg	95 %	F3*
Reduktion der Temperaturänderungsrate (Abflussanstieg)	90 %	Q1*
Allgemeine Reduktion Drift (aus Driftversuchen)	60 %	D1/A2
Keine Katastrophendrift (aus Driftversuchen)	95 %	D1/A2
... Gewässerspezifisch weitere Ansätze nach Fachexperten		

Allenfalls kann auch der Temperaturwechsel massgebend sein für die zulässige Geschwindigkeit beim Übergang von Sunk- zu Schwallabfluss. In diesem Fall erfolgt die Festlegung des Ziels anhand der zulässigen Abflussanstiegsrate dQ/dt^+ gemäss Indikator Q1*.

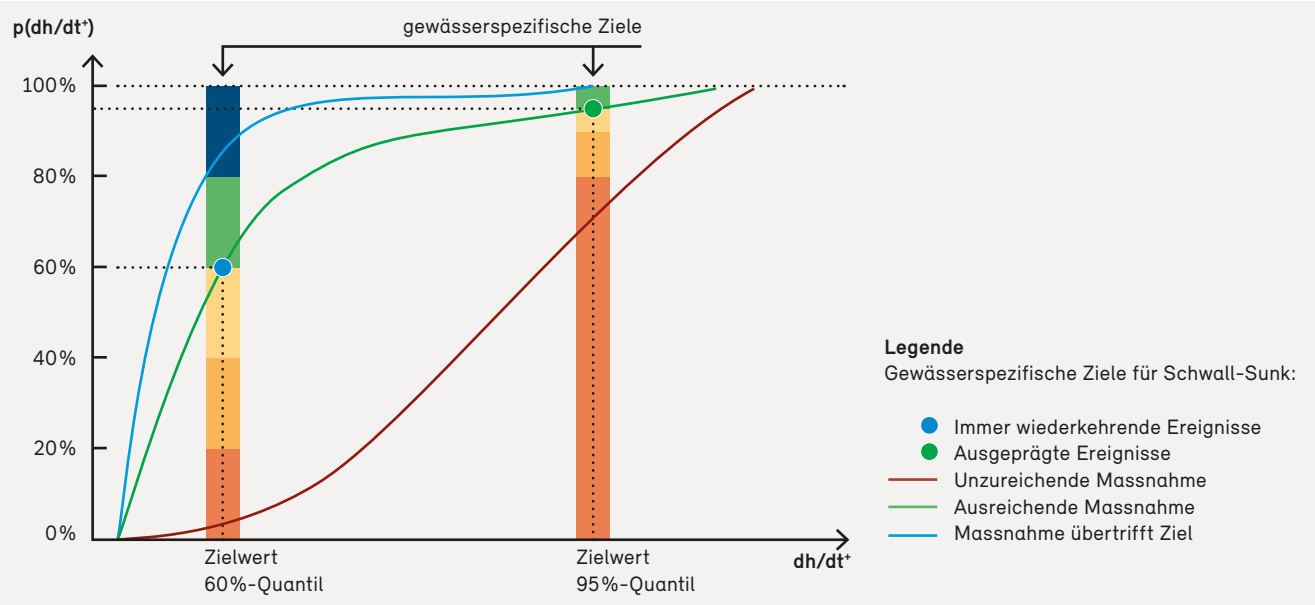
Zielwerte und Darstellung Pegelrückgangsrate bei Abflussrückgang

Die Festlegung der Zielwerte der Pegelrückgangsrate stützt sich im Wesentlichen auf den Ansatz zur Reduktion des Strandens gemäss Indikator F2* unter Berücksichtigung der Leitfischart(en) und der Entwicklungsstadien.

Abb. C7

Darstellung der Zielwerterreichung anhand der Summenhäufigkeit der Pegelanstiegsrate $p(dh/dt^+)$ für 3 Massnahmen.

dh/dt^+ sind positive Werte der Pegeländerung, ausgedrückt in (cm/min). Ausgewertet wird der höchste, positive Tageswert im kritischen Abflussbereich.



Tab. C4

Möglichkeiten zur Festlegung der Zielwerte Pegelrückgangsrate.

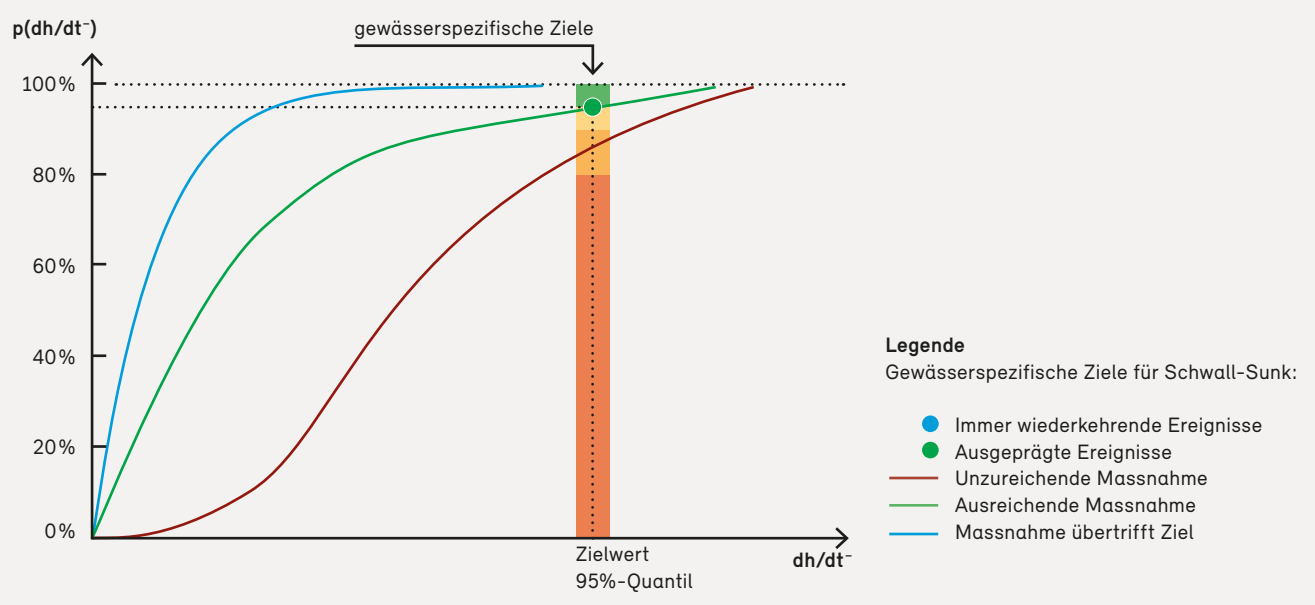
Bei der Temperaturänderungsrate wird, methodisch bedingt, ein 90 % und nicht ein 95%-Quantil benutzt (vgl. Anhang C Indikator Q1).*

Pegelrückgangsrate bzw für Temperatur Abflussänderungsrate Ansatz zur Festlegung des Zielwerts Pegelrückgangsrate	**Quantil**	**Massgebender Kernindikator**
Reduktion Stranden (nach Entwicklungsstadien), im kritischen Abflussbereich	95 %	F2*
Reduktion der Temperaturänderungsrate (Abflussrückgang)	90 %	Q1*
... Gewässerspezifisch weitere Ansätze nach Fachexperten		

Abb. C8

Darstellung der Zielwerterreichung anhand der Summenhäufigkeit der Pegelrückgangsrate p(dh/dt⁻) für 3 Massnahmen.

dh/dt⁻ sind negative Werte der Pegeländerung, ausgedrückt in (cm/min). Ausgewertet wird der Absolutwert des kleinsten, negativen Tageswertes im kritischen Abflussbereich.



Ist der Temperaturwechsel massgebend, erfolgt die Festlegung des Ziels anhand der zulässigen Abflussrückgangsrate dQ/dt⁻ gemäss Indikator Q1*.

Aggregation von Schwallabfluss, Sunkabfluss und Pegeländerungsraten zur Gesamtbewertung A2

Ein Variantenvergleich der Massnahmen kann bereits auf Stufe der einzelnen festgelegten hydrologischen Kenngrössen vor einer Aggregation erfolgen. Eine Aggregation der Zustandsklassen der einzelnen hydrologischen Kenngrössen erlaubt hingegen eine Gesamteinschätzung der Zielerreichung betreffend Indikator A2.

Die Aggregation erfolgt in drei Stufen. Die Art und Weise der Aggregation ist angelehnt an Pfaundler et al. (2011).

Stufe 1: Aggregation bezüglich einer hydrologischen Kenngrösse

Auf der ersten Stufe werden die Zustandsklassen bezüglich einer hydrologischen Kenngrösse aggregiert.

Wird für eine hydrologische Kenngrösse nur ein gewässerspezifisches Ziel definiert, erübrigt sich die Aggregation der Stufe 1 und die Zustandsklasse der Kenngrösse wird übernommen.

Ansonsten, d. h. bei mehreren definierten Zielen pro hydrologischer Kenngrösse wird die Zustandsklasse anhand des Mittelwerts aggregiert. Liegt der Mittelwert genau zwischen zwei Zustandsklassen, so wird die nächst schlechtere Zustandsklasse berücksichtigt. Von dieser Art der Aggregation kann begründet abgewichen werden. Zum Beispiel indem die Gesamtbeurteilung der hydrologischen Kenngösse auf den schlechteren Zustand ausgerichtet wird.

Die Aggregation ist für den Sunkabfluss beispielhaft in Tabelle C5 illustriert.

Tab. C5

Aggregation am Beispiel des Sunkabflusses.

Gewässerspezifisches Ziel	Massgebende Periode	Art des Ziels	Zustandsklasse
Kein Trockenfallen der verfügbaren Laichareale bei Sunk (F3*)	Okt. – März	95%-Quantil	3
Ausreichende Habitateignung Makrozoobenthos in Winter (B5)	Okt. – März	60%-Quantil	2
Gesamtbeurteilung Sunk			**2,5 – > 3**

Nach Aggregation der Zustandsklassen für die verschiedenen gewässerspezifischen Ziele resultiert genau eine Zustandsklasse von 1 bis 5 für jede hydrologische Kenngrösse.

Wird für eine hydrologische Kenngrösse kein gewässerspezifisches Ziel definiert, so heisst dies, dass für die festgestellten Defizite im Gewässer die Ursache nicht in dieser Kenngrösse liegt. In diesem Fall wird die Zustandsklasse 2 (grün) zugeordnet.

Stufe 2: Aggregation des Schwallabflusses, des Sunkabflusses und der Pegeländerungsraten

Die Aggregation erfolgt analog der Methode zur Aggregation gemäss Pfaundler et al. (2011), für die 4 Kenngrössen Schwallabfluss, Sunkabfluss, Pegelanstiegsrate und Pegelrückgangsrate.

Die Aggregation der Einzelbewertungen wird durch Aufsummieren der folgenden Punktzahlen in Abhängigkeit der Zustandsklasse der Einzelbewertungen gebildet:

- Klasse 1 «blau»: 1 Punkt.
- Klasse 2 « grün»: 2 Punkte.
- Klasse 3 «gelb»: 3 Punkte.
- Klasse 4 «orange»: 4 Punkte.
- Klasse 5 «rot»: 5 Punkte.

Anschliessend wird die zutreffende Zustandsklasse der Gesamtbewertung gemäss der Klassierungsregel in Tabelle C6 bestimmt. Diese ist so konzipiert, dass die Worst-Case-Zustandsklasse resultiert, wenn diese bei den Einzelbewertungen zweimal oder mehr vorkommt. Weiter ist eine Verbesserung der Gesamtbewertung gegenüber dem Worst-Case-Wert um maximal zwei Zustandsklassen möglich, wenn ausser dem Bewertungsindikator mit der Worst-Case-Zustandsklasse die drei anderen Indikatoren Klasse 1 aufweisen.

Lesebeispiel

Im ersten Schritt wird die Worst-Case-Einzelbewertung durchgeführt. Die Pegelrückgangsrate entspricht der Zustandsklasse 4 (4 Punkte), d. h. der Summenwert der Einzelbewertung wird anhand der Spalte Klasse 4 vorgenommen. Für die Einzelbewertung des Sunkabflusses und des Schwallabflusses werden die Zustandsklassen 1 (je 1 Punkt) und für die Pegelanstiegsrate die Zustandsklasse 2 (2 Punkte) erreicht. Der Summenwert beträgt 4+1+1+2 = 8, d. h. < 10 in der Spalte Klasse 4. Es resultiert die Gesamtbewertung Klasse 3.

Tab. C6

Aggregationsregel zur Ermittlung der Gesamtbewertung des Indikators A2 mit Berücksichtigung der Worst-Case-Zustandsklasse Summenwert.

Summenwert Einzelbewertung	**«Worst-Case» Einzelbewertung:** Schwallabfluss, Sunkabfluss, Pegeländerungsraten					Gesamtbewertung
	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	
	= 4	< 6	< 7			Klasse 1
		≥ 6	< 8	< 8		Klasse 2
			≥ 8	< 10	< 9	Klasse 3
				≥ 10	< 12	Klasse 4
					≥ 12	Klasse 5

4 Prognose

Die Prognose erfolgt, indem die Abflussganglinien mit Massnahmen in den betroffenen Gewässerabschnitten ermittelt und daraus die hydrologischen Kenngrössen (Summenhäufigkeit gemäss vorhergehendem Kapitel) mit Massnahmen bestimmt werden. Bei Neubauprojekten erfolgt die Prognose analog, indem der Zustand des Indikators A2 mit Massnahmen in den Gewässerabschnitten prognostiziert wird. Bei Neubauprojekten wird empfohlen, als Vergleich auch die Variante «Neubauprojekt ohne Massnahmen» zu prognostizieren, um die positive Wirkung der Massnahmen auszuweisen.

5 Literatur

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.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk, Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf: 92 S.

Bruder A., Schweizer S., Vollenweider S., Tonolla D., Meile T. 2012. Schwall und Sunk: Auswirkungen auf die Gewässerökologie und mögliche Sanierungsmassnahmen. Wasser Energie Luft 104: 257 – 264.

Flussbau 2012. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1: Anforderungsprofile und Kolmation. IRKA : 61 S.

Pfaundler M., Dübendorfer C, Zysset A., 2011: Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1107: 113 S.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K., 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105: 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105 : 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M. und Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105: 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105: 277 – 287.

F2* Stranden von Fischen

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- Gestützt auf aktuelle Strandungsversuche in Versuchsrinnen werden neue Wertefunktionen für die Pegelrückgangsraten für Bachforellen und Äschen der ersten Lebensstadien definiert.
- Beobachtungen von gestrandeten Fischen im Feld werden erhoben, aber nicht mehr mit einer Wertefunktion beurteilt. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für allfällige spätere Wirkungskontrollen.
- Die Gesamtbewertung des Indikators F2* erfolgt neu gestützt auf zwei Kriterien.

1 Grundlagen

Neue Erkenntnisse zu Stranden und Verdriftung von Fischen

Primäres Ziel der neue experimentelle Versuche war es, die Verdriftung und Strandung von junge Bachforellen und Äschen (Larven und Jungfische [0+]) infolge Schwalls zu quantifizieren, bzw. herauszufinden, welche Faktoren das Stranden beeinflussen (Auer et al. 2014). Strandungsversuche, Strukturversuche, Tag-Nacht- Versuche aber auch Mehrfachschwallversuche haben die im Rahmen vorangegangener Studien gewonnenen Erkenntnisse vertieft.

Die Versuchstiere wiesen die folgenden Längen auf: Äschenlarven 13 – 20 mm, Äschen juvenil 50 – 76 mm, Bachforellenlarven 24 – 30 mm, Bachforellen juvenil 67 – 69 mm.

Die wichtigsten Resultate der Versuche können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Strandungsbeobachtungsversuche mit Bachforellenlarven und Äschenlarven auf der homogenen Kiesbank.** Es wurde ermittelt, dass die Strandungsrate direkt mit der vertikalen Abstiegsgeschwindigkeit des Schwalls zusammenhängt, und bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,1 cm/min keine Strandung von Bachforellenlarven nachgewiesen werden konnte. Im Vergleich dazu zeigten Strandungsversuche mit Äschenlarven, dass bei 0,2 cm/min keine Strandung nachgewiesen werden konnte. Vergleichend gering waren die Strandungsraten der Äschenlarven bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,3 cm/min. Bei höheren Abstiegsgeschwindigkeiten wurden wiederum ähnliche Strandungsraten wie bei vorangegangenen Studien (Schmutz et al. 2013) belegt.
- **Altersstadium.** Juvenile Äschen weisen ein weit geringeres Risiko auf, bei Schwall abzudriften oder zu stranden, als Äschenlarven. Die geringeren Driftraten der juvenilen Äschen während Schwallabfluss dürften auf eine gesteigerte Schwimmleistung der Fische zurückzuführen sein. Die geringeren Strandungsraten der juvenilen Äschen sind auf eine geänderte Habitatwahl in diesem Lebensstadium zurückzuführen. Das gilt allerdings nur am Tag. In der Nacht bevorzugen auch juvenile Äschen noch seichte, langsam fliessende Habitate, womit ihr Strandungsrisiko in der Nacht höher ist als am Tag.
- **Buchtstrukturen.** Es konnte gezeigt werden, dass sowohl Drift- als auch Strandungsraten durch das Vorhandensein von Buchtstrukturen eklatant verringert waren. An dieser Stelle sei noch angemerkt, dass die getesteten Buchtstrukturen hinsichtlich Fliessgeschwindigkeit und Substratbeschaffenheit kein geeignetes Habitat auf Dauer für Larven- und Juvenilstadien von Bachforelle und Äsche darstellen, sondern im Falle eines Schwallereignisses durch ihre hydromorphologischen Aspekte lediglich als Refugialhabitat dienen.
- **Tag-Nacht.** Die durchgeführten Tag-/Nachtversuche mit juvenilen Äschen und Äschenlarven zeigten, dass es tageszeitliche Unterschiede bezüglich Habitatwahl, longitudinalem Wanderverhalten und Strandungsrisiko gibt. In der Nacht verschieben sich präferierte Standorte in seichtere und langsamer fliessende Bereiche näher der Wasseranschlagslinie. Die Versuchsergebnisse während der Nacht zeigten ein deutlich höheres Strandungsrisiko.
- **Mehrfachschwallversuche.** Mehrere hintereinander auftretende Schwallereignisse haben zur Folge, dass die Raten der Drift während Schwall nach dem ersten

Schwallereignis zurückgehen. Bei den Strandungsraten zeigt sich in erster Linie ein tageszeitlicher Effekt. In speziellen Versuchsanordnungen sollte herausgefunden werden, worauf die geringer werdenden Driftraten zurückzuführen sind. Eine mögliche Erklärung ist, dass diejenen Individuen aus der Rinne driften, die eine Veranlagung haben, bei ungünstigen Bedingungen zu wandern. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die Fische lernen, mit Schwallbedingungen umzugehen und daher bei weiteren Schwallereignissen weniger Individuen abdriften. Es konnte jedoch keinen längerfristigen (> 24 h) Lerneffekt nachgewiesen werden.

- **Asymmetrischer Schwall.** Wenn es zuerst zu einer Abflusserhöhung kommt und danach auf eine Sunkdotation unter die Ausgangsdotation reduziert wird, sind die Bachforellenlarven gezwungen, ihren Standort zu wechseln, um nicht zu stranden. Bei diesem Szenario sind die Driftraten in der Nacht etwa doppelt so hoch wie am Tag und auch das Strandungsrisiko bei Dunkelheit ist höher. Insgesamt stellte sich jedoch heraus, dass der asymmetrische Schwall im Vergleich zu den Versuchsanordnungen mit symmetrischen Schwällen keine Veränderung der Strandungszahlen bewirkt. Die Bachforellenlarven sind also nicht durch eine vormalige Änderung der Dotation gewarnt. Es wird vermutet, dass ein asymmetrischer Schwall eine Erhöhung der Driftraten in der Nacht bewirkt.
- **Bachforelle vs. Äsche.** Bei Strandungsversuchen auf einer homogenen Kiesbank mit Bachforellenlarven wurden bei allen Abstiegsgeschwindigkeiten höhere Strandungsraten beobachtet als bei vergleichbaren Versuchen mit Äschenlarven. Dabei wurde für die Bachforellenlarven festgestellt, dass ein Strandungsrisiko ab einer vertikalen Abstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min auftritt, bei den Äschenlarven erst ab 0,3 cm/min, wobei die Strandungsraten bei dieser Abstiegsgeschwindigkeit noch relativ (Median < 5 %) gering waren. Dieser Sachverhalt ändert sich aber, wenn sich auf der Kiesbank zusätzlich Muldenstrukturen befinden. Bei Bachforellenlarven nehmen die Strandungsraten ab, wobei diese Abnahme an die Abstiegsgeschwindigkeit gekoppelt ist. Bei den Äschenlarven wurde das Gegenteil beobachtet: Muldenstrukturen wirken sich negativ in Form eines Falleneffekts und führen zu einem signifikanten Anstieg der Strandungsraten. Auch bei einer Abstiegsgeschwindigkeit von 0,2 cm/min wurde Strandung beobachtet (Median = 20 %). Dies wird auf die unterschiedlichen Lebensweisen der Fischlarven zurückgeführt.

2 Erhebung und Prognose

Hydraulische Berechnungen zum Anteil der trockenfallenden Flächen

Die hydraulischen Berechnungen zur Ausdehnung der Wasserwechselzonen sowie die Auswertung und Darstellung der Resultate erfolgen wie im Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012). Zusätzlich wird empfohlen, die Ausdehnung der Wasserwechselzone im Feld, z. B. anhand von Schwall-Sunk Versuchen zu überprüfen und dadurch die hydraulische Modelle zu validieren. Zu Modellierungen siehe auch Anhang F.

Feldbeobachtungen zum Strandung von Fischen

Ob und wie viele gestrandete Fische beobachtet werden können, ist oft abhängig von der Beschaffenheit und Neigung der Uferlinie (z. B. Blockwurf oder Sand), der Anzahl und Art vorhandener (Jung-)Fische im Gewässer, dem Zeitpunkt des Schwallrückganges (Tag oder Nacht) sowie der Anwesenheit von Fressfeinden und Unterstände/Verstecke für die Fische. Aus solchen Gründen sind Beobachtungen zu gestrandeten Fische als eher schwierig zu betrachten und werden, in Abweichung zum Modul «Strategische Planung», nicht weiter durch eine Wertefunktion beurteilt.

Als eine ergänzende Grundlageinformation, die auch für spätere Wirkungskontrollen verwendet werden kann, wird trotzdem empfohlen eine Erhebung allfälliger gestrandeter Fische im Feld durchzuführen.

Schwellenwerte Pegelrückgangsraten

Um aus den Ergebnissen und Ableitungen bisher erfolgter Versuchsdurchführungen das Strandungsrisiko von Fischlarven und Jungfischen unter Berücksichtigung der vertikalen Schwallabstiegsgeschwindigkeit abzuschätzen, müssen vorweg folgende, grundlegende Aspekte beachtet werden (Auer et al. 2014):

- Die Grenzwerte basieren auf Versuchen mit Zucht-Fischlarven , die im Zuge der Versuche mit einem Ein-

zelschwall konfrontiert wurden. Es ist u. a. unklar, ob und in welchem Umfang Larven dazu fähig sind, aus bereits «überstandenen» Schwallereignissen ihr Verhalten anzupassen. Dies ist vor allem wichtig bei Überlegungen bezüglich der möglichen Kategorisierungsklassen, da eine Reduzierung der Larvenpopulation um 25 % pro Einzelschwallereignis als nicht ökologisch vertretbar angesehen werden muss.

- Nach heutigem Wissensstand ist es noch teilweise unklar, wie sich weitere abiotische Faktoren wie z. B. die Kiesbankneigung, die Korngrössenzusammensetzung, die Wassertemperatur, die horizontale Wasserwechselzone, die Tageszeit und die Schwalldauer auf das Strandungsrisiko auswirken. Bisherige Versuche mit Jungfischen haben gezeigt, dass vor allem Tageszeit und Morphologie (Struktur, Querneigung) einen grossen Einfluss haben können, jedoch wurden viele Parameter und deren Auswirkung bei Veränderung derselben noch nicht getestet.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Anteil trocken fallender Fläche

Der Anteil der bei Sunk trockenfallenden Flächen wird (analog zum Modul «Strategische Planung») an der gesamten, bei Schwall benetzten Sohlenfläche gemessen (Tab. C7).

Tab. C7

Wertefunktion für trockenfallende Flächen.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Anteil trocken fallender Fläche an gesamter benetzter Fläche
	sehr gut	< 10 %
	gut	≥ 10 < 30 %
	mässig	≥ 30 < 40 %
	unbefriedigend	≥ 40 < 50 %
	mässig-schlecht	≥ 50 %

Zu beachten: Die Berechnung der trockenfallenden Flächen macht nur auf denjenigen Gewässerabschnitten Sinn, wo einerseits Larven und juvenile Fische potentiell vorkommen können; andererseits auch nur dort, wo eine Strandung überhaupt anzunehmen ist (vgl. Kriterium empfindlichste Morphologie gemäss Baumann et al. 2012).

Schwellenwerte Pegelrückgangsraten

Die in der Arbeit von Auer et al. 2014 dreistufige Wertefunktion wird nachstehend auf fünf Bewertungsstufen ausgedehnt, getrennt für unterschiedliche Altersgruppen (Entwicklungsstadien) bzw. Fischarten (Tab. C8 – C10).

Tab. C8

Wertefunktionen der Pegelrückgangsraten für larvale Äschen und Bachforellen bei Tageslicht.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Pegelrückgangsrate (cm/min)
	sehr gut	< 0,2
	gut	≥ 0,2 < 0,3
	mässig	≥ 0,3 < 0,4
	unbefriedigend	≥ 0,4 < 0,5
	schlecht	≥ 0,5

Tab. C9

Wertefunktionen der Pegelrückgangsraten für juvenile Äschen bei Tageslicht.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Pegelrückgangsrate (cm/min)
	sehr gut	< 1
	gut	1 < 1,2
	mässig	≥ 1,2 < 2
	unbefriedigend	≥ 2 < 3
	schlecht	≥ 3

Tab. C10

Wertefunktionen der Pegelrückgangsraten für juvenile Bachforellen bei Tageslicht.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Pegelrückgangsrate (cm/min)
	sehr gut	< 1,5
	gut	≥ 1,5 < 3
	mässig	≥ 3 < 4,5
	unbefriedigend	≥ 4,5 < 6
	schlecht	≥ 6

Zu beachten: Bei larvalen und juvenilen Bachforellen sowie auch bei Äschen gibt es nachts ein deutlich höheres Strandungsrisiko als bei Tageslicht, dies aufgrund der tageszeitlich veränderten Aufenthaltstorte und dem

longitudinalem Wanderverhalten. Bei der Bewertung von nächtlichen Schwall-Sunk Ereignissen ist demnach sinnvoll die Pegelrückgangsraten gemäss Tabelle C8–C10 für Bachforellen sowie Äschen entsprechend anzupassen (z. B. zu halbieren).

Zusammenfassende Beurteilung des Indikators
Für die Gesamtbewertung dieses Indikators in fünf Zustandsklassen sind die Wertefunktionen der trockenfallenden Flächen und diejenigen der Pegelrückgangsraten (je nach Jahreszeit bzw. Entwicklungsstadium und unter Anpassung der Wertefunktion im Falle von nächtlichen Schwall-Sunk Ereignissen) zu verwenden und gemäss Tabelle C11 zu aggregieren.

In einigen Fällen kann sich erweisen, dass die Betrachtung der trocken gefallener Flächen und der Pegelrückgangsrate alleine nicht genügt um die Strandungsproblematik zu lösen. In solchen Fällen ist meistens die Lage von Strukturen im Gewässer in Verbindung mit deren Morphologie entscheidend und bei der Interpretation der Resultate entsprechend zu berücksichtigen. (vgl. Anhang E Teil «Mögliche Massnahmen»).

4 Literatur

Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. 2014. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. BOKU, Wien: 109 S.

Baumann P., Kirchhofer A., Schächli U. 2012. Sanierung Schwall-Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.

Schmutz S., Fohler N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fließgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten. BMFLUW, Wien: 183 S.

Tab. C11

Aggregation der Kriterien «trocken fallender Fläche» und «Pegelrückgangsrate» zur Ermittlung der Gesamtbewertung des Indikators F2*.

		Kriterium: Anteil trocken fallender Fläche an gesamter benetzter Fläche				
		sehr gut	gut	mässig	unbefriedigend	schlecht
Kriterium: Pegelrückgangsrate	schlecht	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	schlecht	schlecht
	unbefriedigend	gut	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend	schlecht
	mässig	gut	mässig	unbefriedigend	unbefriedigend	unbefriedigend
	gut	gut	gut	gut	gut	mässig
	sehr gut	sehr gut	gut	gut	gut	gut

Lesebeispiel
Wenn der Anteil trocken gefallener Flächen an der gesamten benetzten Fläche 20 % beträgt, wird dieses Kriterium als gut bewertet (Zustandsklasse grün, Tab. C7). Wenn die Pegelrückgangsrate 0,45 cm/min beträgt wird dieses Kriterium für larvale Bachforellen als unbefriedigend (Zustandsklasse orange, Tab. C8) und für juvenile Bachforellen als sehr gut (Zustandsklasse blau, Tab. C10) bewertet. Nach Aggregation der Zustandsklassen für die zwei Kriterien resultiert die Zustandsklasse unbefriedigend (orange) für den Indikator F2* «Stranden larvaler Bachforellen» und die Zustandsklasse gut (grün) für F2* «Stranden juveniler Bachforellen».

F3* Laichareale der Fische

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- Im Falle eines Kraftwerkneubaus ist bei einem unbeeinflussten natürlichen Gewässerabschnitt das aktuelle Angebot an Laicharealen (in m^2) die Grundlage zur Bewertung, im Falle eines bestehenden Kraftwerkes das berechnete Angebot bei einem modellierten natürlichen Abfluss zur Laichzeit.
- Neue Wertefunktion zum Flächenverlust von potentiellen Laicharealen.
- Vorschläge zu ergänzenden Feldversuchen (Test-Kits).

1 Grundlagen

Wie im Modul «Strategische Planung» (Baumann et al 2012). Es werden nur die Laichareale von Forellen (Bachforellen und Seeforellen) und falls notwendig bzw. möglich diejenigen weiterer Leitfischarten (Äsche, Barbe) betrachtet.

2 Erhebung und Prognose

Planung
Die potentiell geeigneten Laichareale und deren Ausdehnung können bei klaren Abflüssen jederzeit im Feld bestimmt werden. Sind zusätzliche Felduntersuchungen (siehe nächste Seite) nötig oder absehbar, sind diese frühzeitig mit der kantonalen Fischereiaufsicht abzusprechen.

Vorgehen
Mit Habitatmodellierungen wird überprüft, ob für die kartierten oder potenziellen Laicharealen die erforderlichen Fliessgeschwindigkeiten und Wassertiefen während der Fortpflanzungszeit sowie während der Dauer der Eientwicklung erreicht bzw. beibehalten werden können (konkret heisst das z. B.: Stabilität der Laichgrube bei Schwall und bei Sunk bis zur Emergenz). Als Grundlage zur Beurteilung, ob ein Areal als Laichareal in Frage kommt, dienen gewässer- und artspezifische Präferenzkurven der vorkommenden Leitfischarten (vgl. Indikator F6). Allenfalls sind zur Verifizierung ergänzende zusätzliche Felduntersuchungen in diesen Untersuchungsstrecken zu planen.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Das Angebot an Laicharealen kann nach dem folgenden Beispiel-Diagramm dargestellt werden (Abb. C9). Auf diesem Beispiel sind zusätzlich auch die Jungfischhabitate für Bachforellen eingezeichnet.

Der Referenzzustand wird gebildet durch das Angebot (in m^2) an Laicharealen zur Laichzeit und bei natürlichem Abfluss. In einem Gewässer mit unbeeinflusstem Abfluss (z. B. vor dem Bau eines Kraftwerks) kann dies im Feld konkret beobachtet und kartiert werden. In einem Gewässer mit Schwallbetrieb kann der Referenzzustand modelliert werden, indem mit dem natürlichen Abfluss zur Laichzeit aus einer bekannten oder rekonstruierten natürlichen Abflussganglinie die nutzbare Fläche berechnet wird.

Die Abweichung der Fläche des berechneten Angebotes an Laicharealen von der Fläche unter natürlichen Abflussverhältnissen wird gemäss der folgenden Wertefunktion für jede betrachtete Leitfischart bewertet (Tab. C12).

Tab. C12

Wertefunktion für den Flächenverlust an geeigneten Laichareale der Fische gegenüber dem Referenzzustand.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Flächenverlust (%)
	sehr gut	< 10
	gut	10 < 30
	mässig	30 < 50
	unbefriedigend	50 < 70
	schlecht	≥ 70

4 Zusätzliche Felduntersuchungen mittels Test-Kits

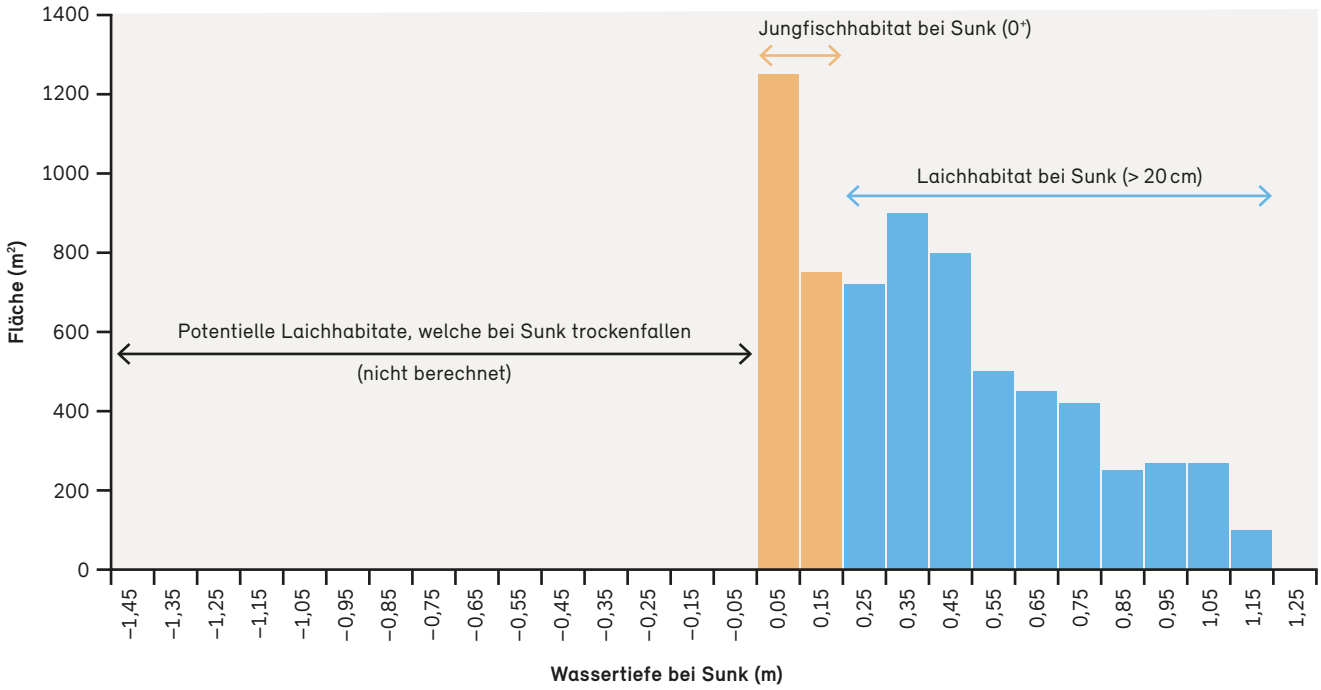
Kartierung von Laichgruben

Kartierung der Laichgruben von Bach- und Seeforelle (evtl. auch der Äsche) bei Sunk, wenn Restwasserbedingungen mit üblicherweise oft klarem Abfluss vorhanden sind. Die Laichgruben können mit zwei Fixpunkten am Ufer durch Messbänder (oder auch durch Differential-GPS-Markierung) exakt lokalisiert werden. Die Entwicklung der Eier kann durch Ausgraben von Eiern im Augenpunktstadium

Abb. C9

Trockenfallende Fläche in Funktion der Wassertiefe bei Sunk.

Bsp. an der Saane (unveröffentlicht).



(Bachforellen nach ca. 220 Tagesgraden, Äschen nach 110 Tagesgraden) überprüft werden. Ob aus den geäugten Eiern dann letztlich auch Jungfische schlüpfen, wird mit entsprechender Befischung überprüft (vgl. Indikator F4*).

Unter Umständen sind auf dem betrachteten Gewässerabschnitt keine genutzten oder potentiellen Laichareale vorhanden. Grund dafür kann eine ungeeignete Gewässermorphologie, aufgrund von z. B. einer Kanalisierung, sein. Nicht zu vergessen ist die Möglichkeit, dass die Korngrössen auf Laicharealen durch Geschiebeerosion und -transport bei Schwall sowie Geschiebedeposition bei Sunk verändert werden können, u. U. kann das ganze Laichareal erodiert werden. In einerseits solchen Fällen sowie andererseits zur Überprüfung der Modellierungen können die folgenden zusätzlichen Felduntersuchungen aufschlussreich sein.

Einbringung von Brutboxen
Einbringen von «Brutboxen» mit Fischlaich (Forellen und Äschen) bei Sunk und spätere Kontrolle, ob die chemisch-physikalische Wasserqualität, insbesondere Temperatur und Schwebstoffgehalt, zur Eientwicklung ausreichend sind. Die Eier in den Laichboxen stammen aus Laichfischfängen, im besten Falle aus dem betreffenden Gewässer selbst oder sonst aus benachbarten Gewässern. Die Befruchtung erfolgt in Fischzuchtanstalten, sie ist meist gegen 100 %. Die in den Fischzuchten erbrüteten Eier dienen als Referenz.

Auch andere Methoden können für die Beurteilung der Eientwicklung geeignet sein, siehe z. B. Dumas & Marti (2006).

Einbringung von gefärbten Kiesschichten
Auf Kiesbänken und/oder auf Laicharealen werden ca. 5 cm dicke Lagen von verschieden gefärbtem Kies, abwechselnd mit ungefärbten Steinen, vergraben. Bis in welche Tiefen solche künstlichen Horizonte eigebracht werden, hängt von den Tiefen der Laichgruben der vorkommenden Interstitiallaicher (Salmoniden) ab. Laichen Seeforellen im fraglichen Areal, sind Farbhorizonte bis in ca. 50 cm Tiefe einzubringen, laichen Bachforellen, interessieren Tiefen bis maximal 20 cm. Die Stellen werden registriert. Nach einer gewissen Zeit, z. B. 6 Monate oder nach einem Hochwasser, wird die Grube ausgegraben und das Vorhandensein der farbigen Kiesschichten überprüft. Dies dient zur Überprüfung der Sohlenstabilität während der Laichentwicklung.

Im Rahmen eine Schweizerischen Nationalfonds-Projektes («Nachhaltige Wassernutzung», NFP 61; Badoux et al. 2014) wurde ein Analysetool zur Einschätzung der klimatischen Veränderungen bezüglich Reproduktion und Mesohabitat der Bachforelle erarbeitet. Mit Modellierungen an der Kleinen Emme und am Brenno gelang es, die Zukunftsperspektive für die Reproduktion der Bachforelle aufzuzeigen. Die künftigen Bedingungen während der Inkubation der Eier und Dottersackbrütlinge werden weniger günstig sein und die zunehmenden Hochwasser im Winter werden sich auf die natürliche Reproduktion nachteilig auswirken. Die Modelle zeigen, dass sich die morphologische Qualität des Gewässers verbessert, wenn eine ausreichende Breite zur Verfügung steht. In diesem Kontext gewinnen Flussaufweitungen und Revitalisierungen vermehrt an Bedeutung.

Interpretation der zusätzlichen Felduntersuchungen
In Verbindung mit dem Fischindikator F1* (MSK-Modul Fische) lassen sich folgende Aussagen machen:

- Entspricht die Anzahl der Laichgruben den Erwartungen (Erwartungen berechnet aus Anzahl vorhandener Elterntiere) aus den Ergebnissen des Indikators F1* plus Berücksichtigung des Angebots an Laicharealen?
- Durch das Ausgraben von Laichgruben kann, parallel zur Kontrolle der Laichboxen, die Entwicklung der Naturbrut und auch die Befruchtungsrate überprüft werden.
- Falls die Laichgruben ausgespült (erodiert) wurden, geben die Schichten mit farbigem Kies Auskunft über die Tiefe der Umlagerung. Die Laichgruben sollen durch den Schwall nicht erodiert werden. Auch können eingegrabene farbige Kiesfraktionen die Modellrechnungen zum Geschiebetransport belegen.

5 Literatur

Badoux A., Peter A., Rickenmann D., Junker J., Heimann F., Zappa M., Turowski J.M. 2014. Geschiebetransport und Forellenhabitate in Gebirgsflüssen der Schweiz: mögliche Auswirkungen der Klimaänderung. Wasser Energie Luft 106: 200 – 209.

Baumann P., Kirchhofer A., Schächli U. 2012. Sanierung Schwall-Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1203: 126 S.

Dumas J., Marty S. 2006. A new method to evaluate egg-to-fry survival in salmonids, trials with Atlantic salmon. Journal of Fish Biology 68: 284 – 304.

F6 Habitateignung Fische

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Neuer Indikator zur Modellierung der Habitateignung für Leitfischarten bei verschiedenen Schwall- und Sunkabflüssen.

1 Grundlagen

Die Lebensraumansprüche vieler einheimischer Fischarten sind mittlerweile gut bekannt. Zu beachten ist, dass die Fische in unterschiedlichen Lebensabschnitten und Jahreszeiten unterschiedliche Umweltbedingungen bevorzugen. Die jeweiligen Präferenzen lassen sich grundsätzlich durch die für Fische relevanten Parameter Wassertiefe, Fliessgeschwindigkeit und (dominierende) Korngrösse beschreiben. Die «kleinen» Gewässerstrukturen (Mikrohabitate) und Unterstände, an welchen z. B. die Bachforelle sehr stark gebunden ist, können durch diese Parameter nicht abgebildet werden und fliessen demnach auch nicht in Habitatmodellierungen ein. Es ist zum Vorherein klar, dass das jetzige und das künftige Angebot an solchen Strukturen nur mit Hilfe von Expertenwissen von Fall zu Fall beurteilt werden kann. Bei der Grundlagenerhebungen wird die Aufnahme von funktionellen Unterständen und Strukturen empfohlen (siehe Anhang B).

2 Erhebung und Prognose

Während mit dem Indikator F3* gezielt das Laicharealangebot modelliert werden kann, besteht bei diesem Indikator das Ziel darin, eine Prognose zur allgemeinen Habitateigung für die im betrachteten Gewässerabschnitt vorkommenden Leitfischarten zu machen. Für Leitfischarten werden die Ansprüche an den Lebensraum für das Jungfischstadium (0+) und den (geschlechtsreifen) Adultfisch definiert, also pro Fischart zwei Altersstadien herangezogen. Diese Ansprüche sollen im Idealfall sowohl bei einem typischen Sunk als auch bei einem typischen Schwall (vgl. Anhang E Teil «Bestimmung von repräsentativen Abflussganglinien») erfüllt werden können.

Beurteilung mit Präferenzkurven
Die Ansprüche werden mittels Präferenzkurven dargestellt (siehe dazu z. B. Person 2013), welche, wenn immer möglich, mit Felduntersuchungen im Schwallgewässer zu überprüfen und, falls notwendig, anzupassen sind. In Fliessgewässern der oberen und unteren Forellenregion dienen die Lebensraumansprüche der Bachforelle als Grundlage. In Gewässern der Äschenregion werden die Ansprüche der Äsche und in der Barbenregion diejenigen der Barbe berücksichtigt.

Planung
Die Erhebung der topographischen, morphologischen, hydraulischen und hydrologischen Grundlagendaten erfolgt gemäss Anhang B und Anhang F, die Festlegung der zu modellierenden Gewässerabschnitte ist mit den Untersuchungsstellen des Indikators F1* «MSK-Modul Fische» abzustimmen. Die Planung der Habitatmodellierung, die Modellwahl und die dazu nötigen Parameter sind im Anhang F beschrieben. Die Modellierungen und Erhebungen können gemeinsam mit dem Indikator B5 erfolgen. Eine frühzeitige und sorgfältige Koordination unter den jeweils zuständigen Fachspezialisten ist wichtig.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Als Beurteilungsgrundlage bezüglich Schwall-Sunk dient der Referenzzustand bezüglich Schwall-Sunk, d. h. das betrachtete Gewässer mit den heutigen unterschiedlichen Morphologien, bei einem natürlichen Q_{182} der Dauerkurve. Im Falle einer bestehenden Schwall-Sunk Strecke sind charakteristische Abflussganglinien u. U. aus der Zeit vor der Inbetriebnahme des Schwall-Sunk Betriebes bekannt, ansonsten können sie näherungsweise rekonstruiert werden.

Ermittelt wird das Flächenangebot, das im Referenzzustand den Lebensraumansprüchen der betrachteten Fischart (in Form von Wassertiefe, Fliessgeschwindigkeit und dominierender Korngrösse, bei einem Habitateignungsindex SI > 0,5 [vgl. z. B. Hauer et al. 2014]), in den zwei unterschiedlichen Altersstadien entspricht. Dieses Flächenangebot ist jeweils 100 %.

Mit Hilfe der Modellierung lässt sich für jedes Altersstadium und jede Leitfischart berechnen, um einen wie grossen Anteil bzw. Prozentsatz dieses Flächenangebot sich im Schwall- und im Sunkzustand verändert hat bzw. sich verändern wird.

Jede berechnete Flächenveränderung (d. h. die Differenz zum Flächenangebot an Fischhabitaten unter Berücksichtigung des natürlichen Q_{182} der Dauerkurve) wird gemäss der Wertefunktion in Tabelle C13 bewertet. Dabei ergeben sich getrennte Bewertungen geeigneter Flächen für die Verhältnisse unter einem mittleren Sunk und einem mittleren Schwall, die im Gegensatz zum MZB im Gewässerbett örtlich an verschiedenen Sektoren liegen können (vergl. dazu Abb. C10).

Tab. C13
Wertefunktion für die Flächenveränderung an geeignetem Habitat gegenüber dem Referenzzustand Q_{182} der Dauerkurve.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Flächenverlust (%)
	sehr gut	< 10 oder Flächengewinn
	gut	10 < 20
	mässig	20 < 30
	unbefriedigend	30 < 50
	schlecht	≥ 50

Zusammenfassende Bewertung
Für jede Leitfischart stehen sich zwei Bewertungen gegenüber, die eine für die Verhältnisse unter mittlerem Sunk und eine unter mittlerem Schwall.

Die Habitateignung bei Sunk ist generell besser für Jungfische, jene bei Schwall entspricht eher noch (wenn überhaupt) den Ansprüchen der meist schwimmfähigeren Adultfische. Der Bewertungszustand gibt Hinweise darauf, welche hydrologische Kenngrösse der Abflussganglinie (Schwall- oder Sunkabfluss) in erster Linie verbessert werden muss.

Auch unter natürlichen Verhältnissen (sowohl bezüglich der Gewässermorphologie als auch der Abflussverhältnisse) sind verschiedene Abschnitte eines Gewässers eher für Jungfische, andere eher für Adultfische geeignet. Eine zusammenfassende Bewertung, d. h. eine Aggregation, kann deshalb nicht rein rechnerisch mit Hilfe einer Tabelle gemacht werden, sondern muss – für jedes einzelne Fliessgewässer neu – letztlich durch eine umfassende und nachvollziehbare Beschreibung durch Expertenwissen abgeklärt werden. Anzustreben ist eine Aussage dazu in welcher der fünf Zustandsklassen die Gesamtbewertung liegt.

Gemäss obiger Methodik für F6 können sowohl der Ist-Zustand, wie auch der Zustand nach Massnahmen beurteilt werden. Das Vorgehen zur Beurteilung der zwei Zustände kann in Anlehnung an Abb. C10 erfolgen.

4 Literatur

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. Earth Surface Processes and Landforms 39: 1622 – 1641.

Person E. 2013. Impact of hydropeaking on fish and their habitat. Dissertation. EPFL, Lausanne: 151 S.

B5 Habitateignung Makrozoobenthos

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Neuer Indikator zur Modellierung der Habitateignung für Leitarten des Makrozoobenthos (MZB) bei verschiedenen Schwall- und Sunkabflüssen.

1 Grundlagen

Die Ansprüche des MZB sind i. d. R. geringer als bei Fischen bzw. aufgrund der enormen Vielfalt und spezialisierter Habitatnutzung weniger bekannt. In den letzten Jahren ist es diversen Forschergruppen gelungen hydraulische Modelle zu entwickeln, mit denen auf der Basis von Präferenzkurven die Habitateignung prognostiziert werden kann (Dolédec et al. 2007, Sagnes et al. 2008, Mérigoux et al. 2009, Schneider & Noack 2009, Lamouroux et al. 2010 & 2013, Tanno 2012, Tanno et al. 2013).

Limitierende Faktoren
Für die Verteilung der benthischen Organismen in Schwallstrecken sind die Zeit der Wasserbedeckung in der Wasserwechselzone (WWZ) und der maximale hydraulische Stress als limtierende Faktoren anzusehen. Während des Sunks werden nur Flächen typspezifisch kolonisiert, welche durch den bei Schwallabgabe verursachten hydrologischen Stress nicht über ein tolerierbares Maximum beeinträchtigt werden und wo sich die hydraulischen Verhältnisse nach Schwallabgabe nicht massiv ändern (Schmutz et al. 2013). In grossen Talflüssen der Alpen mit einer signifikanten Vergletscherung können auch die hohen Schwebstoffkonzentrationen einen limitierenden Faktor darstellen, welcher für die Beurteilung des Indikator B5 zu berücksichtigen ist.

2 Erhebung und Prognose

Mit Hilfe von Modellen sind die Veränderungen der verfügbaren Lebensräume für verschiedene Abflussbedingungen wie beim Indikator F6 zu simulieren. Synergien bei den Erhebungen und den hydraulischen Modellierungen sind zu nutzen.

Planung
Die Erhebung der topographischen, morphologischen, hydraulischen und hydrologischen Grundlagendaten erfolgt gemäss Anhang B und Anhang F und ist mit den Untersuchungsstellen des Indikators B2* «MSK-Makrozoobenthos» und F6 «Habitateignung Fische» abzustimmen. Eine frühzeitige und sorgfältige Koordination unter den jeweils zuständigen Fachspezialisten ist wichtig.

Auf Basis der Artenlisten, welche für den Indikator B3 «Längenzonation Makrozoobenthos» für die Schwall-Sunk Untersuchungsstrecke und Referenzstrecken zu erstellen sind, werden die Taxa für die Prognosen bestimmt (funktionelle Gruppen, Gattungen, Arten). Um den Aufwand zu begrenzen, ist eine restriktive und repräsentative Auswahl durch den Experten zu treffen. Die natürliche Abflussvariabilität dient zur Festlegung der Betrachtungszeitfenster.

Vorgehen
Das Vorgehen zur Beurteilung des Indikators B5 ist in Abbildung C10 dargestellt.

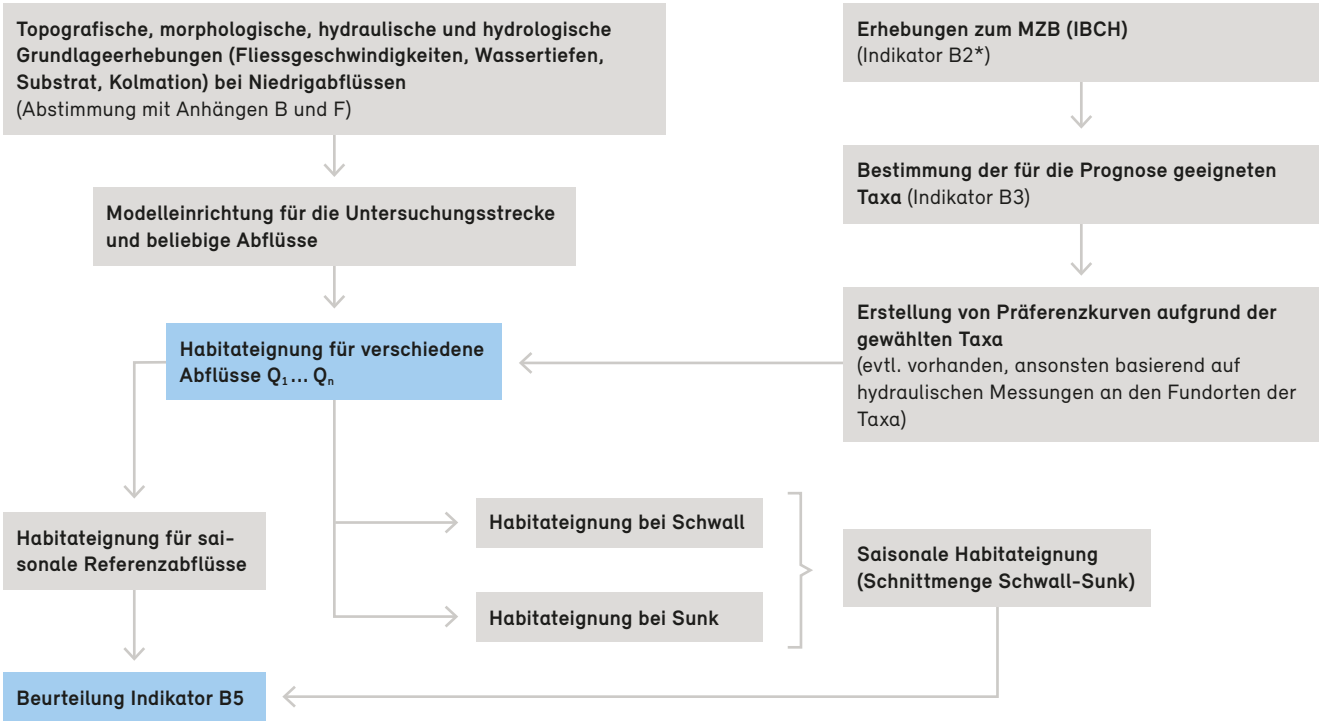
Typische Abflüsse für die Modellierung des MZB
Die modellierten Abflüsse umfassen die Bandbreite des Abflussregimes des Gewässers. Im Gegensatz zu F6 erfolgt die Berechnung des Referenzzustandes nicht auf Basis des Q_{182} der Dauerkurve, sondern mit den jeweiligen saisonalen, natürlichen Referenzabflüssen. Detailliert zu betrachten sind i. d. R. Perioden mit Niederwasserabflüssen sowie erhöhten Abflüssen bei Schnee und Gletscherschmelze.

Prognostizierbare Taxa
Die Auswahl der Taxa mit den geeigneten Präferenzkurven ist nachvollziehbar zu begründen. Die gewählten Taxa sollten für den rekonstruierten Referenzzustand (typische Art für das Untersuchungsgebiet) und für hydraulische Extrema (stagnophil bzw. rheophil), sowie die Substratzusammensetzung repräsentativ sein (ezb et al. 2012a, Tanno 2012, Tanno et al. 2013).

Beurteilung mit Präferenzkurven
Mit der Jahreszeit ändern sich die biologischen (z. B. Körpergrösse, Artenverteilung, reife Insektenlarven verlassen das Gewässer) als auch die physikalischen Kenngrössen (z. B. Wassertemperatur, Trübung, Basisabfluss). Daher sind saisonale gewässerspezifische Präferenzkurven zu verwenden. Die Erhebungen erfolgen teilweise gleichzeitig mit dem Indikator F6.

Um den Aufwand der durchzuführenden Analysen in Grenzen zu halten, und um die Ergebnisse bzw. Unterschiede bei der Verwendung von versch. Präferenzkurven zu relativieren sind für die Habitatmodellierungen nur Habitate mit einem Eignungsindex SI > 0,5 zu beurteilen (vgl. z. B. Hauer et al. 2014). Da in der Umgebung von Schwallstrecken geeignete unbeeinflusste Referenzstrecken häufig fehlen, sind erhobene Präferenzkurven aus einer morphologisch naturnahen Schwallstrecke selbst oder aus einer Restwasserstrecke entsprechend zu interpretieren.

Abb. C10
Vorgehen zur Beurteilung des Indikators B5.



Berechnung der geeigneten Habitatflächen
Die biotischen Grundlagen und die Methodik zur Habitatmodellierung sind bei ezb et al. (2012a & 2012b) beschrieben. Die berechneten geeigneten Habitatflächen liefern Ergebnisse (i) zum IST-Zustand, (ii) zum Referenzzustand sowie (iii) zur Eignungswerte für verschiedenen modellierten Abflüssen. Die Berechnungen sind gegebenenfalls für unterschiedliche Morphologien (Gewässerabschnitte) durchzuführen.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Berechnung und Bewertung Flächenverlust
In Abweichung zum Indikator F6, erfolgt die Berechnung des Flächenverlusts pro Taxon saisonal. Dies gilt für die Wahl des natürlichen Referenzabflusses und des typischen Schwall-Sunk Abflusses desselben Betrachtungszeitraums.

In einem ersten Berechnungsschritt sind die geeigneten Habitatflächen (SI > 0,5) für den jeweiligen saisonalen Referenzablfuss zu bestimmen (= Fläche 1, entspricht 100 %).

Im zweiten Berechnungsschritt werden die Habitate bestimmt, welche für denselben Betrachtungszeitraum sowohl bei Sunk als auch bei Schwall einen Habitateignungsindex SI > 0,5 aufweisen (siehe Schnittmenge Abb. C10), da sich aufgrund der geringen Mobilität nur diese Flächen als MZB-Lebensraum eignen (= Fläche 2).

Der saisonale prozentuale Flächenverlust gemäss Tab. C14 berechnet sich aus: 1 – (Fläche 2/Fläche 1) [%]. Die Bewertung des Flächenverlusts pro untersuchtem Taxon erfolgt mit der Wertefunktion der Tabelle C14 gegenüber dem Referenzzustand.

Tab. C14
Flächenverlust an geeignetem Habitat gegenüber dem Referenzzustand.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Flächenverlust von gut bis sehr gut geeignetem Habitat (Habitateignungsindex SI > 0,5 nach Überschneidung der Habitateignung bei Schwall und bei Sunk) gegenüber dem natürlichen Referenzzustand
	sehr gut	< 20 % oder Flächengewinn
	gut	20 < 40 %
	mässig	40 < 60 %
	unbefriedigend	60 – 80 %
	schlecht	> 80 %

Beispiel Gesamtbeurteilung verschiedener Taxa und Abflüsse
Nachfolgend ist ein Beispiel für die Beurteilung des Indikators B5 in Rahmen der Defizitanalyse oder Prognose aufgeführt. Die Habitateignung wird, wie beim Indikator F6, für jedes Taxon anhand des Flächenverlustes mit verschiedenen Abflussszenarien beurteilt. Auf Basis der einzelnen Bewertungen gemäss Tab. C14 macht der Fachexperte eine Gesamtbeurteilung gemäss Tab. C15. Auf eine Aggregation der rechnerisch ermittelten Habitateignungswerte wird verzichtet.

Die Beurteilung mehrerer Referenzzustände kann aufzeigen, ob saisonale Unterschiede hinsichtlich der Auswirkungen durch Schwall-Sunk auf das Makrozoobenthos vorhanden sind. Die Gesamtbeurteilung ist durch den Fachexperten nachvollziehbar zu begründen. Insbesondere sind Habitatprognosen, basierend auf höheren taxonomischen Niveau (Gattung, Familie) kritisch zu interpretieren.

Tab. C15

Beispiel einer Gesamtbeurteilung für saisonale Abflüsse und Taxa.

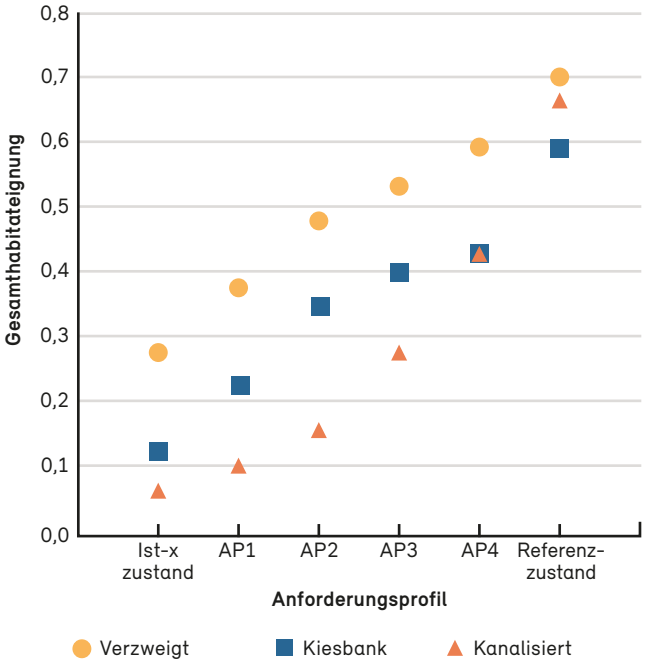
Winterabfluss: Defizitanalyse (Ist-Zustand) bzw. Prognose (Massnahme)	Taxa 1	Taxa 2	Taxa n	Gesamt-beurteilung (Taxa 1 bis n)
Kriterium: Flächenverlust				

Sommerabfluss: Defizit-analyse (Ist-Zustand) bzw. Prognose (Massnahme)	Taxa 1	Taxa 2	Taxa n	Gesamt-beurteilung (Taxa 1 bis n)
Kriterium: Flächenverlust				

Die untersuchten Schwall-Sunk Abflüsse oder Kombinationen davon für unterschiedliche Morphologien können im Vergleich mit dem Ist- und Referenzzustand als Gesamthabitateignung (Abb. C11) oder auch als %-Satz gut besiedelbarer Flächen dargestellt werden (weitere Möglichkeiten vgl. ezb et al. 2012c).

Abb. C11

Darstellungsmöglichkeit für die Gesamthabitateignung gestützt auf verschiedene Anforderungsproile (AP, aus ezb et al. 2012c).



Die Gesamthabitateignung berechnet sich durch Multiplikation der prognostizierten abiotischen Umweltparameter (Wassertiefe, mittlere Fliessgeschwindigkeit und dominierendes Substrat) mit Umrechnung zum normierten Habitateignungsindex zwischen 0 (keine Eignung) und 1 (max. Eignung). Eine Darstellung des Eignungsindex für die Trichopterenart Allogamus auricollis findet sich in Schmutz et al. (2013).

4 Literatur

Dolédec S., Lamouroux N., Fuchs U., Mérigoux S. 2007. Modelling the hydraulic preferences of benthic macroinvertebrates in small European streams. Freshwater Biology 52: 145 – 164.

ezb, limnex, sje. 2012a. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile Arbeitspaket 5: Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Grösse des Schwalleinflusses am Alpenrhein. IRKA: 185 S.

ezb, sje, limnex 2012b. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Habitatmodellierung, Biotische Grundlagen. IRKA: 54 S.

ezb, limnex, sje. 2012c. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 2: Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für die Habitatmodellierung. IRKA : 123 S.

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. Earth Surface Processes and Landforms 39: 1622 – 1641.

Lamouroux N., Souchon Y., Herouin E. 1995. Predicting velocity frequency distributions in stream reaches. Water Resources Research 31: 2367 – 2375.

Lamouroux N. 1998. Depth Probability Distributions in Stream Reaches. Journal of Hydraulic Engineering: 224 – 226.

Lamouroux N. Mérigoux S. Capra H. Dolédec S. Jowett I.G., Statzner B. 2010. The generality of abundance-environment relationships in microhabitats: A comment on Lancaster and Downes (2009). River Research and Applications 26: 915 – 920.

Lamouroux N. Mérigoux S. Dolédec S., Snelder H. 2013. Transferability of hydraulic preference models for aquatic macroinvertebrates. River Research and Applications 29: 933 – 937.

Mérigoux S. Lamouroux N. Olivier J.M., Dolédec S. 2009. Invertebrate hydraulic preferences and predicted impacts of changes in discharge in a large river. Freshwater Biology 54: 1343 – 1356.

Sagnes P. Mérigoux S., Péru N. 2008. Hydraulic habitat use with respect to body size of aquatic insect larvae: Case of six species from a French Mediterranean type stream. Limnologica 38: 23 – 33.

Schmutz S., Fohler N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel F., Höller N., Jungwirth M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fliessgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, BMFLUW, Wien: 175 S.

Schneider M., Noack M. 2009. Untersuchung der Gefährdung von Jungfischen durch Sunkereignisse mit Hilfe eines Habitatsimulationsmodells. Wasser Energie Luft 101: 115 – 120.

Tanno D. 2012. Physical habitat modeling for the assessment of macroinvertebrate response to hydropeaking. Master Thesis, University of Zurich and Eawag: 66 S.

Tanno D., Schweizer S., Robinson C.T. 2013. Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebraten anhand von physikalischen Habitatmodellen. Wasser Energie Luft 105: 288 – 295.

Q1* Wassertemperatur

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- Prognose: Temperaturänderungsraten und Tagesamplituden werden über Mischverhältnisse bestimmt.
- Hinweise zur Festlegung von Messstandorten und die Excel-Vorlage für die Bewertungsansätze im MSK-Modul.
- Gegebenenfalls Berücksichtigung eines Jahreszyklus anstelle von fünf.

1 Grundlagen

Indikator Wassertemperatur nach Modul «Strategische Planung»

Die Wassertemperatur in der Schwall-Sunk Strecke wird vor allem durch die Wassertemperatur und -menge des turbinierten Wassers bestimmt. Die Temperaturänderungsrate $TR_{Schwall\text{-}Sunk}$ (90%-Quantil) ist die ausschlaggebende Grösse. Die Temperatur-Tagesamplitude $TA_{Schwall\text{-}Sunk}$ (90%-Quantil) hat einen untergeordneten Effekt, wird aber unter Einbezug der gewässertypspezifischen Tagesamplituden nach biozönotischen Regionen in Form eines Korrekturfaktors mitberücksichtigt. Dasselbe gilt für die Anzahl Temperaturpeaks $PM_{Schwall\text{-}Sunk}$ (Mittelwert) und $P95_{Schwall\text{-}Sunk}$ (95%-Quantil). Im vorliegenden Modul werden geringfügige Präzisierungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) vorgeschlagen.

Veränderung der Wassertemperatur in unzulässiger Weise

Durch Wasserentnahmen, Wassereinleitungen und bauliche Eingriffe dürfen die Hydrodynamik, die Morphologie und die Temperaturverhältnisse des Gewässers nicht derart verändert werden, dass dessen Selbstreinigungsvermögen vermindert wird oder die Wasserqualität für das Gedeihen der für das Gewässer typischen Lebensgemeinschaften nicht mehr genügt (Anhang 2 Ziff. 12 Abs. 3 GSchV). Dies gilt insbesondere für den Wärmeeintrag oder -entzug nach weitgehender Durchmischung (Anhang 2 Ziff. 12 Abs. 4 GSchV).

Auswirkungen für aquatische Organismen

Die Auswirkungen auf das Makrozoobenthos sind in mehreren Arbeiten beschrieben (z. B. Zolezzi et al. 2011, Carolli et al. 2012, Bruno et al. 2013). Zuerst kommt die Hydropeaking-Welle, welche z. B. Katastrophendrift auslösen kann. Zeitverzögert trifft die «Thermopeaking-Welle» ein welche Verhaltensdrift verursachen kann (Siviglia & Toro 2009, Toffolon et al. 2010). Das Strandungsrisiko von Fischen wird zudem von der Temperatur mitbestimmt. Dadurch ist das Risiko des Strandens im Winter aufgrund der tiefen Wassertemperaturen am Grössten (Saltveit et al. 2001, Halleraker et al. 2003).

2 Erhebung

Planung

Für die Bewertung dieses Indikators sind genaue Kenntnisse der Temperaturen des Schwallwassers sowie des Gewässers oberhalb und unterhalb der Einleitung erforderlich.

Für die Defizitanalyse und die Wirkungskontrolle genügt eine Erhebung im Gewässerabschnitt unterhalb der Einleitung. Für die Prognose sind Abflussganglinien oder zumindest der Sunkabfluss mit entsprechenden Temperaturen im Gewässer oberhalb der Einleitung und des Schwallwassers notwendig. Im Zweifelsfall und in Anbetracht der geringen Kosten der Temperaturlogger wird auch für Defizitanalyse und Wirkungskontrolle empfohlen, die Erhebung unterhalb und oberhalb der Einleitung des Schwallwassers durchzuführen.

Da die Schwall-Sunk bedingten Temperaturwechsel im Jahresverlauf stark variieren, ist für die Erhebung mindesten ein Jahreszyklus, im Idealfall eine 5-jährige Temperaturmessreihe, zu berücksichtigen. Die zeitliche Auflösung der Messdaten soll im Idealfall 10 – 15 min (maximal 30 min) und die Messgenauigkeit 0,1 °C betragen.

Vorgehen

Die Datenerhebung erfolgt mit Temperatursonden gemäss Angaben des Moduls « Strategische Planung».

Bei der Installation von Sonden ist darauf zu achten, dass diese stets die Wassertemperatur messen, d. h. auch bei Niederwasser benetzt bleiben und wenn möglich an einer Stelle mit Beschattung liegen.

Für die Messung im Gewässer oberhalb der Kraftwerkseinleitung soll die Sonde ausserhalb des Einflussbereichs der Staukurve der Kraftwerkseinleitung liegen. So kann für die Interpretation der Resultate eine Durchmischung des Wassers aus dem Oberlauf mit dem Schwallwasser ausgeschlossen werden.

Die Messung der Temperatur und der Abflussmenge des Schwallwassers kann, wenn nicht schon heute erfasst und bekannt, in der Kraftwerkszentrale erfolgen.

Durchmischung Schwallwasser mit Basisabfluss
Für die Messung im Gewässer unterhalb der Kraftwerkseinleitung ist die vollständige Durchmischung von Wasser aus dem Oberlauf mit dem Schwallwasser an der Messstelle erforderlich. Ansonsten kann es sein, dass kleinräumige, Schwall-Sunk bedingte Temperaturschwankungen erhoben werden, welche für das Gewässer unterhalb des Kraftwerks nicht repräsentativ sind.

Die Fliessdistanz X bis zur vollständigen Durchmischung hängt ab von der Gewässerbreite W, der Fliesstiefe h, der Fliessgeschwindigkeit V und der Schubspannungsgeschwindigkeit u^*. X kann in erster Näherung bestimmt werden als: $X \approx 0{,}4VW^2/\varepsilon_t$ mit $\varepsilon_t = 0{,}6hu^*$. Massgebend ist die hydraulische Situation im Gewässer bei Schwall. Es wird empfohlen, die Sonde in einer Distanz von mindestens $2 \times X$ zu installieren.

Alternativ zur Berechnung der Fliessdistanz bis zur vollständigen Durchmischung können auch Temperaturdaten während 1 bis 2 Tagen an beiden Ufern des Gewässers in einer Distanz von mindestens 10 mal die Gewässerbreite erhoben und verglichen werden. Bei Übereinstimmung ist die Durchmischung vollständig, ansonsten muss die Messstelle flussabwärts verschoben werden. Als weitere Alternativen kommen die künstliche Einfärbung oder die gegebene Trübung des Schwallwassers zur Bestimmung der minimalen Durchmischungsdistanz in Frage.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Die Aufbereitung, Bewertung und Interpretation der Daten erfolgt gemäss Modul «Strategische Planung» unter Einbezug der Excel-Vorlagen für die Bewertungsansätze im MSK-Modul-Temperatur **(www.modul-stufenkonzept.ch/fg/module/temp/index).** An die Darstellung der Resultate werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Die Wertefunktionen vom Modul «Strategische Planung» werden übernommen (Tab. C16).

Die weiteren Parameter, d. h. die Tagesamplitude $TA_{Schwall\text{-}Sunk}$ (90%-Quantil) und die Anzahl Temperaturpeaks $PM_{Schwall\text{-}Sunk}$ (Mittelwert) und $P95_{Schwall\text{-}Sunk}$ (95%-Quantil) werden gutachterlich abgeschätzt.

Tab. C16
Wertefunktion für die Wassertemperatur.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Temperaturänderungsrate $TR_{Schwall\text{-}Sunk}$ (°C/h)
	sehr gut	< 1,25
	gut	1,25 < 2,5
	mässig	2,5 < 3,75
	unbefriedigend	3,75 ≤ 5
	schlecht	> 5

Korrekturfaktoren
Verschlechterung um 1 Klasse: $TA_{Schwall\text{-}Sunk} > TA_{Ref}$ und PM = 3 – 5 sowie P95 = 6 – 9 oder $TA_{Schwall\text{-}Sunk} > 1{,}5 \times TA_{Ref}$ oder PM > 5 sowie P95 > 9
Verschlechterung um 2 Klassen: $TA_{Schwall\text{-}Sunk} > 1{,}5 \times TA_{Ref}$ und PM > 5 sowie P95 > 9

4 Prognose

Die Prognose des Indikators erfolgt gemäss dem Ansatz von Schweizer et al. (2009) pragmatisch über Mischungsverhältnisse auf Basis der Abflüsse und Temperaturen im Gewässer oberhalb *(Zufluss)* und der Abflüsse und Temperaturen des Schwallwassers ab Zentrale *(KW)* bzw. des gedämpften Abflusses nach Massnahme (z. B. Rückhaltebecken).

Mittels Zeitreihen von Abflüssen und Temperaturen
Bei Vorhandensein von Zeitreihen mit Abflüssen $Q(t)$ und Wassertemperaturen $T(t)$ errechnet sich die prognosti-

zierte Temperatur unterhalb der Einleitung des Schwallwassers wie folgt:

$$T(t)_{gesamt} \cong \left(T(t)_{Zufluss} \times Q(t)_{Zufluss} + T(t)_{KW} \times Q(t)_{KW}\right) / \left(Q(t)_{Zufluss} + Q(t)_{KW}\right)$$

Die Daten des Zuflusses *(Zufluss)* sind typische Temperaturen und Ablüsse im Jahresverlauf, die z. B. in der Defizitanalyse oder vorbereitend auf die Erarbeitung der Schwall-Sunk Massnahme erhoben wurden. Die Daten des Kraftwerks *(KW)* entsprechen den prognostizierten Turbinierzyklen.

Ist dem Schwallwasser ab Zentrale vor Einleitung ins Gewässer eine Massnahme (z. B. Rückhaltebecken) zwischengeschaltet, ist $Q(t)_{KW}$ durch den gedämpften Abfluss $Q(t)_{Becken}$ zu ersetzen. Eine allfällige, geringfügige Temperaturänderung im Rückhaltebecken wird vernachlässigt und die Wassertemperatur im Becken wird $T(t)_{KW}$ gleichgesetzt. Die so prognostizierte Zeitreihe der Temperatur $T(t)_{gesamt}$ wird analog dem Modul «Strategische Planung» ausgewertet.

Mittels Näherung von Abflüssen und Temperaturen
Stehen keine Zeitreihen zur Verfügung, kann zumindest die Temperaturänderungsrate $TR_{Schwall\text{-}Sunk}$ in (°C/h) als ausschlaggebendes Kriterium bestimmt werden. Die Berechnung erfolgt für typische Abfluss- und Temperaturdaten der Jahreszeiten und stützt sich auf den Sunkabfluss Q_{Sunk} mit T_{Sunk} und die Ausbauwassermenge ΔQ_{KW} mit T_{KW} gemäss:

$$TR_{Schwall\text{-}Sunk} \cong \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{(T_{Sunk} \times Q_{Sunk} + T_{KW} \times \Delta Q_{KW})/(Q_{Sunk} + \Delta Q_{KW}) - T_{Sunk}}{\Delta t}$$

Für den Zeitschritt Δt wird im Sinne der Vergleichbarkeit mit dem Ansatz mittels Zeitreihen der Wert von 15 min vorgeschlagen.

Ist eine Massnahme (z. B. Rückhaltebecken) zwischengeschaltet, ist ΔQ_{KW} durch die gedämpfte Abflussänderung ΔQ_{Becken} zu ersetzen und für Δt die effektive Dauer für die Abflussänderung ≥ 15 min zu berücksichtigen.

Einfaches Rechenbeispiel für den Fall mittels Näherung
Wird einem Sunkabfluss von 6 m³/s mit 8 °C ein Abfluss ab Zentrale von ΔQ_{KW} = 15 m³/s mit 4 °C überlagert, und erfolgt diese Abflussänderung in 15 min, so beträgt $TR_{Schwall\text{-}Sunk}$ = –11,4 °C/h (Zustand schlecht).

Wird die Einleitung ins Gewässer auf ΔQ_{KW} = 10 m³/s gedämpft und erfolgt die Abflussänderung innerhalb von 75 min, beträgt $TR_{Schwall\text{-}Sunk}$ = –2,0 °C/h (Zustand gut).

5 Literatur

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.

Bruno M.C., Siviglia A., Carolli M., Maiolini B. 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. Ecohydrology 6: 511 – 522.

Carolli M., Bruno M.C., Siviglia A., Maiolini B. 2012. Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. River Research and Applications 28: 678 – 691.

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 Research and Applications 19: 589 – 603.

Saltveit S.J., Halleracker 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.

Schweizer S., Neuner J., Heuberger N. 2009. Bewertung von Schwall-Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzepts. Wasser Energie Luft 101: 194 – 202.

Siviglia A., Toro E. 2009. The WAF method and splitting procedure for simulating hydro and thermal peaking waves in open channel flows. Journal of Hydraulic Engineering 135: 651 – 662.

Toffolon M., Siviglia A., Zolezzi G. 2010. Thermal wave dynamics in rivers affected by hydropeaking. Water Resources Research 46: 1 – 18.

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

F4* Jungfischvorkommen

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- Zusätzlich zu Bachforellen werden auch Äschen registriert.
- Keine Wertefunktion, sondern gutachterliche Schlussfolgerung (Expertenwissen).

1 Grundlagen

Wie im Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012).

2 Erhebung

Planung
Berücksichtigung der Jahreszeit (Eientwicklung, Schlüpftermin von Brütlingen). Die Feld-Untersuchungen sind möglichst vor einem allfälligen Fischbesatz durchzuführen.

Vorgehen
Das Vorkommen von Jungfischen der See- und Bachforelle sowie der Äsche lässt sich mit Direktbeobachtung und Elektrobefischung zumindest näherungsweise quantifizieren.

Äschenjungfische (bis ca. 4 Wochen alt) halten sich nach der Emergenz aus dem Ei und Kies (üblicherweise im Mai) am Ufer auf (z. B. in kleinen ruhigen Buchten oder im Strömungsschatten von Steinblöcken). Sie können direkt beobachtet und gezählt werden.

See- und Bachforellenjungfische sowie die etwas älteren Äschenjungfische werden mit dem Elektrofanggerät durch Punktbefischung (Peter & Erb 1996) befischt und quantifiziert.

Bachforellen- und Äschenbrütlinge sind im Frühjahr vorhanden und identifizierbar. Die ersten Jugendstadien, die 0+Fischchen anderer Fischarten hingegen, sind frühestens erst im Herbst oder sogar erst ab Grössen von ca. fünf cm, im Alter von 1+ und älter, sicher bestimmbar. Jungfischbeobachtungen von nicht identifizierten Arten werden ebenfalls registriert.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

In Verbindung mit Fischindikator F1* «MSK-Modul Fische» lässt sich die folgende Interpretation machen: Entsprechen die Jungfischzahlen den Erwartungen (Erwartungen = berechnet aus Anzahl vorhandener Elterntiere)?

Dieser Befund ist eine Momentaufnahme und kann durch verschiedene äussere Ereignisse verfälscht werden (Besatz, vorgängige Hochwasser oder extreme Trockenheiten, keine geeigneten Abfischungsbedingungen, Gewässerverschmutzungen, usw.).

Zu berücksichtigen sind im Weiteren die gewässermorphologischen Verhältnisse, zum Beispiel die Einschätzung der Eignung der beprobten Gewässerstrecken als Lebensraum für Jungfische.

Die Interpretation ist letztlich durch viele Variable erschwert und kann oft nur als Grössenordnung eingeschätzt werden. Die Bewertung der Beobachtungs- und Abfischungsergebnisse erfolgt demnach nicht anhand einer Wertefunktion zu den vorgefundenen Jungfischen, sondern als gutachterliche Schlussfolgerung, ob diese Momentaufnahme durch den Schwall-Sunk Betrieb nicht (Zustandsklasse gut), mässig (Zustandsklasse mässig) oder stark (Zustandsklasse schlecht) beeinflusst worden ist.

4 Zusätzliche Untersuchungen

Die folgenden Begleituntersuchungen können die Interpretation zum Jungfischvorkommen unterstützen:

- Falls ein schlechter Naturbruterfolg beobachtet wird, kann der Brutboxentest (vgl. Indikator F3*) darüber Auskunft geben, ob die Wasserqualität (z. B. hinsichtlich der Wassertemperatur und Trübung) an sich genügend ist.
- Falls eine zu grosse Schwebstoffbelastung der Grund für einen schlechten Naturbruterfolg ist, ist dies u. U. in den Brutboxen konkret beobachtbar (Feinsedimente lagern sich in den Boxen ab) und können damit nachgewiesen werden.
- Falls das Aufkommen der Jungfische in den Brutboxen gut ist, der Naturbruterfolg hingegen schlecht, könnte ein Ausschwemmen der Laichgruben (Überprüfung durch Indikator F3*) ursächlich sein; oder z. B. eine übermässige Strandung (vgl. Indikator F2*) oder Verdriftung von Jungfischen (vgl. Indikator D1) wie auch fehlende Jungfischhabitate.
- Falls sowohl die Naturbrut als auch die Laichboxen ein Misserfolg sind, könnte die Wassertemperatur (überprüfbar durch Indikator Q1*) ein Grund dafür sein.
- Generell bedeutet ein guter Naturbruterfolg, dass die chemisch-physikalische Wasserqualität erfüllt ist und die obigen gewässermorphologischen Laichbedingungen bei Sunk vorhanden sind. Ein schlechter Naturbruterfolg kann ein Hinweis auf Beeinträchtigungen durch den Schwall-Sunk sein.

5 Literatur

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.

Peter A., Erb M. 1996. Leitfaden für fischbiologische Erhebungen in Fliessgewässern unter Einsatz der Elektrofischerei. BUWAL, Bern. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 58: 19 S.

B1* Biomasse und Diversität Makrozoobenthos

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul « Strategische Planung»:

- Neben der Biomasse wird neu auch die Diversität beurteilt.
- Es werden nur noch EPT-Taxa berücksichtigt.
- Die Beurteilung der Biomasse anhand eines berechneten Sollwerts hat sich als in der Praxis nicht anwendbar erwiesen. Es wird deshalb neu der Verlust an Biomasse und an Diversität durch Strandung in der Wasserwechselzone (WWZ) beurteilt (hilfreich dazu sind auch die Indikatoren B3 und D1).

1 Grundlagen

Für die Beurteilung der Biomasse werden die Daten aus den semi-quantitativen Proben des Indikators B2* «MSK-Modul Makrozoobenthos» genutzt.

Zur Beurteilung der Diversität dienen die auf Art-Niveau erstellten Taxalisten des Indikators B3 «Längenzonation Makrozoobenthos». Die direkte Gewichtsbestimmung der EPT-Biomasse vermindert den Zeitaufwand und erhöht die Aussagekraft (Berücksichtigung von empfindlichen Taxa bezüglich Strandung oder Verdriftung, Wegfall der Gammariden).

2 Erhebung

Vorgehen

Die Vorgehensweise zur Beurteilung der Biomasse sowie der Diversität hängt vom Vorhandensein einer Referenzstrecke sowie der Gewässermorphologie des zu untersuchenden Abschnitts ab. Falls eine Referenzstrecke vorhanden ist, können Diversität und Biomasse des untersuchten Abschnitts mit diesem verglichen werden. Bei fehlender Referenzstrecke müssen die Vergleichswerte anhand der im Rahmen der Beurteilung des Indikators B2* gewonnenen Daten definiert werden, da Informationen zu früheren Erhebungen oft gar nicht vorhanden sind. Falls doch vorhanden, sind diese meist entweder aufgrund der Erhebungsmethode nicht vergleichbar oder bei deren Erhebung hatten andere Belastungen, wie beispielswiese eine schlechte chemisch-physikalische Gewässergüte oder morphologische Einschränkungen bereits Einfluss auf Biomasse und Diversität des Makrozoobenthos. Grundsätzlich ergeben sich deshalb die folgenden Szenarien mit folgenden Auswertemöglichkeiten:

Szenario 1: Vorhandensein einer Referenzstrecke und Untersuchungsabschnitt kanalisiert (keine WWZ)

Anhand der für den Indikator B2* erhobenen Proben werden die Biomasse der EPT-Taxa (g/m^2) und anhand der für den Indikator B3 erstellten Taxalisten die EPT-Diversität auf Art-Niveau in der Referenzstrecke sowie dem Untersuchungsabschnitt ermittelt und anschliessend gemäss Wertefunktion beurteilt (Tab. C17).

Szenario 2: Vorhandensein einer Referenzstrecke und Untersuchungsabschnitt enthält WWZ

Um die EPT-Biomasse der Referenzstrecke mit der EPT-Biomasse in der Untersuchungsstrecke mit WWZ vergleichen zu können, muss zuerst die Biomasse (g/m^2) in der Untersuchungsstrecke ermittelt werden. Dabei unterschätzt die in der WWZ ermittelte Biomasse die im Untersuchungsabschnitt real vorkommende Biomasse tendenziell, während die in der dauerbenetzten Fläche erhobene Biomasse diese eher überschätzt. Um in der Schwallstrecke einen mit der Referenzstrecke vergleichbaren Biomasse-Wert zu erhalten, wird deshalb die benetzte Fläche bei $Q_{347natürlich}$ und bei Sunk bestimmt, welche mit Hilfe von hydraulischen Modellen ermittelt werden kann. Anhand dieser Flächen kann das Verhältnis von WWZ-Biomasse und der Biomasse in der dauerbenetzen Zone an der Gesamtbiomasse in der untersuchten Schwall-Sunk Strecke ermittelt werden. Die berechnete Gesamt-EPT-Biomasse wird mit der ermittelten Ge-

samt-EPT-Biomasse in der Vergleichsstrecke verglichen und gemäss untenstehender Wertefunktion beurteilt. Für die Beurteilung der Diversität werden die WWZ-Probe und die Sunk-Zonen-Probe zusammengelegt und die Anzahl EPT-Taxa (Art-Niveau) festgestellt. Die ermittelte Diversität wird mit der Diversität in der Referenzstrecke verglichen und gemäss untenstehender Wertefunktion beurteilt (Tab. C17).

Szenario 3: Fehlen einer Referenzstrecke und Untersuchungsabschnitt enthält WWZ

Die Biomasse wird entsprechend dem für Szenario 2 definierten Verfahren ermittelt. Als Vergleichs-Biomasse gilt die für die Sunk-Zone ermittelte EPT-Biomasse, welche mit der EPT-Biomasse bei $Q_{347natürlich}$ verglichen und gemäss untenstehender Wertefunktion beurteilt wird (Tab. C17). Um die Diversität beurteilen zu können, muss zuerst die Gesamtdiversität der EPT-Taxa in der Untersuchungsstrecke ermittelt werden. Dazu werden die Taxalisten der WWZ und der Sunkzone zusammengelegt und die Anzahl Arten ermittelt.

Szenario 4: Fehlen einer Referenzstrecke und Untersuchungsabschnitt kanalisiert (keine WWZ)

Falls weder eine Referenzstrecke noch eine Wasserwechselzone vorzufinden sind, kann der Indikator B1* nicht beurteilt werden. Es kann stattdessen der Indikator D1 beurteilt werden.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Mit den Probenahmen in der Sunkzone (IBCH-1) und in der Wasserwechselzone (IBCH-2) sowie den zusätzlichen Beobachtungen während den Felderhebungen (vgl. Indikator B2*) kann die effektive Biomasse gegenüber den Sollwerten zuverlässiger abgeschätzt werden.

Bestimmung der Biomasseverluste

Die Biomasseverluste werden mit Hilfe der IBCH-1 und IBCH-2 Probe und den Beobachtungen berechnet. Ansätze dazu finden sich in Limnex (2006), Zurwerra & Bur (2009), Ochsenhofer (2013), Schmutz et al. (2013) und Tanno et al. (2013). Eine fachliche Interpretation ist notwendig.

Bestimmung der Diversitätsverluste

Die Diversitätsverluste werden entsprechend des beschriebenen Vorgehens bestimmt und tabellarisch oder grafisch dargestellt. Die Resultate sind auf Art- oder Gruppenniveau nachvollziehbar zu kommentieren.

Bewertung

Die quantifizierten Verluste an Diversität und Biomasse werden gemäss untenstehender Wertefunktion bewertet (Tab. C17).

Es besteht auch die Möglichkeit die einzelnen Parameter Diversität und Biomasse einzeln zu beurteilen mit anschliessender Aggregation.

Tab. C17

Wertefunktion für den Verlust an Diversität bzw. Biomasse des Makrozoobenthos.

Bewertung	Zustand	**Kriterium:** Verlust an Diversität bzw. Biomasse (%)
	sehr gut	< 10
	gut	< 20
	mässig	< 40
	unbefriedigend	< 60
	schlecht	≥ 60

4 Literatur

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

Ochsenhofer G. 2013. Die makrozoobenthische Besiedlung von Uferhabitaten inneralpiner Flüsse unter Schwalleinfluss. Masterarbeit, BOKU, Wien: 86 S.

Schmutz S., Fohler, N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel, F., Höller N., Jungwirth, M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fliessgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, BMFLUW, Wien: 175 S.

Tanno D., Schweizer S., Robinson C.T. 2013. Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebraten anhand von physikalischen Habitatmodellen. Wasser Energie Luft 105: 288 – 295.

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: 309 – 315.

B3 Längenzonation Makrozoobenthos

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Keine Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung».

B4 EPT-Familien Makrozoobenthos

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Keine Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung».

D1 Drift

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Neuer Indikator:
- Definition gewässerspezifischer Schwellenwerte für Drift, die zu einer wesentlichen Beeinträchtigung führen können, gestützt auf Schwallversuche.
- Anwendung des Indikators D1 fallspezifisch, nur wenn Biomasse und Diversität des Makrozoobenthos gering sind (vgl. Indikator B1*).

1 Grundlagen

Mit dem Abflussanstieg nehmen Fliessgeschwindigkeit und Wassertiefe zu. Sohlenschubspannung und Turbulenzen nehmen ebenfalls zu, was zur Verdriftung und Ausschwemmung von Organismen führen kann. Der häufige, tägliche Schwallbetrieb führt insbesondere beim Makrozoobenthos zu Verlusten, welche nur eingeschränkt durch Aufwanderung und natürliche Drift von Makrozoobenthos oberhalb der Wasserrückgabe kompensiert werden können.

Zusammenhänge und Bedeutung für Fische
Die Verdriftung von Fischen hängt insbesondere von der Gewässermorphologie, der Tages- und Jahreszeit, der Wassertemperatur und dem Entwicklungsstadium der jeweiligen Fischart ab. Grundsätzlich streben verdriftende Fische dem Ufer zu und können sich dort früher oder später halten. Bei Sunk wandern sie wieder auf (Auer et al. 2014). Die Kenntnis der genauen Vorgänge bzw. der limitierenden Grössen ist zur Zeit zu gering, um die Drift von Fischen zur Beurteilung der wesentlichen Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk zu verwenden (vgl. aber Auer et al. 2014 sowie die Grundlagen vom Indikator F2*).

Zusammenhänge und Bedeutung für Makrozoobenthos
Eine Zusammenfassung der heutigen Erkenntnisse zur Drift, die häufig auch mit der Ablösung von fädigen Algen gekoppelt ist, beschreibt Bruder (2012). Untersuchungen in alpinen Gewässern bestätigen die verstärkte Drift durch Schwall-Sunk (Limnex 2006, Bruno et al. 2010, Bernard & Solcà 2011). Die Drift des Makrozoobenthos kann durch abrupte Temperaturänderungen verstärkt werden (Carolli et al. 2012, Bruno et al. 2013; vgl. Indikator Q1*).

2 Erhebung

Notwendigkeit der Erhebung und Planung
Der Indikator D1 wird erhoben, falls der Indikator B1* aufgrund zu kleiner Biomassen und Diversität vermuten lässt, dass Drift in einem übermässigen Ausmass stattfindet. Für eine vertiefte Analyse und ein besseres Verständnis über die Auswirkungen von Schwall auf das Makrozoobenthos wird empfohlen, den Indikator D1 fallweise zu erheben.

Die Durchführung von Driftversuchen ist sorgfältig mit dem Kraftwerkbetreiber abzustimmen. Zur Abstimmung des Ablaufs der Driftmessungen sind Vorversuche durchzuführen.

Vorgehen
Die Standortwahl für die Erhebungen, die zur Beurteilung des Indikators D1 nötig sind, richtet sich nach der entsprechend Anhang B getätigten Einteilung der Gewässerabschnitte und der Wahl der Untersuchungsstrecken. Die Erhebungsstellen für die Drift sind mit den Erhebungen zum Indikator B2* abzustimmen.

Das Vorgehen zur Erhebung umfasst folgende sechs Schritte:

1. Entscheid über die Notwendigkeit der Erhebung des Indikators.
2. Wahl der Probenahmestellen.
3. Wahl der Probenahmetechniken.
4. Wahl der Probenahmeperiode und Tageszeit mit Festlegung der Intervallen zwischen den Probenahmen.
5. Festlegung der Abflussbereiche und Driftszenarien gestützt auf die aktuellen und künftigen (mit Massnahmen) hydrologischen Kenngrössen Schwallabfluss und Pegelanstiegsrate.
6. Datenaufbereitung, Bewertung und Interpretation der Resultate.

Während den Erhebungen empfiehlt es sich auch weitere abiotische Parameter, wie beispielsweise die Temperatur, den Abfluss und den Pegel, die Fliessgeschwindigkeit sowie die Schwebstoffe (z. B. mit Imhoff-Trichter) zu messen um einerseits die Probenahmezeitpunkte einordnen zu können und hilfreiche Informationen hinsichtlich der Dateninterpretation zu bekommen.

Beprobung
Zur Erhebung der Makrozoobenthos-Drift existieren keine standardisierten Methoden. Erfolgreich wurden in der Schweiz Beprobungen mit Netzen und Pumpen durchgeführt (Limnex 2006, Limnex 2009, Bernard & Solcà 2011).

Die Beprobung mit Netzen erfolgt durch eine substratnahe Installation von feinmaschigen Netzen mit einer standardisierten Grösse der Eintrittsöffnung. Da die Netze während des Pegelanstiegs sowie während des Schwalles regelmässig geleert und wieder installiert werden müssen (Zeitintervall abhängig von Pegelanstiegsrate und Schwallabfluss), ist eine Beprobung durch diese Methode vor allem auf Kraftwerke mit kleinen Abflüssen bzw. zur Aufnahme der Grunddrift in ufernahen Bereichen geeignet.

Die Beprobung durch Pumpen erfolgt durch die Ausrichtung eines Pumpenschlauchs oder mehreren Pumpenschläuchen entgegen der Fliessrichtung mit anschliessendem Abpumpen des Wassers in ein feinmaschiges Netz.

Zu beproben sind folgende vier Phasen:

1. Erfassen der Grunddrift bei Sunk.
2. Erfassen des Schwallanstiegs mit mehreren Zeitintervalle.
3. Erfassen des konstanten Schwalls mit Erfassung der Ankunft des Thermopeaks (mehrere Zeitperioden).
4. Erfassen der Grunddrift bei Sunk.

Falls möglich, sollte die Beprobungen für verschiedene Schwall-Sunk Abflüsse sowie Pegelanstiegsraten, entsprechend der zu untersuchenden Szenarien (mit Massnahmen), wiederholt werden und mit ausreichenden Intervallen zwischen den Probetagen. Zusätzlich wird wenn möglich die Beprobung eines Referenzgewässers empfohlen.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Die erhobenen Daten werden mindestens hinsichtlich Frischgewicht und Makrozoobenthos-Dichte pro Taxa (je nach Fragestellung) ausgewertet und in Abhängigkeit des Pegels bzw. des Abflusses sowie der Zeit grafisch dargestellt. Beispiele für die Darstellung der Daten finden sich in Limnex (2009) und Bernard & Solcà (2011). Für die Interpretation der Daten kann es auch hilfreich sein, Dichte sowie Frischgewicht in Abhängigkeit anderer Parameter darzustellen, wie beispielsweise der Temperatur oder der Schwebstofffracht sowie der mittleren Fliessgeschwindigkeiten in der Wassersäule und sohlennah. Empfohlen wird auch die Darstellung der Driftrate (Anzahl verdriftete Individuen im Verhältnis zu total verdrifteten Individuen) beim natürlichen Abfluss gegenüber dem Schwallabfluss. Taxa mit Abundanzen kleiner als fünf sind in der Analyse nicht zu berücksichtigen.

Die Resultate der verschiedenen Untersuchungsperioden, Betriebsszenarien und Standorte werden miteinander verglichen.

Aufgrund fehlender Vergleichswerte wird im vorliegenden Modul keine Wertefunktion vorgeschlagen. Durch Vergleiche der Drift zwischen den Untersuchungsstrecken sowie innerhalb derselben Untersuchungsstrecke bei verschiedenen Schwall-Sunk Szenarien sollte es den Fachexperten jedoch möglich sein, das Ausmass der Drift mit fünf Zustandsklassen zu beurteilen und gewässerspezifische Richtwerte für den Schwallabfluss und die Pegelanstiegsrate festzulegen.

Experimentelle Versuche (zurzeit unveröffentlicht) zeigen, dass nachts höhere Driftraten des Makrozoobenthos als bei Tageslicht auftreten. Bei der Bewertung von nächtlichen Schwall-Sunk Ereignissen müssen demnach die massgebenden hydrologischen Kenngrössen (Pegelanstiegsrate und Schwallabfluss) entsprechend reduziert werden.

4 Prognose

Die Drift D1 ist kein Indikator für die Prognose. Sein Nutzen ist indirekt, indem anhand von Driftversuchen gewässerspezifische Grenzwerte für Pegel- oder Abflussanstiegsraten sowie des Schwallabflusses festgelegt werden können.

Um mittel- bis langfristig die Drift anhand von Prognosen, und somit unabhängig von Driftversuchen zu ermöglichen, fehlt gemäss heutigem Wissensstand als wesentliche Grösse die Kenntnis der Sohlenschubspannung während dem Abflussanstieg (instationärer Abflussvorgang) sowie die unterschiedliche Sensitivität der Makrozoobenthos hinsichtlich Drift (z. B. Art, Körperbau, Lebensgewohnheiten).

5 Literatur

Auer S., Fohler N., Zeiringer B., Führer S., Schmutz S. 2014. Experimentelle Untersuchungen zur Schwallproblematik. Drift und Stranden von Äschen und Bachforellen während der ersten Lebensstadien. BOKU, Wien: 109 S.

Bernard R., Solcà L. 2011. Studio degli effetti delle variazioni di portata indotti dalla regimazione idroelettrica lungo il fiume Ticino. Rapporto conclusivo di sintesi. Dipartimento del Territorio, Lugano: 79 S.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk – Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf: 92 S.

Bruno M. C., Maiolini B., Carolli M., Silveri L. 2010. Short time-scale impacts of hydropeaking on benthic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). Limnologica 40: 281 – 290.

Bruno M.C., Siviglia A. Carolli M., Maiolini B. 2013. Multiple drift responses of benthic invertebrates to interacting hydropeaking and thermopeaking waves. Ecohydrology 6: 511 – 522.

Carolli M., Bruno M.C., Siviglia A., Maiolini B. 2012. Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. River Research and Applications 28: 678 – 691.

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

Limnex 2009. Schwall-Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchung von Hasliaare und Lütschine. Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und Szenarien. Bericht zuhanden der Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen: 40 S.

F1* MSK-Modul Fische

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- In kleinen Fliessgewässer, wenn möglich, 2 – 3 quantitative Befischungsdurchgänge.
- Die Abfischungsstrecken müssen repräsentativ für die ganze Schwall-Sunk Strecke sein.

1 Grundlagen

Eine komplette Bestandsaufnahme mit Hilfe elektrischer Abfischungen ergibt einerseits ein aussagekräftiges Resultat an sich, andererseits bildet sie die Grundlage zur Einordnung, Bewertung und Interpretation von allen weiteren fischökologischen Untersuchungen.

2 Erhebung

Es wird vorgeschlagen, grundsätzlich wie im Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) vorzugehen, allerdings mit der nachstehenden (kleinen) Methoden-Anpassung:

- In kleinen Fliessgewässern ist es u. U. möglich, Strecken mit Netzen abzusperren und zwei oder gar drei quantitative Befischungsdurchgänge durchzuführen.
- Anzahl Strecken: X à 200 m. Die Abfischungsstrecken müssen repräsentativ für die ganze Schwall-Sunk Strecke sein, sie werden gestützt auf die Erhebungen zur Gewässermorphologie (vgl. Anhang B) bestimmt.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Die Datenaufbereitung der Abfischungsergebnisse sowie die Bewertung und Interpretation erfolgt nach dem MSK-Modul Fische (Schager & Peter 2004) unter Berücksichtigung folgender Aspekten:

- Zuordnung des Gewässers zur jeweiligen Ökoregion.
- Ermittlung der Fischregion und des potenziellen Artenspektrums.
- Auflistung der gefangenen Fischarten (und Rundmäuler).
- Relative Häufigkeiten der einzelnen Arten.
- Längenhäufigkeitsverteilung der Bachforelle.
- Bestimmung bzw. Einschätzung des 0+-Fischanteils der Leitfischart (bei Verwendung mehrerer Indikatorarten Mittelwertbildung; bei der Bachforelle auch Dichte in Individuen/ha).
- Berechnung der befischten Fläche.
- Berechnung der Bachforellendichte ausgedrückt in Individuen/ha.
- Prozentanteil der Fische mit Anomalien und Deformationen (nach Arten getrennt und Mittelwertbildung).

Abgesehen von den Befunden der weiteren Fischindikatoren sind in der Interpretation ebenfalls zu berücksichtigen, z. B.: die chemisch/physikalische Wasserqualität, das Vorkommen von PKD (Proliferative Kidney Disease) und Informationen über eventuell stattgefundene Besatzmassnahmen.

4 Literatur

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.

Schager E., Peter A. 2004. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Fische Stufe F (flächendeckend). BUWAL, Bern. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44: 63 S.

B2* MSK–Modul Makrozoobenthos

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- Zusatzerhebung in der Wasserwechselzone (WWZ) mit 8 IBCH-2 Proben für ausgedehnte Kiesbankstrecken und verzweigte Gerinne.

1 Grundlagen

Im Rahmen der strategischen Planungen Schwall-Sunk wurden für die Beurteilung des Indikators B2 mehrheitlich Daten verwendet, welche nicht spezifisch auf die Schwall-Sunk Problematik erhoben wurden. Ausserdem können viele Schwall-Sunk Strecken nur unzureichend beprobt werden (hohe Abflüsse, eingeschränkte Sicht).

Da der Breitbandindikator B2 zur Beurteilung der übrigen Makrozoobenthos-Indikatoren wesentliche Grundlagen liefert, verbessert eine Schwall-Sunk spezifische Erhebung unter Berücksichtigung der gewässerspezifischen Besonderheiten die Aussagemöglichkeiten zur Abstützung und Beurteilung der zu ergreifenden Schwall-Sunk Massnahmen.

Im Rahmen der kantonalen strategischen Planung des Kantons Fribourg wurde der Indikator B2* an 4 Untersuchungsstellen in der Saane angewendet. Von 29 nachgewiesenen EPT-Arten konnten sieben nur in der WWZ gefunden werden, darunter etliche Schwall-Sunk empfindliche Arten (PRONAT, nicht veröffentlicht). Weitere Angaben zur Thematik finden sich in den Arbeiten von Ochsenhofer (2013) und Schmutz et al. (2013).

2 Erhebung

Falls in dem zu untersuchenden Abschnitt ausgedehnte WWZ vorhanden sind, wird eine Neuerhebung mit dem Indikator B2* empfohlen (IBCH-2). Die Erhebungen in der Sunkzone (IBCH-1) erfolgen nach Stucki (2010) und die Erhebungen in der WWZ (IBCH-2) erfolgen gemäss vorliegendem Modul.

Vorabklärungen
Vor der Erhebung des Makrozoobenthos sind mit dem Kraftwerk für den Probezeitraum die zu untersuchenden Schwall-Sunk Abflussregime festzulegen. Für die Probenahmen in den Untersuchungsstellen sind Perioden mit ausgeprägten Schwall-Sunk Ereignissen (95 % Quantil) vorzusehen.

Mittels hydraulischer Berechnungen kann die benetzte Fläche bei typischem Sunkabfluss und bei Q_{347} sowie der natürliche Medianabfluss für die Winter- und Schneeschmelzperiode abgeschätzt werden. Mit dieser Basis kann entschieden werden, ob eine oder zwei Probenahmeperioden zur Beurteilung notwendig sind.

Ergänzend sind, falls vorhanden, eine oder mehrere Referenzstrecken zu beproben.

Wahl der Probestellen
Die Probenahmestellen IBCH-1 und IBCH-2 in der Schwallstrecke sind so zu wählen, dass Seitenbäche und Einleitungen das Resultat nicht verfälschen.

Die Referenzprobestellen sind, falls möglich, in einem nicht schwallbeeinflussten Gewässerabschnitt nach Stucki (2010) mit separater Auswertung und Aufbewahrung der acht Einzelproben zu erheben. Als Referenzstandort gilt ein Gewässerabschnitt desselben Gewässertyps mit zur Untersuchungsstrecke vergleichbarer Höhenlage, wenig beeinflusstem Abflussregime (Restwasserstrecken sind deshalb meist ausgeschlossen) sowie vergleichbarem physischem (Temperatur, Morphologie) und chemischem Gewässerzustand.

In einem Gewässer mit hoher Bedeutung des Makrozoobenthos ist, insbesondere in Hinblick auf die Beurteilung der Indikatoren B3 «Längenzonation Makrozoobenthos» und B1* «Biomasse und Diversität Makrozoobenthos», eventuell eine weitere Makrozoobenthos-Probenahme zu einem späteren Zeitpunkt als dem üblichen Probenahmefenster zu prüfen (Sommer/Herbst).

Beprobung

In den Schwallstrecken sind der dauerbenetzte Bereich bei Sunk und die WWZ mit je einer separaten IBCH-Aufnahme zu beproben. Folgende drei Schritte sind auszuführen:

1. Festlegen der zu untersuchenden Gewässerabschnitte und Untersuchungstrecken im Längsverlauf des Gewässers und der Referenzstrecken gemäss Anhang B.
2. Festlegung und Erhebung der IBCH-Untersuchungsstellen im dauerbenetzen Sunkbereich (IBCH-1; blaue Untersuchungsstellen in Abb. C13) mit Berücksichtigung der vorhandenen Substrat-Fliessgeschwindigkeit-Habitate (nach Stucki 2010) mit separater Auswertung und Aufbewahrung der acht Einzelproben.
3. Wiederholung von Schritt 2 für acht weitere Proben in zwei Transekten in der WWZ mit separater Auswertung und Aufbewahrung der acht Einzelproben (IBCH-2; rote Untersuchungsstellen in Abb. C13).

Die transektbezogenen Probenahmen in der WWZ (IBCH-2) erfolgen beim Schwall und während des Schwallrückganges vom Ufer zur Gewässermitte. Die Erhebung erfolgt folgendermassen (Abb. C12 & C13):

1. Die Proben 1 und 2 werden als Kickproben während des Schwalls erhoben. Die Probestellen liegen ausserhalb vom definierten $Q_{347natürlich}$.
2. Die Proben 3 und 5 werden während des Schwallrückgangs und einer maximalen Wassertiefe von 5 cm bzw. wenn nicht möglich als Schlämmprobe nach dem Trockenfallen erhoben. Die Probestellen liegen ausserhalb vom definierten $Q_{347natürlich}$.
3. Die Proben 4 und 6 werden im definierten Bereich von $Q_{347natürlich}$ während des Schwalls bzw. wenn nicht möglich bei Schwallrückgang als Kickproben erhoben.
4. Die Proben 7 und 8 werden im definierten Bereich von $Q_{347natürlich}$ während des Schwallrückgangs und einer maximalen Wassertiefe von fünf cm bzw. wenn nicht möglich als Schlämmprobe nach dem Trockenfallen erhoben.

Abb. C12

Beurteilungsquerschnitte bei Sunk, $Q_{347natürlich}$ und der Wasserwechselzone.

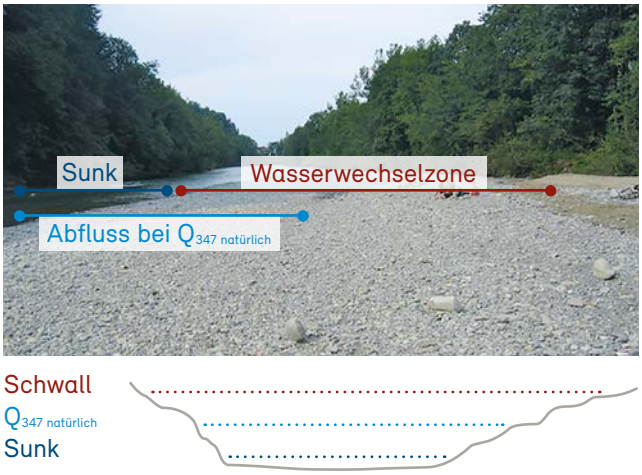
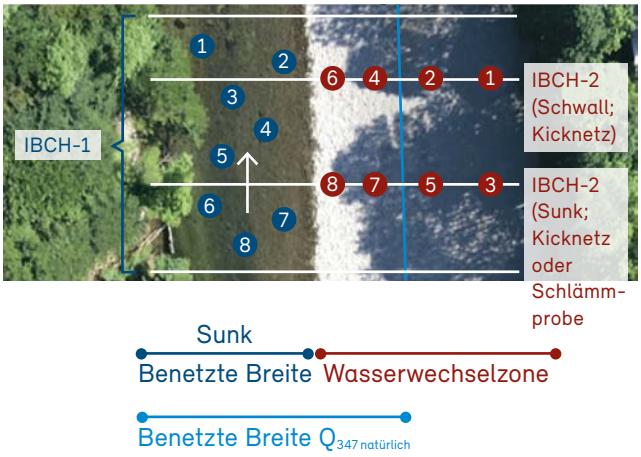


Abb. C13

Probenahme IBCH. Anordnung der Probestellen im Sunkbereich (IBCH-1) und in der Wasserwechselzone (IBCH-2).



Von den Probestellen sind Skizzen/Fotos mit Markierungen im Feld anzufertigen, um bei einer späteren Wiederholung dieselbe Stelle wieder am selben Standort zu beproben.

Parallel zu den Probenahmen werden, je nach Notwendigkeit, weitere Messungen und Beobachtungen durchgeführt (z. B. Stranden Makrozoobenthos, Drift, Temperaturmessungen, Rückzugsmöglichkeiten des Makrozoobenthos ins Interstitial, Fliessgeschwindigkeit und

Wassertiefen bei den Probenahmestellen in Ergänzung zu den Präferenzkurven).

3 Datenaufbereitung und Darstellung der Resultate

Die Datenaufbereitung der Proben erfolgt gemäss IBCH mit separater Auswertung der Einzelproben sowie Bestimmung des IBCH der Gesamtproben in der dauerbenetzten Zone bei Sunk, der WWZ und in der Referenzstrecke.

Die Ergebnisse werden graphisch dargestellt:

1. IBCH der Einzelproben bzw. der Gesamtproben innerhalb der Abschnitte sowie im Längsverlauf des Gewässers.
2. Taxonomische Diversität der Einzelproben bzw. der Gesamtproben innerhalb der Abschnitte sowie im Längsverlauf des Gewässers.
3. Gesamtindividuendichten der Einzelproben bzw. der Gesamtproben innerhalb der Abschnitte sowie im Längsverlauf des Gewässers.
4. Individuendichten wichtiger Taxa (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, Diptera, ev. weitere) der Einzelproben bzw. der Gesamtproben innerhalb der Abschnitte sowie im Längsverlauf des Gewässers.

4 Bewertung

Die Bewertung erfolgt gemäss Stucky (2010). Die Erhebung des Makrozoobenthos in der Referenzstrecke ermöglicht eine Einschätzung der natürlichen Verhältnisse und ein Vergleich mit dem Makrozoobenthos in der durch Schwall-Sunk beeinflussten Strecke. Dabei ist zu prüfen, ob nicht anderweitige Störungen vorhanden sind, welche Zusammensetzung und Individuenzahl des Makrozoobenthos beeinflusst haben könnten.

Die Erhebung des Indikators B2* erlaubt eine Veränderung der Artenzusammensetzung und Individuendichte festzustellen:

1. In der Zeitachse gegenüber früher erhobenen Daten.
2. Im Gewässerverlauf in der Schwall-Sunk Strecke.
3. Im Gewässerverlauf zur Referenzstrecke.
4. Am jeweiligen Untersuchungsstandort mittels Vergleich und Analyse der nachgewiesenen Taxa in der Sunk- und in der WWZ.

Die Erhebungen und Beobachtungen in der WWZ zeigen insbesondere auf, welche Verluste durch Drift, Stranden und Austrocknung für das Makrozoobenthos entstehen. Mit einer flächen- und mengenmässigen Abschätzung sind Vergleiche mit prognostizierten Habitateignungen einzelner Taxa mittels dem Indikator B5 möglich.

5 Literatur

Ochsenhofer G. 2013. Die makrozoobenthische Besiedlung von Uferhabitaten inneralpiner Flüsse unter Schwalleinfluss. Masterarbeit, BOKU, Wien: 86 S.

Schmutz S., Fohler, N., Friedrich T., Fuhrmann M., Graf W., Greimel, F., Höller N., Jungwirth, M., Leitner P., Moog O., Melcher A., Müllner K., Ochsenhofer G., Salcher G., Steidl C., Unfer G., Zeiringer B. 2013. Schwallproblematik an Österreichs Fliessgewässern – Ökologische Folgen und Sanierungsmöglichkeiten, BMFLUW, Wien: 175 S.

Stucki P. 2010. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Makrozoobenthos Stufe F (flächendeckend). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1026: 6 S.

H1* Innere Kolmation

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☐ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Änderungen gegenüber dem Modul «Strategische Planung»:

- Innere Kolmation als Zusatzindikator für Fälle mit wenig Hochwassern und hohem Feinsedimenteintrag in grossen Talflüssen der Alpen mit einer signifikanten Vergletscherung (restriktive Anwendung empfohlen).
- Keine Festlegung der inneren Kolmation über Schlüsselkurve mit Schwebstoffkonzentration, sondern fallspezifisch mit Methodenfreiheit.

1 Grundlagen

Einflussgrössen
Eine kürzlich erfolgte Studie am Alpenrhein hat gezeigt, dass die innere Kolmation ein massgebender Faktor für den Reproduktionserfolg von kieslaichenden Fischen ist (Flussbau 2012).

Im Modul «Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) erfolgt die Bestimmung der inneren Kolmation über eine Schlüsselkurve in Funktion der Schwebstoffkonzentration während des Schwalls in den Hochwintermonaten.

Die Einflussgrössen der inneren Kolmation sind jedoch vielschichtig. Im Wesentlichen sind der hydraulische Gradient der Sickerströmung, die Sohlenschubspannung, die Wassertemperatur und Kornverteilung des Sohlenmaterials (insbesondere das Feingeschiebe), die Schwebstoffkonzentration sowie die Geschiebe- und Hochwasserdynamik für die innere Kolmation von Bedeutung (Habersack & Hauer 2014).

Neuere Erkenntnisse
So haben beispielsweise die weiterführenden Untersuchungen an der Hasliaare [Schweizer et al. 2013 (1) – (4)] gezeigt, dass sich die Einschätzungen gemäss Schlüsselkurve nur bedingt mit Felduntersuchungen decken. Die festgestellte innere Kolmation im wechselnassen Bereich (Wasserwechselzone, WWZ) nach Schälchli (2002) und jener im benetzten Bereich anhand der Kickfahne können von der Schlüsselkurve abweichen. Dies geht auch aus den Schlussfolgerungen von Habersack & Hauer (2014) hervor, wonach gemäss Freezecore Analysen die Ursache der inneren Kolmation im dauerbenetzten Bereich grösstenteils beim Feingeschiebe (0,5 – 2 mm) liegt und nicht bei den Schwebestoffen (< 0,5 mm).

Die Akkumulation von Feinanteilen führt zu ökologischen Problemen, wenn durch fehlende Umlagerungsdynamik oder gestörtes Sedimentkontinuum eine zunehmende Vergröberung der Sohle stattfindet. In Bezug auf den Schwall konnte in den Studien am Alpenrhein gezeigt werden, dass es vorwiegend in den WWZ zu einer erhöhten Anreicherung von Feinsedimenten kommt (Habersack & Hauer 2014). Der dauerbenetzte Bereich hingegen zeigte in den meisten Fällen sehr geringe Anteile von Feinsedimenten.

Im Alpenrhein konnte keine eindeutige Korrelation zwischen Schwall-Sunk Verhältnis und der Ausprägung der innereren Kolmation im dauerbenetzten Bereich und in der WWZ festgestellt werden.

Erneute Erhebung bei Bedarf
Da die direkte Bindung der inneren Kolmation an die Schwebstoffkonzentration fraglich ist, wird empfohlen, den Indikator H1* bei Bedarf zur Ergänzung und Überprüfung der Resultate der Defizitanalyse neu zu erheben um Aussagen zur Qualität des Interstitials machen zu können. Nach Möglichkeit sollte vergleichend eine Referenzstrecke beurteilt werden.

Als alternative Methode zur Erhebung der inneren Kolmation anerbieten sich das Einbringen von Brutboxen mit befruchteten Fischeiern (vgl. Indikator F3*).

2 Erhebung

Planung

Die Erhebung des Indikators setzt tiefe Abflüsse voraus, damit die innere Kolmation gemäss Schälchli (2002) möglichst nahe am dauerbenetzten Bereich erfasst werden kann. Mit der Methode zur Messung der Kolmation unter Wasser (Guthruf 2014) oder Freezecore-Proben (Habersack & Hauer, 2014) kann auch der dauerbenetzte Bereich beprobt werden.

Es empfiehlt sich für die Feldarbeit die Periode vor Beginn der Laichzeit der Leitfischart bei ausgeprägtem Niederwasser und klarem Wasser. Gegen Ende Winterhalbjahr, wenn die potentielle Auswirkung des Schwall-Sunk auf die fortschreitende innere Kolmation der Gewässersohle am deutlichsten messbar sein sollte, wird die Messung an denselben Stellen wiederholt.

Vorgehen

Das Vorgehen zur Erhebung umfasst folgende sechs Schritte:

1. Gutachterliche Einschätzung des Gewässers hinsichtlich Feingeschiebe und Hochwasserdynamik.
2. Entscheid über die Erhebung des Indikators H1* im Rahmen einer vertieften Defizitanalyse.
3. Identifizierung der WWZ in Perioden mit geringem Sunkabfluss und Wahl repräsentativer Standorte.
4. Festhalten der Rahmenbedingungen wie letztes bettbildendes Hochwasser, letztes Hochwasser mit Aufreissen der Deckschicht, Sonderereignisse wie Murgänge in Zuflüssen, Rutschungen oder Beckenspülungen.
5. Erhebung der inneren Kolmation bei Sunk in der WWZ mit Referenzproben ausserhalb der WWZ nach Schälchli (2002), aggregiert auf fünf Zustandsklassen oder mittels Freezecore-Beprobungen (Habersack & Hauer 2014).
6. Erhebung der inneren Kolmation im dauerbenetzten Bereich anhand der Methode nach Guthruf (2014), mittels Freezecore-Beprobungen oder möglichst nahe am dauerbenetzten Bereich bei tiefem Wasserstand gemäss Schälchli (2002).

Die Wahl der Erhebungsmethode in der WWZ und im dauerbenetzten Bereich ist dem Fachexperten überlassen und richtet sich am Gewässer und am Aufwand. Die Erhebung und die Wahl der Methode sind nachvollziehbar zu dokumentieren.

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Die Datenaufbereitung und Bewertung erfolgt methodenspezifisch. Es wird empfohlen festzuhalten:

1. Eine summarische Begründung, falls der Indikator nicht berücksichtigt wird.
2. Eine Kartographie und Dokumentation der Probenahmestellen in der WWZ, im dauerbenetzten Bereich und in der Referenzstrecke.
3. Eine tabellarische Zusammenstellung der Resultate.

Die Bewertung und Interpretation stützt sich auf die Kolmationsklassen «keine», «geringe», «erhebliche» «starke», und «sehr starke», welchen die Zustandsklas-

Tab. C18

Wertefunktion für die innere Kolmation.

Bewertung	Zustand	Kolmationsklasse	Schälchli* (2002)	Guthruf ** (2014)	Freezecore ***
	sehr gut	keine	0, 1, 2	< 5,65 N	< 5 %
	gut	geringe	3, 4, 5	< 20,85 N	< 15 %
	mässig	erhebliche	6, 7, 8	< 34,57 N	≥ 15 %
	unbefriedigend	starke	9, 10, 11	< 88,62 N	> 30 %
	schlecht	sehr starke	12, 13, 14	≥ 88,62 N	> 50 %

* Für die WWZ und sehr nahe am dauerbenetzten Bereich bei tiefem Wasserstand gemäss Schälchli (2002).
** Für den dauerbenetzten Bereich gemäss Guthruf (2014) mittels Bestimmung des Kraftmedians (5 – 10 Stifte).
***Evtl. mittels Freezecore Methode bestimmter Feinsedimentanteil (< 2 mm) in Kieslaichplätzen.

sen «sehr gut» bis «schlecht» zugeordnet werden. Die Zuordnung ist methodenabhängig und erfolgt für diesen Zusatzindikator nachvollziehbar dokumentiert gemäss Tabelle C18. Massgebend für die innere Kolmation sind die Proben für den dauerbenetzen Bereich und die WWZ. Proben ausserhalb dienen dem Vergleich.

4 Prognose

Die innere Kolmation ist mit dem heutigen Wissensstand im Normalfall nur sehr schwierig zu prognostizieren.

Am Alpenrhein wurde dank der sehr guten Datenlage die innere Kolmation der Gewässersohle unter Berücksichtigung der Grundbelastung (pro Teststrecke), der Morphologie (Furt, Rinne, Schnelle, Kolk, usw.) und der Intensität des Schwall-Sunk (Anforderungsprofile) prognostiziert. Die Prognose erfolgte mit Hilfe eines Bewertungsschemas (Flussbau 2012).

In grossen Talflüssen der Alpen mit einer signifikanten Vergletscherung und hohem Feinsedimenteintrag (Rhein, Rhône, evtl. Ticino, evtl. Reuss, evtl. Linth) wird empfohlen, eine Prognostizierung in der Art wie am Alpenrhein vorzunehmen. Für die kleineren Gewässer oder bei geringem Feinsedimenteintrag wird vorgeschlagen auf eine Prognostizierung zu verzichten. Alternativ kann jedoch mit Brutboxen mit befruchteten Fischeiern abgeklärt werden, ob die innere Kolmation für eine gewässertypische Reproduktion hindernd ist (vgl. Indikator F3*).

5 Literatur

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.

Flussbau 2012. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1: Anforderungsprofile und Kolmation. IRKA : 61 S.

Guthruf J., 2014. Arbeitshilfe zur Messung der inneren Kolmation., Bericht im Auftrag des Renaturierungsfonds des Kantons Bern: 16 S.

Habersack H., Hauer C. 2014. Schwalluntersuchung Alpenrhein – Sedimentologische und morphologische Bewertungen., BOKU, Wien: 163 S.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K. 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft105: 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105: 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M., Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105: 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105: 277 – 287.

Schälchli U. 2002. Kolmation –Methoden zur Erkennung und Bewertung. Bericht im Auftrag der EAWAG: 26 S.

H2 Äussere Kolmation

Geeignet für
☒ Defizitanalyse ☒ Prognose ☒ Wirkungskontrolle

Neuer Indikator:

- Als Zusatzindikator für stark vergletscherte Einzugsgebiete und Einzugsgebiete mit ausgewiesen hoher Schwall-Sunk bedingter Trübung und festgestellter Problematik der fortschreitenden äusseren Kolmation.
- Als Zusatzindikator, wenn die Grundlagenerhebung (Anhang B) auf eine ausgeprägte äussere Kolmation hinweist. Beschreibt die Limitierung der Bewohnbarkeit der Makrozoobenthos- und der Fischlaichhabitate.

1 Grundlagen

Einflussgrössen und Mechanismen

Bei hohen Schwebstoffaufkommen im Gewässer kann die äussere Kolmation von Bedeutung sein. Dabei lagern sich Feinsedimentfraktionen (< 2 mm) dauerhaft oder vorübergehend auf der Gewässersohle ab. Massgebend für die äussere Kolmation sind in der Regel die Fraktionen < 0,5 mm (Habersack & Hauer 2014). Ablagerungen entstehen auf Kiesbänken und entlang der Ufer, vorwiegend in strömungsarmen Bereichen der Wasserwechselzone (WWZ). In schnellfliessenden Bereichen findet bei Schwall eine Resupension der Feinsedimente statt. Dieser Mechanismus der Ablagerung und Resuspension erklärt die Beobachtungen der äusseren Kolmation beispielsweise in der Rhône, Vispa und im Alpenrhein sehr gut.

Ablagerung und Resuspension

Ablagerung und Resuspension sind natürliche Prozesse, die massgeblich von den Sedimenten im Einzugsgebiet abhängen (z. B. stärker bei Verwitterungsprodukten wie Bündnerschiefervorkommen bzw. geringer bei wasserlöslichen Produkten wie Kalksteinen). Die äussere Kolmation wird nicht durch Schwall-Sunk verursacht, kann aber dadurch beschleunigt oder begünstigt werden. Das Problem ist in der Regel nicht der Anteil an Feinsedimenten, sondern die fehlende Umlagerungsdynamik (Fehlen von grossen Hochwassern, kanalisiertes Gerinne). Eine Verbesserung bezüglich der inneren und äusseren Kolmation wird voraussichtlich vor allem durch die Geschiebesanierungen und mehr Hochwasserdynamik sowie mittels grosser Aufweitungen erreicht werden, und nicht durch eine Schwall-Sunk Sanierung.

Erhebung bei Bedarf

Wird bei der Grundlagenerhebung (Anhang B) die äussere Kolmation als Schwall-Sunk spezifisch und problematisch für die Bewohnbarkeit von Habitaten beurteilt, kann diese als Zusatzindikator in die Defizitanalyse, Prognose beim Variantenstudium und Wirkungskontrolle einfliessen. Dabei ist die Schwall-Sunk bedingte äussere Kolmation klar von weiteren Ursachen wie z. B. Stauraumspülungen, Kiesausbeutungen, oberliegende Baustellen und Strassenwinterdienst, die ebenfalls zur äusseren Kolmation führen können, abzugrenzen.

2 Erhebung

Planung

Untersuchungen der äusseren Kolmation sind auf der Basis der Grundlagenerhebung (Anhang B) sorgfältig zu planen und nur durchzuführen, wenn andere Einflüsse als Schwall-Sunk nicht zu erwarten sind.

Vorgehen

Das Vorgehen zur Erhebung umfasst folgende vier Schritte:

1. Gutachterliche Einschätzung des Gewässers hinsichtlich Feinsedimentfraktionen, Hochwasserdynamik und ausgeprägte äussere Kolmation.
2. Entscheid über die Erhebung des Indikators H2 im Rahmen einer vertieften Defizitanalyse.
3. Erfassung der Flächen mit äusserer Kolmation im Feld.
4. Erfassen der Korngrössen der äusseren Kolmation im Feld in Abhängigkeit der Bereiche.

Alternativ zu Kartierungen der Flächen mit äusserer Kolmation im Feld können diese über 2D-Berechnungen für Abflussganglinien des IST-Zustands bestimmt werden (siehe Abschnitt «Prognose»).

Die Untersuchung der Korngrössen der äusseren Kolmation dient der Einordnung der Ablagerungen in Sand bzw. Sand und feinere, kohäsive Partikel (Silt, Ton).

3 Datenaufbereitung und Bewertung

Es wird eine summarische Begründung empfohlen, falls der Indikator nicht berücksichtigt wird. Ansonsten entspricht die Datenaufbereitung und Bewertung im Wesentlichen einer Kartierung inkl. Dokumentation mit Fotos.

Der Zusatzindikator äussere Kolmation kann nicht im Sinne einer Schlüsselkurve mit einer Wertefunktion beurteilt werden. Zonen, welche von der äusseren Kolmation betroffen sind, sind der Zustandsklasse «schlecht» zuzuordnen.

Zonen mit äusserer Kolmation eignen sich weder als Fischlaichplätze noch als Lebensraum für das Makrozoobenthos und können bei Habitatmodellierungen (Anhang F, Indikatoren F6 und B5) als nicht bewohnbar ausgeschieden werden.

4 Prognose

Ein pragmatischer Ansatz zur Prognose der äusseren Kolmation, der bei Vorhandensein von Resultaten aus zweidimensionalen Modellen mit vertretbarem Aufwand möglich ist, stützt sich auf eine Unterteilung der Flusssohle in folgende drei Bereiche (z. B. Flussbau 2012):

1. Transportzone: saubere Kiessohle da Fliessgeschwindigkeit auch bei Sunk > 0,5 m/s.
2. Resuspensionszone: periodisch Ablagerung von Feinsedimenten vorhanden, da Fliessgeschwindigkeit bei Sunk < 0,5 m/s und bei Schwall > 0,5 m/s.
3. Sedimentationszone: dauerhafte Ablagerungen von Feinsedimenten (= zunehmende äussere Kolmation), da Fliessgeschwindigkeit bei Schwall < 0,5 m/s.

Obige Unterteilung basiert in Anlehnung an die Grenzgeschwindigkeit nach Kresser (1964) auf den Annahmen, dass für die mittlere Fliessgeschwindigkeit (in 2D Modellen tiefengemittelte Fliessgeschwindigkeit) Vm > 0,5 m/s keine äussere Kolmation stattfindet, jedoch für 0,2 < Vm < 0,5 m/s Sand (Durchmesser 0,062 mm – 2 mm) und für Vm < 0,2 m/s Sand und feinere, kohäsive Partikeln (Silt, Ton) abgelagert werden.

Am Alpenrhein konnte mit diesem Ansatz für die drei vorhandenen Morphologien rechnerisch aufgezeigt werden, dass grundsätzlich mit zunehmender Anhebung des Sunks und Abminderung des Schwalls die Transportzonen zu- und die Resuspensions- und Sedimentationszonen abnehmen (Flussbau 2012).

5 Literatur

Flussbau 2012. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Arbeitspaket 1: Anforderungsprofile und Kolmation. IRKA : 61 S.

Habersack H., Hauer C. 2014. Schwalluntersuchung Alpenrhein – Sedimentologische und morphologische Bewertungen. Sedimentologische und morphologische Bewertungen., BOKU, Wien: 163 S.

Kresser W. 1964. Gedanken zur Geschiebe- und Schwebstoffführung der Gewässer. Österreichische Wasserwirtschaft 16: 6 S.

Anhang D – Beurteilung der Gewässerabschnitte und Festlegung der Ziele

1 Deckblatt

Hauptziele des Deckblatts sind:

1. Zusammenstellung der vorhandenen Daten des Modulstufenkonzepts (MSK) pro Gewässerabschnitt für einen Überblick über den Gesamtzustand.
2. Identifikation von bereits umgesetzten, geplanten oder vorgesehenen Gewässerschutzmassnahmen.
3. Identifikation des Koordinationsbedarfs mit anderen Gewässerschutzmassnahmen.

Abb. D1

Beispiel eines ausgefüllten Deckblatts für einen Gewässerabschnitt.

Gewässername:	**Aa**
Gewässerabschnitt:	**Rückgabe KW bis Kieswerk.** Km (Gewiss): 1.2 bis 5.4
Morphologie:	**Begradigt mit altenernierenden Kiesbänken**

Beurteilung Modulstufenkonzept (MSK)	**Vorhanden**		**Beurteilung (Zustandsklasse)**					**Noch aktuell?**	
	Nein	Ja	1	2	3	4	5	Nein	Ja
Ökomorphologie F	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐
Hydrologie F	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒
Hydrologie F (Schwall-Sunk spezifischer Teil)	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☒
Äusserer Aspekt F	☐	☒	☐	☒	☐	☐	☐	☒	☐
Makrozoobenthos F	☐	☒	☐	☐	☐	☐	☒	☒	☐
Fische F	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☒	☐
Kieselalgen F	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Chemie F	☐	☒	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☒
... evtl. weitere	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Aktueller Stand: www.modul-stufen-konzept.ch/fg/module/index

Kantonale strategische Planungen	**Vorhanden**		**Massnahmen umgesetzt**		**Koordinationsbedarf**		
	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Unsicher
Revitaliserung Fliessgewässser	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒
Fischwanderung	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐
Schwall-Sunk	☐	☒	☒	☐	☒	☐	☐
Geschiebehaushalt	☐	☒	☒	☐	☐	☐	☒

			Koordinationsbedarf		
Weitere Vorhaben	Nein	Ja	Nein	Ja	Unsicher
Restwassersanierung, Art. 80 GSchG umgesetzt?	☒	☐	☐	☒	☐
Hochwasserschutzmassnahme(n) geplant oder vorgesehen?	☒	☐	☒	☐	☐
Revitalisierungs- oder Kombiprojekt(e) geplant oder vorgesehen?	☒	☐	☒	☐	☐
Neue Kraftwerksanlage(n) geplant oder vorgesehen?	☐	☒	☐	☐	☒
... evtl. weitere	☐	☐	☐	☐	☐

Bemerkungen:

2 Hilfstabelle (3 Teile)

Die Hilfstabelle zur Beurteilung der Gewässerabschnitte und zur Festlegung der Ziele ist in drei Teile unterteilt: (i) Defizitanalyse und Festlegung der Indikatoren, (ii) Neubewertung und Ursachenanalyse, (iii) Festlegung der Ziele und des hydrologischen Anforderungsprofils. Hauptziele der Hilfstabelle sind:

1. Defizitanalyse anhand der Indikatorenbewertung.
2. Zuordnungen der Ursachen, insbesondere die Schwall-Sunk bedingten.
3. Bestimmung der für die Defizite relevanten hydrologischen Kenngrössen der Schwall-Sunk Abflussganglinie.
4. Festlegung der Ziele (= Zustandsklassen für Zielzustand), der Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen und des daraus resultierenden hydrologischen Anforderungsprofils.

2.1 Teil I – Defizitanalyse und Festlegung der Indikatoren (vgl. Kap. 3.2)

Auf Basis der Daten der strategischen Schlussplanung Schwall-Sunk erfolgt eine erste Beurteilung der Defizite im Gewässer. Ist diese vollständig und aussagekräftig um die Ursachen zu bestimmen, erfolgt die Ursachenanalyse und die Festlegung der Ziele direkt (vgl. Abb. 6 Kap. 3.1). Ist dies nicht der Fall, wird ein Untersuchungsprogramm anhand der Indikatoren des vorliegenden Moduls «Schwall-Sunk – Massnahmen» erstellt. Kriterien für die Wahl der Indikatoren sind:

1. Kernindikatoren, die in der strategischen Planung nicht erhoben oder bewertet wurden.
2. Kernindikatoren, die in direktem Zusammenhang mit einem gesicherten Schwall-Sunk Defizit stehen.
3. Kernindikatoren, die in direktem Zusammenhang mit einem unsicheren/potenziellen Defizit stehen.
4. Weitere Indikatoren, die in direktem Zusammenhang mit einem unsicheren Defizit und zur Beseitigung von Unsicherheiten (Prozessverständnis) stehen.

Abb. D2

Hilfstabelle Teil I: Beispiel einer Defizitanalyse mit Daten aus der strategische Schlussplanung Schwall-Sunk.

Gewässername: **Aa**
Gewässerabschnitt: **Rückgabe KW bis Kieswerk.**
Km (Gewiss): 1.2 bis 5.4
Morphologie: **Begradigt mit altenernierenden Kiesbänken**

Defizitanalyse auf Basis der Daten der strategischen Schlussplanung & Festlegung Indikatoren aus Modul «Schwall-Sunk – Massnahmen» (vgl. Kap. 3.2)

	MSK-Modul Fische	Stranden von Fischen	Laichareale der Fische	Reproduktion der Fischfauna	Fischereiliche Produktivität	Biomasse Makrozoobenthos	MSK-Modul Makrozoobenthos	Längenzonation Makrozoobenthos	EPT-Familien Makrozoobenthos	Innere Kolmation	Mindestabfluss	Wassertemperatur	Bezug der Indikatorbewertung zu den (potenziellen) Defiziten. Ist das Defizit festzustellen?			Untersuchungsprogramm (neu zu erhebende oder falls vorhanden neu zu bewertende Indikatoren)	
	Bewertung Indikatoren gemäss Modul «Sanierung Schwall-Sunk – Strategische Planung»																
	F1	F2	F3	F4	F5	B1	B2	B3	B4	H1	A1	Q1	Ja	Nein	Unsicher?	Welche Kernindikatoren gemäss Modul «Schwall-Sunk – Massnahmen» liefern gesicherte Zusammenhänge zu den festgestellten Defiziten?	Weitere Indikatoren zur Beseitigung von Unsicherheiten (Prozessverständniss)
Potenzielle Defizite im Gewässerabschnitt	Untenstehende Zeilen sind gemäss Zustand und Wertefunktion mit 5 Klassen einzufärben (A1 nur 2 Zustandsklassen, F2 nur 3 Zustandsklassen)																
Biotische Defizite																	
Gestörte Populationsstruktur der Fische (Alters- und Dominanzstrukturen)	x		◦										P				
Zu geringe Fischbiomasse	x	◦	◦	◦	x	◦				◦		◦	P				
Fehlende Fischarten (Diversität)	x												P				
Ungenügende Jungfischdichte	x	◦	◦	x						◦			P			F6	
Stranden über kritischem Mass für Fische		x										◦			?	F2*	
Fischlaich kann sich nicht entwickeln	◦		x	◦						◦	◦		P			F3*	
Drift über kritischem Mass für Benthos						◦	◦		◦			◦			?		D1
Zu geringe Benthosbiomasse					◦	x	◦			◦	◦	◦	P				D1
Reduktion Diversität Benthos							◦	◦	◦					x			B1*
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Morphologie und Habitate																	
Habitatdefizite Fische (Laichplätze, Unterstände, Uferlebensräume, Hochwasserrefugien)			◦	◦						◦	◦				?	F6	
Habitatdefizite MZB bei Winter- und Frühjahrsabfluss (Gewässersohle, Uferlebensräume)						◦	◦		◦	◦	◦				?	B5	
Innere Kolmation						◦	◦			◦					?		H1*
Äussere Kolmation						◦	◦			◦					?		H2
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Geschiebe																	
Fehlendes Substrat und Korngrössen (Verlaichung)			x	◦						◦	◦		P			F3*	
Instabile Sohle während Laichentwicklung			x	◦									P			F3*	
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Wasserqualität																	
Trübung nicht entsprechend Jahreszeit oder übermässig				◦		◦	◦	◦	◦	◦					?		H1*
Temperaturschwankungen nicht entsprechend Jahreszeit oder übermässig				◦		◦	◦					x	P			Q1*	
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Wasserführung																	
Unzureichende Habitatüberströmung bei Sunk	◦		◦	◦		◦	◦		◦		◦	◦			?	B5, F6	
Fehlende Hochwasserdynamik (z.B. nach HydMod)			◦	◦		◦	◦		◦	◦					?		H1*
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	

Legende der Zusammenhänge Indikatoren zu Defiziten
x Indikator mit gesichertem Zusammenhang mit Defizit
◦ Indikator liefert Hinweis auf ein potenzielles Defizit
Diese Vorschläge sind durch Fachexperten zu prüfen und können, wenn nachvollziehbar begründet, angepasst werden.

Legende zu den Zustandsklassen

Zustand	Zustandsklasse
sehr gut	1
gut	2
mässig	3
unbefriedigend	4
schlecht	5

Untersuchungsprogramm
Neu zu erhebende bzw. zu bewertende Kernindikatoren:
F2*, F3*, F6, B5, Q1*, A2
Weitere Indikatoren (Prozessverständnis):
B1*, D1, H1*, H2

Kriterien zur Bestimmung eines Defizits

Zustandsklasse	Zusammenhang Indikator - Defizit	Defizit festellbar?
1 oder 2	Gesichert (x) oder Hinweis (◦)	**Nein (x)**
3, 4 oder 5	Hinweis (◦)	**Unsicher (?)**
3, 4 oder 5	Gesichert (x)	**Ja (P)**

2.2 Teil II – Neubewertung und Ursachenanalyse (vgl. Kap. 3.2 & 3.3)

Anhand der Neuerhebung oder Neubewertung der Zustandsklassen der Indikatoren gemäss dem vorliegendem Modul «Schwall-Sunk – Massnahmen» können die Defizite abschliessend beurteilt werden und der Bezug zwischen den Defiziten des Fliessgewässers und den Ursachen hergestellt werden. Die massgebenden Kernindikatoren werden festgelegt und die Ursachen festgehalten.

Abb. D3

Hilfstabelle Teil II: Beispiel einer ergänzende Defizitanalyse mit Neuerhebungen und Neubewertungen sowie Ursachenanalyse.

Gewässername: **Aa**
Gewässerabschnitt: **Rückgabe KW bis Kieswerk.** Km (Gewiss): 1.2 bis 5.4
Morphologie: **Begradigt mit altenernierenden Kiesbänken**

Defizitanalyse auf Basis der Neuerhebungen und Neubewertungen (vgl. Kap. 3.2)

Potenzielle Defizite im Gewässerabschnitt	Hydrologische Kenngrössen	Stranden von Fischen	Laichareale der Fische	Habitateignung Fische	Habitateignung Makrozoobenthos	Wassertemperatur	Jungfischvorkommen	Biomasse & Diversität Makrozoobenthos	Längenzonation Makrozoobenthos	EPT-Familien Makrozoobenthos	Drift	MSK-Modul Fische	MSK-Modul Makrozoobenthos	Innere Kolmation	Äussere Kolmation	Ist ein Defizit festzustellen? Ja	Nein
	Untenstehende Zeilen sind gemäss Zustand und Wertefunktion mit 5 Klassen einzufärben																
	Bewertung Indikatoren gemäss Modul «Schwall-Sunk – Massnahmen»																
	A2	F2*	F3*	F6	B5	Q1*	F4*	B1*	B3	B4	D1	F1*	B2*	H1*	H2		
Biotische Defizite																	
Gestörte Populationsstruktur der Fische (Alters- und Dominanzstrukturen)	◦		◦	◦								x				P	
Zu geringe Fischbiomasse	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦			◦	x		◦		P	
Fehlende Fischarten (Diversität)	◦			◦			◦					x				P	
Ungenügende Jungfischdichte	◦	◦	◦	x			x				◦	x		◦		P	
Stranden über kritischem Mass für Fische	◦	x				◦	◦				◦					P	
Fischlaich kann sich nicht entwickeln	◦		x	◦			x					◦		◦	◦	P	
Drift über kritischem Mass für Benthos	◦				◦	◦		◦		◦	x		◦	◦		P	
Zu geringe Benthosbiomasse	◦				◦	◦		x			x		◦	◦		P	
Reduktion Diversität Benthos	◦							x	◦	◦	◦		◦			P	
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Morphologie und Habitate																	
Habitatdefizite Fische (Laichplätze, Unterstände, Uferlebensräume, Hochwasserrefugien)	◦		◦	x			◦							◦	◦	P	
Habitatdefizite MZB bei Winter- und Frühjahrsabfluss	◦				x			◦		◦	◦		◦	◦	◦	P	
Innere Kolmation	◦						◦	◦			◦		◦	x	◦		x
Äussere Kolmation	◦				◦		◦	◦					◦	◦	x		x
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Geschiebe																	
Fehlendes Substrat und Korngrössen (Verlaichung)	◦		x	◦	◦		◦							◦	◦	P	
Instabile Sohle während Laichentwicklung	◦		x				◦									P	
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Wasserqualität																	
Trübung nicht entsprechend Jahreszeit oder übermässig	◦						◦	◦	◦	◦	◦		◦	◦	◦		x
Temperaturschwankungen nicht entsprechend Jahreszeit oder übermässig	◦					x	◦	◦					◦			P	
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	
Defizite Wasserführung																	
Unzureichende Habitatüberströmung bei Sunk	◦		◦	x	x	◦	◦	◦		◦	◦	◦	◦			P	
Fehlende Hochwasserdynamik (z.B. nach HydMod)	◦		◦	◦	◦		◦	◦		◦			◦	x	◦		x
... evtl. weitere gemäss Fachexperte																	

Ursachenanalyse (vgl. Kap. 3.3)

Potenzielle Defizite im Gewässerabschnitt	Das Defizit ist ganz oder teilweise auf Schwall-Sunk zurückzuführen: Ja	Nein	Massgebender Kernindikator	Schwall-Sunk bezogene Ursachen (massgebende hydrologische Kenngrössen)	Nicht Schwall-Sunk bezogene Ursachen (Morphologie, Wasserqualität)
Biotische Defizite					
Gestörte Populationsstruktur der Fische (Alters- und Dominanzstrukturen)	P				
Zu geringe Fischbiomasse	P				
Fehlende Fischarten (Diversität)		x			Morphologie: Strukturvielfalt
Ungenügende Jungfischdichte	P		F6	Schwall- & Sunkabfluss	Morphologie: Uferstrukturen
Stranden über kritischem Mass für Fische	P		F2*	Pegelrückgangsrate	
Fischlaich kann sich nicht entwickeln	P		F3*	Schwall- & Sunkabfluss, Pegelanstiegsrate	Wasserqualität: Baustellen, Schneeräumung
Drift über kritischem Mass für Benthos	P		D1/A2	Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate	Morphologie: Strukturvielfalt
Zu geringe Benthosbiomasse	P		D1/A2	Schwall- & Sunkabfluss, Pegelanstiegsrate	Morphologie: Strukturvielfalt
Reduktion Diversität Benthos	P		D1/A2	Schwall- & Sunkabfluss	Morphologie: Strukturvielfalt; Wasserqualität:
... evtl. weitere gemäss Fachexperte					
Defizite Morphologie und Habitate					
Habitatdefizite Fische (Laichplätze, Unterstände, Uferlebensräume, Hochwasserrefugien)	P		F6	Schwall- & Sunkabfluss	Morphologie: Strukturvielfalt
Habitatdefizite MZB bei Winter- und Frühjahrsabfluss	P		B5	Schwall- & Sunkabfluss	Morphologie: Strukturvielfalt
Innere Kolmation					
Äussere Kolmation					
... evtl. weitere gemäss Fachexperte					
Defizite Geschiebe					
Fehlendes Substrat und Korngrössen (Verlaichung)	P		F3*	Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate	Morphologie: fehlendes oder ungeeignetes Substrat
Instabile Sohle während Laichentwicklung	P		F3*	Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate	Morphologie: fehlendes oder ungeeignetes Substrat
... evtl. weitere gemäss Fachexperte					
Defizite Wasserqualität					
Trübung nicht entsprechend Jahreszeit oder übermässig					
Temperaturschwankungen nicht entsprechend Jahreszeit oder übermässig	P		Q1*	Pegelanstiegsrate & -rückgangsrate	
... evtl. weitere gemäss Fachexperte					
Defizite Wasserführung					
Unzureichende Habitatüberströmung bei Sunk	P		B5, F6	Sunkabfluss	Morphologie:
Fehlende Hochwasserdynamik (z.B. nach HydMod)					
... evtl. weitere gemäss Fachexperte					

Legende der Zusammenhänge Indikatoren zu Defiziten

x Indikator mit gesichertem Zusammenhang mit Defizit
◦ Indikator liefert Hinweis auf ein potenzielles Defizit
Diese Vorschläge sind durch Fachexperten zu prüfen und können, wenn nachvollziehbar begründet angepasst werden.

Legende zu den Indikatoren «Massnahmen»

- Kernindikatoren
- Schwall-Sunk sensible Indikatoren
- Breitbandindikatoren
- Zusatzindikatoren
- X* Indikator überarbeitet
- X Neuer Indikator

Legende zu den Zustandsklassen

Zustand	Zustandsklasse
sehr gut	1
gut	2
mässig	3
unbefriedigend	4
schlecht	5

Kriterien zur Bestimmung eines Defizits

Zustandsklasse	Zusammenhang Indikator - Defizit	Defizit festellbar?
1 oder 2	Gesichert (x) oder Hinweis (◦)	**Nein (x)**
3, 4 oder 5	Hinweis (◦)	**Nein (x)**
3, 4 oder 5	Gesichert (x)	**Ja (P)**
Wenn gemäss Hilfstabelle Teil 1 ein gesichertes (x) Defizit festgestellt wurde (d.h. mit vorherigen Indikatoren)		**Ja (P)**

2.3 Teil III – Festlegung der Ziele und des hydrologischen Anforderungsprofils (vgl. Kap. 3.4)

In diesem Teil werden die Ziele für die einzelnen Kernindikatoren anhand der Zustandsklassen für den Zielzustand definiert sowie die dafür erforderlichen Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen festgelegt. Gestützt auf diese Zielwerte und dem daraus resultierenden hydrologischen Anforderungsprofil können dann die Massnahmen zur Erreichung der künftigen Abflussganglinie erarbeitet werden.

Abb. D4

Hilfstabelle Teil III: Beispiel zur Festlegung der Ziele (= Zustandsklassen für Zielzustand), der Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen und des daraus resultierenden hydrologischen Anforderungsprofils.

Gewässername: **Aa**	
Gewässerabschnitt: **Rückgabe KW bis Kieswerk.**	
Km (Gewiss): 1.2 bis 5.4	
Morphologie: **Begradigt mit altenernierenden Kiesbänken**	

Festlegung der Ziele und des hydrologischen Anforderungsprofils (vgl. Kap. 3.4)

					Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen								Massgebende Periode zur Festlegung der saisonalen Unterschiede (Monat)													
					Sunkabfluss		Schwallabfluss		Pegelanstiegsrate		Pegelrückgangsrate															
Kern-indikator	**Hauptdefizite**	**IST-Zustand (Zustands-klasse)**	**Ziel-Zustand (Zustands-klasse)**	**Leitart, Entwicklungs-stadium**	Sunkabfluss	Quantil	Schwall-abfluss	Quantil	Pegel-anstiegsrate	Quantil	Pegel-rückgangsrate	Quantil	Jan.	Feb.	Mär.	Apr.	Mai	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	**Massgebender Abflussbereich**	**Bemerkungen**
F2*	Stranden	3 (mässig)	2 (gut)	Bachforelle, Larval							≤ 0.2 cm/min	95%													12 bis 4 m^3/s	Gültig für Tageslicht
F2*	Stranden	3 (mässig)	2 (gut)	Bachforelle, Juvenil							< 3 cm/min	95%													12 bis 4 m^3/s	
F3*	Trockenfallen Stabilität	5	2 (gut)	Bachforelle	≥ 4 m^3/s	95%	≤ 15 m^3/s	95%	≤ 1.5 cm/min	95%															4 bis 10 m^3/s	Korngrösse 2-8 cm
F6	Jungfischdichte Habitatdefizite	4 (unbefriedigend)	2 (gut)	Bachforelle, Juvenil	≥ 6.5 m^3/s	60%	≤ 20 m^3/s	60%																		Empfindlich April und Mai
F6	Habitatdefizite	4 (unbefriedigend)	2 (gut)	Bachforelle, Adult	≥ 5 m^3/s	60%	≤ 30 m^3/s	60%																		
B5	Habitatdefizite Winter	4 (unbefriedigend)	2 (gut)	Taxa 1	≥ 5 m^3/s	60%	≤ 18 m^3/s	60%																		
B5	Habitatdefizite Frühjahr	5 (schlecht)	2 (gut)	Taxa 2	≥ 6 m^3/s	60%	≤ 22 m^3/s	60%																		
D1/A2	Benthosdrift Benthosbiomasse	3 (mässig)	2 (gut)	Diverse Gruppen			≤ 25 m^3/s	60%	≤ 1 cm/min	60%															4 bis 10 m^3/s	Gemäss D1, Allgemeine Reduktion
D1/A2	Benthosdrift Benthosbiomasse	3 (mässig)	2 (gut)	Diverse Gruppen			≤ 35 m^3/s	95%	≤ 2 cm/min	95%															4 bis 10 m^3/s	Gemäss D1, Verhinderung Katastrophendrift
Q1*	Temperatur-schwankung Sommer	5 (schlecht)	3 (mässig)	-					≤ 1 m^3/s/min	90%	≤ 1 m^3/s/min	90%													6 bis 16 m^3/s 16 bis 6 m^3/s	Thermopeaking
		Hydrologische Kenngrössen IST-Zusand			4 m^3/s 3 m^3/s	60% 95%	22 m^3/s 36 m^3/s	60% 95%	1.5 cm/min 2.5 cm/min	60% 95%	0.35 cm/min	95%														
		Hydrologisches Anforderungsprofil für künftige Abflussganglinie		**Anforderungs-profil 1**	≥ 5 m^3/s ≥ 4 m^3/s	60% 95%	≤ 15 m^3/s	95%	≤ 1 cm/min ≤ 1.5 cm/min	60% 95%																
				Anforderungs-profil 2	≥ 6.5 m^3/s	60%	≤ 20 m^3/s ≤ 35 m^3/s	60% 95%	≤ 1 cm/min ≤ 2 cm/min ≤ 1 m^3/s/min	60% 95% 90%	< 3 cm/min ≤ 1 m^3/s/min	95% 90%														
				Anforderungs-profil 3							≤ 0.2 cm/min	95%														

Anhang E – Mögliche Massnahmen, Steuerung von Massnahmen und Bestimmung von Abflussganglinien

1 Mögliche Massnahmen

Eine Reduktion der gewässerökologischen Auswirkungen von Schwall-Sunk kann grundsätzlich mit baulichen oder betrieblichen Massnahmen erreicht werden. Die Massnahmen zielen in erster Linie darauf ab, das turbinierte Wasser nicht mehr oder gedämpft ins Gewässer zurückzuführen und in zweiter Linie, allenfalls mit punktuellen morphologischen Massnahmen die Auswirkungen von Schwall-Sunk im Gewässer zu mindern.

Die rechtlichen Vorgaben (Art. 39a Abs. 1 GSchG) sehen primär bauliche Massnahmen vor. Dies ermöglicht die Auswirkungen auf eine flexible Stromproduktion möglichst gering zu halten. Betriebliche Massnahmen können nur auf Antrag des Inhabers des Wasserkraftwerkes von der Behörde angeordnet werden. Trotzdem kann eine Kombination von baulichen mit betrieblichen Massnahmen in bestimmten Fällen sinnvoll, zielführend und verhältnismässig sein. Es wird deshalb empfohlen, diese im Sanierungsvorhaben mitzuberücksichtigen.

Bei der Sanierung bestehender Anlagen werden die Inhaber von Wasserkraftwerken für die notwendigen baulichen wie betrieblichen Massnahmen von der nationalen Netzgesellschaft (Swissgrid) entschädigt. Einzelheiten sind im Modul «Finanzierung» (BAFU 2016) geregelt.

1.1 Bauliche Massnahmen

Typen baulicher Massnahmen
Mögliche bauliche Massnahmen wurden schon verschiedentlich zusammengestellt (z. B. Baumann et al. 2012, Bruder 2012, Bruder et al. 2012). Die Tabelle E1 fasst diverse Auflistungen zusammen.

Bauliche Massnahmen zur Verhinderung oder Dämpfung des Schwalls:

Massnahmen, die darauf abzielen, den Schwall nicht mehr, gedämpft oder woanders in dasselbe respektive in ein anderes Gewässer abzugeben. Diese baulichen Massnahmen bezwecken eine direkte Änderung der Abflussganglinien in der Schwall-Sunk Strecke. Widmann (2008) zeigt beispielhaft verschiedene schematische Anordnungen und Betriebsführungen von Zwischenspeichern bei einer Schwalldämpfung mittels Rückhaltevolumen, insbesondere die Möglichkeit von hoch- und tiefgelegenen Zwischenspeichern mit Pumpen bei engen Platzverhältnissen.

Ergänzende Massnahmen:

Massnahmen, die durch lokale, kleinräumige morphologische Anpassungen im Gerinne selbst («Instream») die ökologischen Auswirkungen von Schwall-Sunk im Gewässer mindern können, ohne jedoch die Gewässermorphologie grossräumig zu verändern. Diese baulich-morphologischen Massnahmen bezwecken keine direkte Änderung der Abflussganglinien ab Zentrale. Beispiele dafür sind Fischnischen/-buchten (Ribi et al. 2011), Struktureinbauten, Buhnen, «Instream River Training» Massnahmen und grosse Störsteine (Werdenberg et al. 2012, Schneider & Speerli 2014) zur Schaffung von strukturierten Gewässerbereichen mit geringer Fliessgeschwindigkeit und Abflusstiefe unter Schwallbedingungen. Günstige Strukturen für die Schaffung von geeigneten Jungfischhabitate (v. a. bei Schwall- und Sunkabfluss) sind z. B.: (i) ständig angebundene/permanent benetzte Seitenarme mit hydraulisch stabilen Bedingungen und engem Ein- und Auslauf, (ii) ständig angebundene/permanent benetzte Ruhebuchten mit vom Ufer her kontinuierlich fallender Sohle, (iii) relative steile Ufer, die eine erhöhte Heterogenität mit Schutzstrukturen aufweisen. Dabei ist die Lage

dieser Strukturen im Gewässer in Verbindung mit deren Morphologie entscheidend und wenn möglich sind solche Massnahmen in grossem Massstab zu bevorzugen (z. B. grosse Buchthabitate). Insgesamt sind die Hochwasserdynamik und der übergeordnete Feststoffaushalt entscheidend für die Planung und Nachhaltigkeit oben genannter morphologische Massnahmen, deren eigendynamische Entwicklung gegenüber künstlichen Strukturen zu bevorzugen ist. Dabei gilt es auch sicherzustellen, dass diese Massnahmen nicht zu einem Falleneffekt, v. a. für Jungfische, bei Pegelrückgang führen.

Grossräumige morphologische Anpassungen im Sinne der strategischen Planung «Revitalisierung Fliessgewässer» (Göggel 2012) sind keine Schwall-Sunk Massnahmen, fliessen aber gegebenenfalls als vorgesehener morphologischer Zustand in die Festlegung der Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen des Schwall-Sunk ein. Ebenfalls zu berücksichtigen ist, dass im Fall von grossräumigen morphologischen Anpassung des Gewässers eine Dämpfung der Abflussganglinien durch fliessende Retention auftreten kann, welche sich mit zunehmender Fliessstrecke verstärkt (Stranner 1996, Meile et al. 2008; vgl. Anhang F). Die dämpfende Wirkung morphologischer Massnahmen auf die Abflussganglinie durch flie-

Tab. E1

Nicht abschliessende Liste baulicher Massnahmen.

Innerhalb dieser Massnahmentypen sind unterschiedliche Ausgestaltungen möglich. Diese Auflistung soll die Kreativität der Massnahmenerarbeitung nicht behindern. Es wird auch auf weitere potentielle ökologische Beeinträchtigungen und Konflikte hingewiesen.

		Pumpspeicherung	Schwall-Ausleitkraftwerk, KW-Stufe	Hochwasserschutz	Naherholung	Revitalisierung, Kombiprojekt	Bewässerung	... evtl. weitere	Spülungen Sedimente	Pegeländerung Staukurve	Ökologie Empfänger****	Wanderhindernis	Verlängerung Restwasserstrecke	Geschiebetransport	... evtl. weitere	Talfluss (starker S/S)	Talfluss (geringer S/S)	Seitenfluss Hauptta l	Fliessgewässer Seitental
	Bauliche Massnahme	**Potentieller Zusatznutzen**							**Potentielle ökologische Beeinträchtigungen**							**Eignung geographisch**			
Auf gewässerökologische Abflussganglinie zielend	Rückhaltebecken	✓					✓		!							✓	✕	✕	✓
	Rückhaltekaverne	○					○		!							✕	✓	✕	✓
	Multifunktionsbecken*	○	✓	✓	✓		✓		!	!		!		!		✓	○	✕	✕
	Ableitung in See **	✓	✓	○							!		!	!		✕	✕	○	○
	Ableitung in grösseres Gewässer **		✓	○							!		!	!		✕	✕	○	○
Auf verminderte Auswirkungen im Gewässer zielend	Permanent dotierte Parallelgerinne			○	○	○										✓	○	○	○
	IRT-Massnahmen ***					○										✓	✓	✓	✓
	Störsteine, Strukturen, Substratfang					○										✕	✓	✓	✓
	Fischnischen					○										○	○	○	○
	... evtl. weitere																		
	* Z. B. zur Schwalldämpfung eingesetztes Laufwasserkraftwerk (vgl. Konzept SYNERGIE, Heller & Schleiss 2008) ** In einem Stollen oder Kanal *** Instream River Training (Werdenberg et al. 2012)	✓ Möglich ○ Prüfenswert							! Als Rahmenbedingung beachten **** Die Ökologie des Still- oder Fliessgewässers in welches der Schwall abgeleitet wird							✓ Möglich ○ Prüfenswert ✕ Ungeeignet			

ssende Retention beschränkt sich jedoch hauptsächlich auf die Abfluss- respektive Pegeländerungsraten sowie auf kurze Schwallimpulse mit wenig Volumen (Hauer et al. 2013).

Kombination von schwalldämpfenden mit morphologischen Massnahmen
Je nach Situation kann es sinnvoll sein, bauliche Massnahmen morphologischer Natur mit baulichen Massnahmen zur gezielten Rückgabe der turbinierten Wassermenge zu kombinieren. Dies zeigen z. B. die detaillierten Studien am Alpenrhein deutlich und quantitativ auf (ezb et al. 2012). Diverse weitere Studien weisen auf die notwendige morphologische Aufwertung, kombiniert mit Verbesserungen des Abflussregimes hin [AquaPlus 2013, Baumann et al. 2012, Schweizer et al. 2013 (1) – (4)].

Verhinderung der Schaffung neuer Beeinträchtigungen
Durch die Entwicklung von baulichen Massnahmen ist zu berücksichtigen, dass diese keine neue bzw. zusätzliche wesentliche Beeinträchtigung z. B. gemäss Tabelle E1 schaffen (Auswirkungen auf Seeökologie im Bereich der Einleitung, neue Wanderhindernisse für Fische, Störung des Geschiebetransports, Verlängerung der Restwasserstrecke, usw.). Solche Beeinträchtigungen sowie potentielle Konflikte und Beeinträchtigungen von schützenswerten Lebensräumen und Landschaften (z. B. BLN-Gebiete, Auen- und Moorgebiete) sind bei der Wahl der geeignetsten Massnahme (Kap. 4.3) zu berücksichtigen. Ebenfalls zu berücksichtigen sind allfällige nachteilige Auswirkungen betreffend Hochwasserschutz und Geschiebetransport.

1.2 Betriebliche Massnahmen

Aus gewässerökologischer Sicht können betriebliche Massnahmen die gleiche Wirkung erzielen wie bauliche Massnahmen zur gedämpften Einleitung der turbinierten Wassermengen. Mögliche betriebliche Massnahmen sind: (i) Anhebung des Sunkabflusses, (ii) Senkung des Schwallabflusses, (iii) Verlangsamung der Pegeländerungsraten, (iv) Reduktion der Anzahl Schwälle, (v) Erzeugung eines Vorschwalles und (vi) antizyklische Turbinieren hintereinander liegender Kraftwerksanlagen.

Technische Rahmenbedingungen für betriebliche Massnahmen
Als Rahmenbedingung für betriebliche Massnahmen sind die technischen Kraftwerkskomponenten massgebend. Betriebliche Massnahmen kommen in Betracht, wenn die elektromechanischen Komponenten des Kraftwerks ein langsames bzw. stufenweises An-/Zurückfahren der Turbinen erlaubt und/oder eine Anhebung des Sunk oder Senkung des Schwalls zulässt. Dies hängt von Typ, Anzahl und Ausbauwassermengen der installierten Turbinen ab.

Sollten diese Rahmenbedingungen nicht gegeben sein, könnten als Voraussetzung für die Umsetzung betrieblicher Massnahmen vorgängig technische Massnahmen realisiert werden, beispielsweise die Installation einer Dotierturbine oder die Erneuerung einzelner Kraftwerkskomponenten.

Betriebliche Massnahmen in Einzelfällen möglich und sinnvoll
Betriebliche Massnahmen können in Einzelfällen sinnvoll sein, z. B.: (i) bei geringem Energiekoeffizient (kWh/m^3) einer Kraftwerksanlage, (ii) in Abhängigkeit des Anlageparks und der Produktion (Grundlast, Spitzenlast, Systemdienstleistung) des Kraftwerksinhabers, (iii) in Abhängigkeit der Zusammenarbeit verschiedener Kraftwerksinhaber, (iv) bei offensichtlich unzureichenden Platzverhältnissen für bauliche Massnahmen.

2 Steuerung von Massnahmen

Die Steuerung von Massnahmen (z. B. Ausflussorgan eines Rückhaltebeckens) zielt direkt auf die Änderung der Abflussganglinien in der Schwall-Sunk Strecke hin.

Grundsätze für die Steuerung der Massnahmen
Die Steuerung der Massnahmen berücksichtigt folgende vier Grundsätze:

1. Sie orientiert sich an den Defiziten und den Schwall-Sunk bedingten Ursachen, indem die entsprechenden hydrologischen Kenngrössen der Schwall-Sunk Abflussganglinie verändert werden.
2. Sie ist gewässerspezifisch, d. h. die Steuerung erfolgt nicht anhand fixer Schwall-Sunk Verhältnisse,

sondern sie richtet sich nach den gewässerspezifisch festgelegten Zielen und Zielwerten der hydrologischen Kenngrössen (Kap. 3.4 & Anhang D).

3. Sie richtet sich nach den ökologischen Anforderungen der biotischen Indikatoren im Jahresverlauf (saisonale Steuerung je nach Leitart und Entwicklungsstadium), indem die Massnahme während der verschiedenen Jahreszeiten bei Bedarf unterschiedlich gesteuert wird.
4. Die Steuerung der Massnahmen erfolgt so, dass das hydrologische Anforderungsprofil gemäss Anhang D bestmöglich angenähert wird.

Bewirtschaftung von Speichervolumen

Die Möglichkeiten der Bewirtschaftung von Speichervolumen, z. B. eines Beckens, sind vielfältig, was einerseits eine fallspezifische Art und Weise der Steuerung ermöglicht, jedoch den Grad der Komplexität der Steuerung erhöht.

Als Steuerparameter zur Füllung des Speichervolumens eignen sich grundsätzlich der Abflussanstieg, der Schwallabfluss aber auch der Abflussrückgang (Abb. E1, links). Steuerparameter zur Entleerung des Speichervolumens sind der Abflussrückgang, der Sunkabfluss aber auch der Abflussanstieg (Abb. E1, rechts).

Für die Steuerung besonders interessant sind die Phasen des Abflussanstiegs und des Abflussrückgangs, da diese sowohl für die Füllung als auch Entleerung des Speichervolumens verwendet werden können. Unter Berücksichtigung der Beschränkung der minimalen und maximalen Wasserstände im Speicher und der Kontinuitätsgleichung können die Steuerungsansätze gemäss Abbildung E1 kombiniert und optimiert werden.

Vorschwall

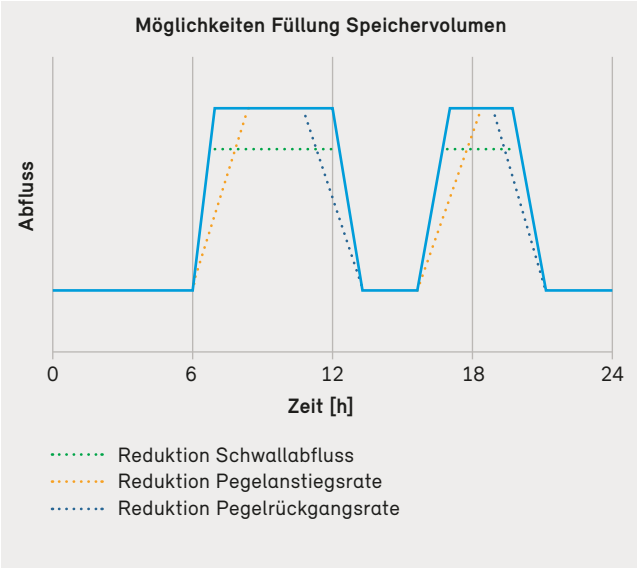
Die Entleerung eines Speichervolumens kann auch im Rahmen eines Vorschwalls erfolgen (Abb. E1, rechts). Der Vorschwall ist ein Spezialfall der Entleerung während der Phase des Abflussanstiegs. Ein Vorschwall kann sinnvoll sein, um Makrozoobenthos und Fischen die Möglichkeit zu geben, sich in strömungsgeschütztere Zonen im Substrat oder in Gewässerstrukturen zurückzuziehen sowie die hydraulische Belastung der Gewässersohle beim Pegelanstieg zu reduzieren. Die Dimensionierung eines geeigneten Vorschwalls erfolgt i. d. R. durch Driftversuche (Indikator D1 Anhang C).

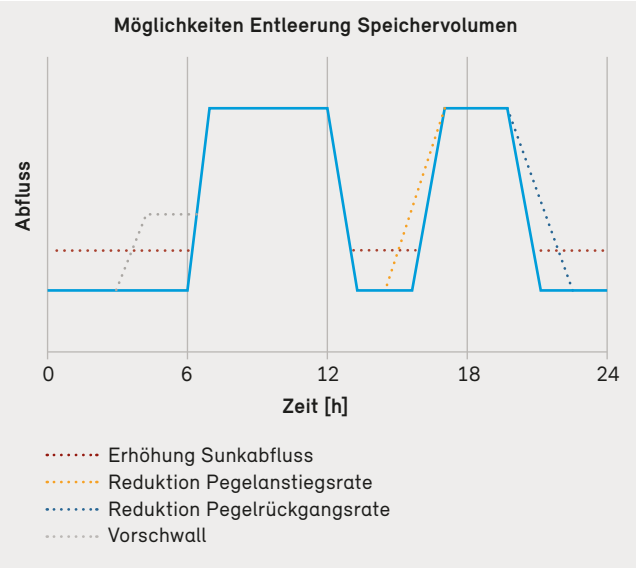
Berücksichtigung der Morphologie

Die Steuerung der Massnahmen berücksichtigt die Morphologie der betroffenen Gewässerabschnitte, da die Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen gewässer-

Abb. E1

Möglichkeiten zur Füllung und Entleerung eines Speichervolumens.





spezifisch festgelegt werden. Zusätzlich können folgende Besonderheiten berücksichtigt werden:

- Schwellenwerte in der Beziehung Abflusstiefe – benetzte Breite bzw. Fläche der repräsentativen Gewässerabschnitte (Schweizer et al. 2013 (1)-(4), Hauer et al. 2014).
- Schwellenwerte zur Verhinderung der Abtrennung wertvoller Habitate, Nebengewässer, Seitenarme, usw.

Beispiel: Das Volumen eines Rückhaltebeckens kann gezielt auf den Bereich des Abflussrückgangs ausgelegt werden, welcher auf Grund der Gerinnegeometrie für das Stranden massgebend ist.

Saisonale Optimierung
Je nach beobachteten Defiziten und Ursachen sowie der festgelegten Zielwerte ist die Steuerung von Massnahmen saisonal zu optimieren. Dies kann beispielsweise unter Berücksichtigung folgender Aspekte erfolgen:

- Relevante Prozesse (Laichbedingungen, Trockenfallen und Stabilität Laichgruben, Drift und Stranden Makrozoobenthos und Fische).
- Vorherrschende Abflüsse aus dem Einzugsgebiet (Zufluss).
- Nutzung Speichervolumen zu weiteren Zwecken (z. B. Bewässerung, Pumpspeicherung, usw.).

Tabelle E2 zeigt einige wichtige Prozesse der Beeinträchtigung der Gewässerökologie im jahreszeitlichen Verlauf auf. Die massgebende Periode hängt von der betrachteten Leitart und deren Entwicklungsstadien sowie vom Gewässer (Tab. E3) ab. Die Bestimmung eines hydrologischen Anforderungsprofils gemäss Anhang D (Hilfstabelle Teil 3) dient dazu, eine saisonale Optimierung der Massnahmensteuerung zu erreichen.

Beispiel: Das Volumen eines Rückhaltebeckens wird saisonal unterschiedlich bewirtschaftet. Während es im Herbst und Winter der bestmöglichen Gewährleistung von akzeptablen Laichbedinungen, zur Verhinderung des Trockenfallens des Laichs und zur Stabilität der Laichgruben dient, wird im Frühling und Sommer das Verdriften und Stranden von Makrozoobentos und der Jungfische minimiert.

3 Bestimmung von repräsentativen Abflussganglinien

Bedeutung der Verwendung von Abflussganglinien in der Massnahmenerarbeitung
Im Rahmen der Massnahmenerarbeitung ist die Auswahl bzw. Verwendung von repräsentativen Abflussganglinien mehrfach von Bedeutung:

- Bei der Defizit- und Ursachenanalyse (Kap. 3.2 & 3.3). Massgebend sind die den beobachteten Defiziten zugeordneten Abflussganglinien im Gewässer.
- Bei der Festlegung der Ziele (Kap. 3.4), d. h. der Festlegung der Zielwerte der hydrologischen Kenngrössen von gewässerökologischen Abflussganglinien sowie zur Definition des hydrologischen Anforderungsprofils.

Tab. E2
Beispiele wichtiger Prozesse der Beeinträchtigung der Gewässerökologie im jahreszeitlichen Verlauf.
MZB: Makrozoobenthos.

Jahreszeit	Relevanter Prozess	Sunkabfluss	Pegelanstieg	Schwallabfluss	Pegelrückgang
Frühling	Stranden und Verdriften Fischbrütlinge und MZB	(X)*	X	X	X
Sommer	Verdriften von Jungfischen und MZB; (Stranden)**	(X)*	X	X	(X)
Herbst	Laichbedingungen	X		X	
Winter	Verdriften von MZB; Stabilität der Laichareale	X	X	X	

* Der minimale Abfluss ist mittentscheidend für das Ausmass der Wasserwechselzone.
** Die Gefahr des Strandens ist im Sommer geringer, da die Jungfische eine etwas grössere Schwimmleistung haben.

- Bei der Beurteilung der ökologischen Wirkung von Massnahmen im Gewässer (z. B. verschiedene Speichervolumen von Rückhaltebecken).
- Bei der Arbeit mit Test-Kits (Indikator F3* Anhang C). Massgebend sind die während der Arbeit mit Test-Kits vorherrschenden Abflussganglinien im Gewässer.
- Bei der Bestimmung und Berücksichtigung allfälliger, Betriebs-, Markt-und Klimaänderungen.

Charakterisierung der Abflussganglinien

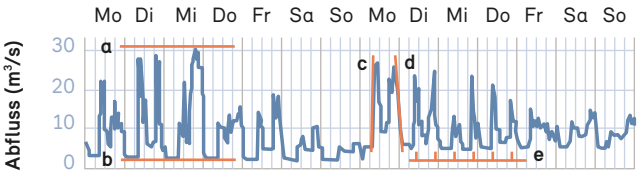
Die Abflussganglinie mit Schwall-Sunk kann anhand der hydrologischen Kenngrössen beschrieben werden (Abb. E2). Es handelt sich um:

a) Schwallabfluss (= Abfluss Tagesmaxima).
b) Sunkabfluss (= Abfluss Tagesminima).
c) Abflussanstiegsrate, umgerechnet über Pegel-Abfluss Beziehung in die Pegelanstiegsrate.
d) Abflussrückgangsrate, umgerechnet über Pegel-Abfluss Beziehung in die Pegelrückgangsrate.

Abb. E2

Charakterisierung der Schwall-Sunk Abflussganglinie anhand von hydrologischen Kenngrössen

(aus Bruder et. al. 2012). a: Schwallabfluss, b: Sunkabfluss, c: Abfluss- bzw. Pegelanstiegsrate, d: Abfluss- bzw. Pegelrückgangsrate, e: Anzahl Schwälle.

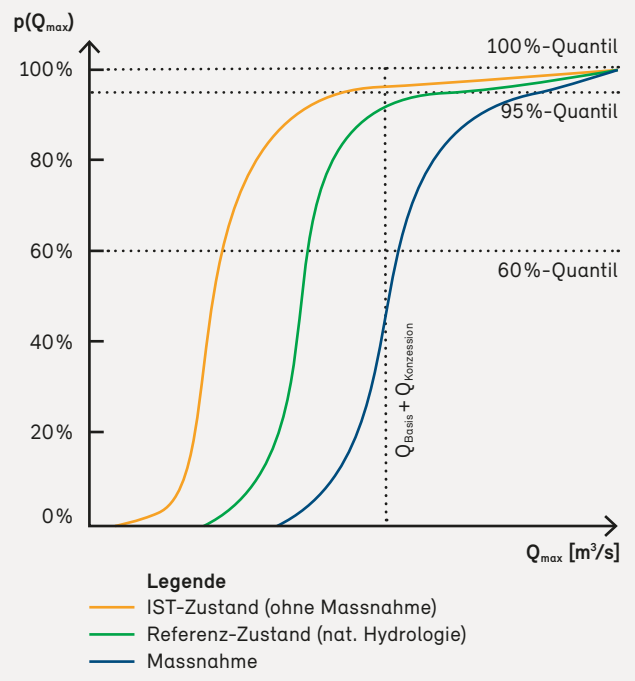


e) Evtl. die Anzahl der täglichen Schwälle.

Details zu den hydrologischen Kenngrössen sind dem Indikator A2 des Anhangs C zu entnehmen. Um der Unterschiedlichkeit des Schwall-Sunks innerhalb einer festgelegten Zeitperiode gerecht zu werden, können die einzelnen Kenngrössen anhand einer Häufigkeitsverteilung bzw. der Summenhäufigkeit der jeweiligen höchsten Tageswerte (Schwallabfluss, Pegelanstiegsrate) respektive kleinsten Tageswerte (Sunkabfluss, Pegelrückgangsrate) beschrieben werden (Abb. E3).

Abb. E3

Summenhäufigkeit, dargestellt am Beispiel des Schwallabflusses Q_{max}.



Die Darstellungsweise in Abbildung E3 eignet sich auch, um den Ist-Zustand und einen Referenzzustand bezüglich Hydrologie darzustellen und die ökologische Wirkung der Massnahmen hinsichtlich der hydrologischen Kenngrössen zu vergleichen. Diese Informationen können zur Einordnung zusätzlich noch um folgende Hinweise ergänzt werden:

- Für die Summenhäufigkeit des Sunkabflusses: das Q_{347} des Referenzzustandes beschreibt die Niederwassersituation unter natürlichen hydrologischen Verhältnissen und liefert damit Hinweise zum Sunkabfluss.
- Für die Summenhäufigkeit der Pegelrückgangsrate: die Schwellenwerte des Indikators F2* «Stranden von Fischen» liefern Hinweise für eine erste Einschätzung der Pegelrückgangsrate.
- Für die Summenhäufigkeit des Schwallabflusses: der Vergleich der beobachteten Werte mit dem theoretisch maximalen (d. h. unter Berücksichtigung der konzessionierten Ausbauwassermenge) Schwallabfluss

($= Q_{Basis} + Q_{Konzession}$) liefert Hinweise zur aktuellen Marktsituation im Vergleich zur Konzession.

Beurteilung Indikatoren anhand Abflussganglinien
Anhand der Summenhäufigkeit (Quantile) können für den IST-Zustand und für den Zustand mit Massnahmen repräsentative Abflussganglinien konstruiert werden, wie dies beispielsweise für die Planung des Rückhaltebeckens der KWO [Schweizer et al. 2013 (1) – (4)] gemacht wurde. Die Abflussganglinien mit und ohne Massnahmen dienen:

- Der Bestimmung der Zustandsklasse des Indikators A2 «Hydrologische Kenngrössen»
- Der Bestimmung der Zustandsklasse der Schwall-Sunk sensitiven und prognostizierbaren Indikatoren (Kernindikatoren).
- Evtl. der qualitativen Beurteilung der anderen Indikatoren durch Experteneinschätzungen, Analogieschlüsse, usw.

Massgebende Perioden
Bei Schwall-Sunk beeinflussten Gewässern der Schweiz handelt es sich in der Regel um Gewässer der Forellenregion, auch wenn die grossen alpinen Talflüsse z.T. Gefälle von lediglich 1 bis 2 ‰ aufweisen. I. d. R. ist für die Bewertung der Indikatoren hauptsächlich das Abflussregime im Winter relevant, da hier die grössten Abweichungen der Abflüsse und Pegel gegenüber dem natürlichen Zustand vorkommen. Es muss aber fallspezifisch, basierend auf den Defiziten sowie dem Gewässertyp, beurteilt werden, ob weitere Zeitperioden berücksichtigt werden müssen. Dies betrifft im Speziellen die Periode mit den bedeutendsten Defiziten bezüglich der Anforderungen der Leitfischart. Gerade bei Defiziten für Jungfische und beim Makrozoobenthos, sowie bei Aspekten der Temperatur (vgl. Indikator Q1* Anhang C) können auch die Sommermonate relevant sein.

Für Fische umfassen die Anforderungen einerseits die Verlaichung, die Laichentwicklung und das Stranden, andererseits aber auch Lebensraumangebote in den verschiedenen Entwicklungsstadien. Als Richtwerte, welche zwingend gewässerspezifisch bestätigt werden müssen, werden in Anlehnung an die Entwicklungsstadien der Fische folgende Perioden vorgeschlagen (Tab. E3).

Berücksichtigung von Betrieb, Markt und Klima in den Abflussganglinien
Ziel der Berücksichtigung von Betrieb, Markt und Klima in den Abflussganglinien ist es, bei der Dimensionierung von Massnahmen künftige Entwicklungen nach aktuellem Wissen einzubeziehen.

Eine mittelfristige Prognose der Betriebs-, Markt- und Klimaänderungen gestaltet sich im heutigen Umfeld als praktisch unmöglich. Demzufolge ist es aus heutiger Sicht sinnvoll, der Massnahmenerarbeitung als Ausgangslage Abflussganglinien des Zeitraums der letzten 5 bis 10 Jahre zu Grunde zulegen (gemäss Art. 41f Abs. 2 GSchV). Dies soll und darf den Inhaber eines Kraftwerks

Tab. E3

Richtwerte zu den berücksichtigten Jahreszeiten für die Leitfischarten.

Die Monatsangaben sind als Richtwerte zu verstehen und in jedem untersuchten Gewässer unbedingt zu verifizieren.

	Festgestellte Defizite im Zusammenhang mit		
	Verlaichung	Laichentwicklung *	Stranden (Larvale bis 0^+)
Alpine Gewässer	Forelle: Okt. – Dez.	Forelle: bis ca. März – Mai	Ab ca. März – Mai bis Sept./Okt.
Voralpine Gewässer	Forelle: Nov./Dez.	Forelle: bis ca. März/April	Ab ca. März/April bis Sept./Okt.
Mittellandgewässer	Forelle: Nov. – Jan. Äsche: März Barbe: April/Mai	Forelle: bis ca. Feb./März Äsche: bis ca. Mai Barbe: 15 Tage ab Verlaichung	Fischartunabhängig ab Schlupf bis Sept./Okt.
Juragewässer	Forelle: Dez./Jan. Äsche: März Barbe: April/Mai	Forelle: bis März/April Äsche: bis ca. Mai Barbe: 15 Tage ab Verlaichung	Fischartunabhängig ab Schlupf bis Sept./Okt.

* Die Laichentwicklung dauert (als Mittelwerte) bei der Bach- und Seeforelle 450, bei der Äsche 200 und bei der Barbe ca. 130 – 160 Tagesgrade.

nicht daran hindern, Betrieb, Markt und Klima kritisch zu hinterfragen, und Abflussganglinien, welche insbesondere die konzessionierte Ausbauwassermenge berücksichtigen, vergleichend herbeizuziehen.

Der vorgeschlagene Grundsatz ist:

- Der Inhaber zeigt auf, wie die Abflussganglinen der letzten 5 bis 10 Jahre ausgesehen haben.
- Der Inhaber schlägt vor, welche Abflussganglinen ab Kraftwerk der Massnahmenerarbeitung zu Grunde gelegt werden.
- Der Inhaber legt allfällige Unterschiede dar und begründet diese, falls die beobachteten und vorgeschlagenen Abflussganglinien massgeblich voneinander abweichen.

Berücksichtigung von Systemdienstleistungen (SDL)
Viele der grossen Speicherwerke haben in den letzten Jahren ihre Produktion dem Bedarf von Systemdienstleistungen (SDL) angepasst. Es gibt ausserdem Einzelfälle von Kraftwerkanlagen, die zwar Zugriff auf einen Speicher haben, heute aber beinahe wie Flusskraftwerke betrieben werden. Dadurch erfolgt die Produktion gleichmässiger und die konzessionierte Ausbauwassermenge wird nicht oder sehr selten gefahren. Aus heutiger Sicht kann nicht gesagt werden, wie lange und in welcher Form dieser SDL-Markt weiter besteht. Es besteht das Risiko, dass bei Verwendung dieses Betriebsregimes Massnahmen unterdimensioniert werden. Es muss daher in Betracht gezogen werden, eine auf den künftigen Betrieb ausgerichtete repräsentative Abflussganglinie ebenfalls zu berücksichtigen. Es besteht andererseits das Risiko einer Überdimensionierung, wenn die Sanierungsmassnahme auf eine mögliche zukünftige Beeinträchtigung bemessen wird, deren Realisierung noch nicht sicher ist. Der Umgang mit diesen Risiken ist im Einzelfall abzuklären.

4 Literatur

AquaPlus 2013. Sanierung Schwall-Sunk Engelberger Aa – Kraftwerke Wolfenschiessen und Dallenwil, Stans: 71 S.

BAFU 2016. Ökologische Sanierung bestehender Wasserkraftanlagen –Finanzierung der Massnahmen. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1634: 42 S.

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.

Bruder A. 2012. Bewertung von Massnahmen zur Beseitigung wesentlicher Beeinträchtigungen durch Schwall und Sunk, Grundlagen für den Vollzug. EAWAG, Dübendorf: 92 S.

Bruder A., Schweizer S., Vollenweider S., Tonolla D. und Meile T. 2012. Schwall und Sunk: Auswirkungen auf die Gewässerökologie und mögliche Sanierungsmassnahmen. Wasser Energie Luft 104(4): 257 – 264.

ezb, limnex, sje. 2012. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile Arbeitspaket 5: Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Grösse des Schwalleinflusses am Alpenrhein. IRKA: 185 S.

Göggel W. 2012. Revitalisierung Fliessgewässer. Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1208: 42 S.

Hauer, C; Schober, B; Habersack, H 2013. Impact analysis of river morphology and roughness variability on hydropeaking based on numerical modelling. Hydrological Processes 27: 2209 – 2224.

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. Earth Surface Processes and Landforms 39: 1622 – 1641.

Heller P., Schleiss A. 2008. Aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples: résolution du marnage artificiel et bénéfices écologiques, énergétiques et sociaux. Wasser Energie Luft 100: 101 – 108.

Meile T., Boillat J.L., Schleiss A. 2008. Dämpfende Wirkung von großmaßstäblichen Uferrauheiten auf Schwall- und Sunkerscheinungen in Flüssen. WasserWirtschaft 12: 18 – 24.

Ribi J.M., Boillat J.L., Peter A., Schleiss A. 2001. Refuges à poissons aménagés dans les berges de rivières soumises aux éclusées. Wasser Energie Luft 108: 320 – 326.

Schneider L., Speerli J. 2014. Schlussbericht Modellversuche OptiFlux – Strukturverbesserungen in Talflüssen. 63 S.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Wächter K. 2013 (1). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. Wasser Energie Luft 105: 191 – 199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (2). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. Wasser Energie Luft 105: 200 – 207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M., Stalder P. 2013 (3). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Wasser Energie Luft 105: 269 – 276.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Maire A., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Theiler Q., Tuhtan J., Wächter K. 2013 (4). Schwall-Sunk Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. Wasser Energie Luft 105: 277 – 287.

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

Werdenberg N., Meile T., Steiner R. 2012. Strömungslenkung an der unteren Taverna. Neue Wege im naturnahen Flussbau. Aqua & Gas 4: 12 – 17.

Widmann W. 2008. Schwallreduzierung durch Zwischenbecken bei Speicherkraftwerken, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 60: 65 – 72.

Anhang F – Habitatmodellierungen

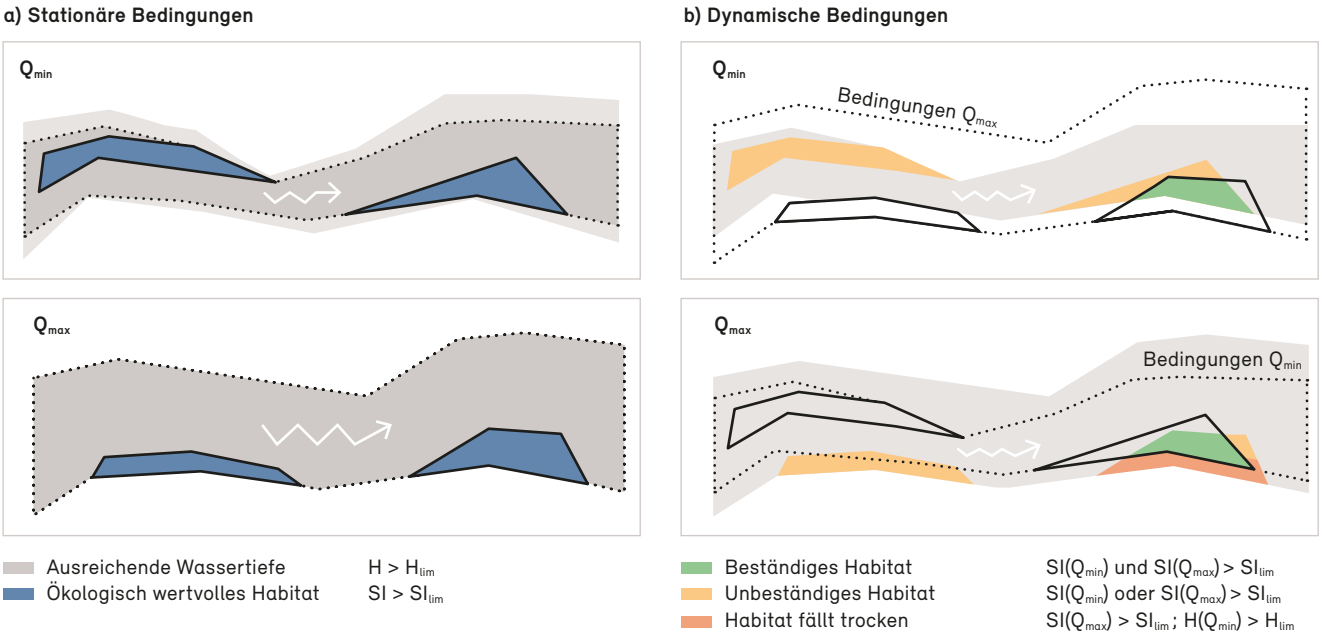
1 Notwendigkeit der Modellierung

Bei der Wahl der geeignetsten Schwall-Sunk Massnahmen sind Ansätze, gestützt auf reine hydrologische Kenngrössen in der Regel unzureichend. Eine Prognostizierung des ökologischen Zustandes des Fliessgewässers nach der Umsetzung der Massnahmen mit Hilfe von Habitatmodellen, geeigneten Datensätzen und der Berücksichtigung der dynamischen Prozesse ist i. d. R. notwendig.

Hydraulische 2D-Modelle beispielsweise erlauben die Berechnung von Fliesstiefe und -geschwindigkeit sowie die Stabilität von Substraten für verschiedene Morphologien und Abflüsse, für jede beliebige Zelle im abgebildeten Modell des Gewässers. Diese rein hydrologisch, morphologisch und hydraulisch basierten Resultate der Modellierungen können in einem weiteren Schritt mit den biotischen Ansprüchen der Fische bzw. Makrozoobenthos in Verbindung gebracht werden (z. B. mit Präferenzkurven, Expertenwissen, usw.; vgl. Indikator B5 und F6 Anhang C). In diesem Schritt der Habitatmodellierung werden Eignungen in Form eines Eignungsindex (SI = Suitability Index) zwischen 0 (= ungeeignet) und 1 (= optimal geeignet) berechnet. Bei der Anwendung für Schwall-Sunk Untersuchungen wird empfohlen z. B. beständige oder dauerhafte Habitate (persistent habitats) zu ermitteln, die auch während Schwallereignissen ständig eine bestimmte Mindesteignung aufweisen, die über einem zu definierenden Grenzwert liegt ($SI > SI_{lim}$ mit SI_{lim} z. B. 0,5; vgl. Abb. F1 und Hauer et al. 2014).

Abb. F1

Schematische Bestimmung der stationären (a) und dynamischen (b) Habitatsbedingungen für Qmax und Qmin an einer fiktiven Untersuchungsstrecke *(aus Bieri et al. 2013). SI: Suitability Index; H: Fliesstiefe.*



2 Modellwahl und Anforderungen an die Modellgrundlagen

2.1 Modellwahl

2.1.1 Hydraulische Modelle

Die Modellwahl hängt insbesondere von folgenden vier Parameter ab:

1. Morphologie (kanalisiert, strukturiert, verzweigt).
2. Skala der Prozesse (Detaillierungsgrad der dargestellt werden soll).
3. Wichtigkeit der vertikalen Geschwindigkeitskomponenten der Strömung.
4. Zu modellierende Phänomene: veränderliche Vorgänge (Schwallanstieg/-rückgang) oder punktueller Zustand (Schwallspitze, Sunk).

Die hydraulischen Modelle unterscheiden sich insbesondere aufgrund der räumlichen (1-, 2-, 3-dimensional) und zeitlichen (stationär = zeitunabhängig; instationär = zeitabhängig) Dimensionen.

Allgemeine Hinweise zu numerischen, hydraulischen Modellen und deren Anwendung finden sich in Rousselot et al. 2012.

Anzahl räumliche Dimensionen

Die Wahl der Anzahl räumlicher Dimensionen für die Modellierung hängt vor allem von der Komplexität der Morphologie ab. Je komplexer diese ist, desto wichtiger ist eine mehrdimensionale Modellierung:

- 1-dimensionale hydraulische Modelle können ausreichend sein für Gewässer mit monotoner bis leicht strukturierter Morphologie (Kanal, etc.) sowie für Grobskalige Prozesse, wie Geschiebetransport, benetzte Flächen in einfachen Geometrien, usw.
- 2-dimensionale hydraulische Modelle werden generell empfohlen für Gewässer mit mittel bis stark strukturierter/verzweigter Morphologie (alternierende Bänke, mehrere Arme, etc.) sowie für Feinskalige Prozesse, lokale Abflusstiefen, Fliessgeschwindigkeiten, benetzte Flächen in komplexeren Geometrien.
- 3-dimensionale hydraulische Modelle sind sehr komplex bei der Aufstellung und relativ rechenaufwändig. Sie werden deshalb für grossflächige Schwall-Sunk Modellierungen nicht empfohlen. Sie sind aber wichtig für die Beschreibung von feinskaligen, sehr lokalen Prozessen wie z. B. Strömungsmuster in Kolken und um die Buhnenköpfe, bei denen die vertikale Geschwindigkeitskomponente der Strömung im Vergleich zur horizontalen eine grosse Bedeutung spielt.

Je nach Modellierungssoftware sind auch Kombinationen von verschiedenen Modellen unterschiedlicher Dimensionen möglich. Zu beachten sind Modellauflösung und -netz sowie der Abgleich bei der Anwendung unterschiedlicher Modelle.

Zeitliche Dimension: stationär vs. instationär

Stationäre Modelle sind weniger rechenaufwändig als instationäre, berücksichtigen jedoch die zeitlichen Veränderungen nicht. Für Fragestellungen, welche die fliessende Retention (Abschwächung, evtl. Verstärkung des Schwalls), die zeitliche und örtliche Überlagerung von Schwällen aus verschiedenen Kraftwerken oder den Bewegungsbeginn des Substrats unter Berücksichtigung des Reibungsgefälles in einem Gewässer betreffen, ist der Einsatz von instationären Modellen empfehlenswert. Solche kamen zum Beispiel an der Linth sowie an der Rhône und der Saane im Rahmen der kantonalen strategischen Planungen zum Einsatz.

2.2 Habitatmodellierungen

Die Resultate der hydraulischen Modellierungen dienen als Grundlage für die Habitatmodellierungen. Bei den Modellierungsarten wird zwischen univariaten und multivariaten Modellen unterschieden:

- Univariat: Betrachtung der Habitatpräferenz in Abhängigkeit von einem Parameter und nachfolgende Verschneidung. Z. B. Bestimmung der Habitateignung aufgrund der einzelnen Präferenzkurven und Ermittlung einer Gesamteignung mit Produktansatz.
- Multivariat: Betrachtung der Habitatpräferenz in Abhängigkeit mehrerer Parameter. Z. B. regelbasierte

Ansätze (u. a. Fuzzy-Logik) oder multivariate Regression. Das Zusammenwirken der Parameter wird berücksichtigt.

Die Modellwahl erfolgt durch Fachexperten basierend auf den vorhandenen Daten und den Anforderungen des betrachteten Falls.

Ergebnis der Habitatmodellierung ist i. d. R. eine Habitateignung zwischen 0 und 1, die für verschiedene Abflusssituationen ermittelt wird. Eine Interpretation kann durch die Betrachtung der zeitlichen Veränderung und Verlagerung der Habitate erfolgen.

Für Schwall-Sunk Untersuchungen sind insbesondere das Stranden von Fischen und die Verdriftung, sowie die Beeinträchtigung von Laicharealen von besonderer Bedeutung. Diese Phänomene können durch neuere, weiterentwickelte Habitatmodelle auch direkt untersucht und (äquivalent zu Habitateignungen) die Risiken ermittelt werden. Dabei werden Ansprüche bzw. Toleranzen hinsichtlich zeitlich veränderlicher Grössen berücksichtigt wie z. B. Wasserspiegel-Sunkgeschwindigkeiten, maximale Schubspannungen und Fliessgeschwindigkeiten in Flachwasserzonen (Schneider & Noack 2009, ezb et al. 2012a).

2.3 Anforderungen an die Modellgrundlagen

Grundlagen für hydraulische Modelle

In Tabelle F1 sind die grundlegenden Daten aufgeführt, welche unabhängig von den Indikatoren für jegliche hydraulische Modellierung notwendig sind. Die indikatorspezifischen Anforderungen für die Prognostizierung sind den einzelnen Indikatorenblättern zu entnehmen (Anhang C) und Angaben zu Abflussganglinien sind im Anhang E beschrieben.

Tab. F1

Grundlagedaten für hydraulische Modelle.

Nutzung	Grundlagen	1-D	2-D
Topographie	Digitales Höhenmodell (DHM)		X
	Laserscan-Daten – Auflösung ≤ 0,5 – 1 m		X
	Vermessung der Flusssohle	X	X
	Querprofilvermessung	X	
Rauhigkeitswert	Substratkartierung	X	X
	Korngrössenverteilung	X	X
Kalibrierung	Wasseranschlagslinien (zeitcodiert)	X	X
	Orthophotos/Luftaufnahmen (mit zeitlicher Angabe)	X	X
	Fliessgeschwindigkeiten, Wassertiefen, Wasseroberflächen aus Messungen	X	

Erhebung der Korngrössenverteilung

Die Erhebung der Korngrössenverteilung der Unterschicht ist wichtig für die Bestimmung der Rauhigkeitsbeiwerte sowie für die Beurteilung des Modelleinsatzes. Die Erhebung kann beispielsweise mit Linienzahlanalysen (Fehr 1987) oder mittels des Tools Basegrain **(www.basement.ethz.ch/download/tools/basegrain.html)** erfolgen. Der Einsatz von 2D-Modellen eignet sich besonders bis Korngrössen d_{90} der Unterschicht von 0,2 m. Gerinne mit gröberer Korngrössenverteilung sind i. d. R. steil und weisen grobblockige Strukturen wie auch Step-Pool Sequenzen auf. Im Einzelfall sind 2D Modellierung in Gewässern auch möglich bei Grobsubstraten, namentlich bei hochaufgelösten Vermessungen und einer Kalibrierung mit den Wasserspiegellagen.

3 Praxisbeispiele

Praxisbeispiele zu Habitatmodellierungen mit verschiedenen Fischarten sowie Entwicklungsstadien finden sich für den Alpenrhein in ezb et al. (2012a, 2012b, 2012c, 2012d), für die Hasliaare in Limnex (2012), Schneider (2012), Bieri et al. (2013) sowie Person et al. (2013) und für die Saane in Zurwerra & Bur (2009).

Bisher wurden in der Schweiz nur an zwei Gewässern Habitatmodellierungen für das Makrozoobenthos in Schwallstrecken durchgeführt. Am Alpenrhein parallel zu den

Habitatmodellierungen für Fische **(www.alpenrhein.net)** und in der Hasliaare (Tanno 2012, Tanno et al. 2013).

4 Literatur

Bieri M., Person E., Peter A., Schleiss A. 2013. Beurteilung von Massnahmen zur Reduktion von Schwall und Sunk – Fallbeispiel Hasliaare. Wasser Energie Luft 105: 95 – 102.

ezb, sje, limnex. 2012a. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Habitatmodellierung, Biotische Grundlagen und Methodik. IRKA: 54 S.

ezb, sje, limnex. 2012b. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Ergebnisse Habitatmodellierung, Schlussfolgerungen und Empfehlungen. IRKA: 57 S.

ezb, limnex, sje. 2012c. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Abeitspaket 5: Habitatmodellierung zur quantitativen Bewertung der Größe des Schwalleinflusses am Alpenrhein. IRKA: 185 S.

ezb, limnex, sje 2012d. Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall-Sunk Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile – Abeitspaket 2: Adaptierung der Präferenzkurven, Definition von Eingangsparametern für die Habitatmodellierung. IRKA : 123 S.

Fehr R. 1987. Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Mitteilung Nr. 92, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW). ETH Zürich: 137 S.

Hauer C., Unfer G., Holzapfel P., Haimann M., Habersack H. 2014. Impact of channel bar form and grain size variability on estimated stranding risk of juvenile brown trout during hydropeaking. Earth Surface Processes and Landforms 39: 1622 – 1641.

Limnex. 2012. Schwall-Sunk Bewertung der KWO-Zentralen in Innertkirchen. Bewertung des Ist-Zustandes und Varianten zur Bewertung eines zukünftigen Zustandes nach Realisierung des Ausbauprojektes «KWO plus». Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG: 124 S.

Person E. 2013. Impact of hydropeaking on fish and their habitat. Dissertation. EPFL, Lausanne: 151 S.

Rousselot P., Vetsch D., Fäh R. 2012. Numerische Fliessgewässermodellierung. In: Merkblatt-Sammlung Wasserbau und Ökologie. Bundesamt für Umwelt, Bern. Merkblatt 7: 8 S.

Schneider M. 2012. Casimir-Modellierungen zur Ermittlung der Indikatoren F2 und F3 in drei schwallbeeinflussten Strecken der Hasliaare für den Ist-Zustand und weitere Szenarien. Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG: 45 S.

Schneider M., Noack M. 2009. Untersuchung der Gefährdung von Jungfischen durch Sunkereignisse mit Hilfe eines Habitatsimulationsmodells. Wasser Energie Luft 2: 115 – 120.

Tanno D. 2012: Physical habitat modeling for the assessment of macroinvertebrate response to hydropeaking. Master Thesis, University of Zurich and Eawag: 66 S.

Tanno D., Schweizer S., Robinson C.T. 2013. Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebraten anhand von physikalischen Habitatmodellen. Wasser Energie Luft 105: 288 – 295.

Zurwerra A., Bur M. 2009. Abschätzung der Schäden an Fischen und Nährtieren in einer Schwall-Sunk Strecke der Saane (Freiburg, Schweiz). Wasser Energie Luft 4: 288 – 295.

Anhang G – Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen pro Hauptschritt

Gemäss Artikel 41g Absatz 1 GSchV sind die Inhaber von Kraftwerksanlagen, die Massnahmen zur Verhinderung bzw. Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall-Sunk treffen müssen, verpflichtet, verschiedene Varianten von Massnahmen auszuarbeiten. Die Ergebnisse der Erarbeitung und Bewertung der Massnahmen ist von den Kraftwerksinhabern zu dokumentieren und dem Kanton (bei internationalen Kraftwerken dem BFE) in geeigneter Form einzureichen. Der Kanton wiederum muss diese Unterlagen zusammen mit seiner Beurteilung (Stellungnahme) spätestens vor Anordnung und Bewilligung des Sanierungs- bzw. Bauprojektes dem BAFU zur Anhörung einreichen (Abb. 2).

Nachfolgende Ausführungen sollen den Inhabern von Wasserkraftanlagen helfen, die Ergebnisse der Erarbeitung und Bewertung der Massnahmen in einer geeigneten Weise der kantonalen Behörde einzureichen. Dies geschieht sinnvollerweise in Form eines Berichts inklusive den ihm zugrunden liegenden Geodaten. Im Teil I wird auf die allgemeinen Anforderungen an die Unterlagen eingegangen. In den Teilen II, III und IV werden die einzureichenden Unterlagen für die Hauptschritte «Zielsetzung», «Variantenstudium und Wahl der Massnahmen» und «Wirkungskontrolle» (Abb. 3) aufgeführt.

Teil I Allgemeine Anforderungen an die einzureichenden Unterlagen

- ☐ **Vollständigkeit der Unterlagen**
  - ☐ Die Unterlagen sollten mindestens die Vorgaben der Teile II, III und IV erfüllen.
  - ☐ Sämtliche verwendeten Grundlagendokumente und Studien sind zu referenzieren damit sie bei Bedarf dem Kanton bzw. dem BAFU zur Verfügung gestellt werden können.
- ☐ **Nachvollziehbarkeit des Vorgehens**
  - ☐ Die Wahl der weiterzuverfolgenden Massnahmen (im Rahmen der Zielsetzung; Kap. 3) und der geeignetsten Massnahmen (bei Abschluss von Variantenstudium und Massnahmenwahl; Kap. 4) kann aufgrund der eingereichten Unterlagen lückenlos nachvollzogen werden.
  - ☐ Die Einhaltung des Vorgehen gemäss vorliegenden Moduls (Kap. 2) ist dokumentiert, beziehungsweise allfällige Abweichungen vermerkt und nachvollziehbar begründet.
- ☐ **Format und Lesbarkeit von Karten, Schemen und Pläne**
  - ☐ Die Karten sind in einem Massstab (im Normalfall 1:25 000 und 1:10 000) und einem Format, das eine gute Übersicht ermöglicht. Dies bedeutet, die Kartenausdrücke sind auf Papier sowie die relevanten Geodaten in elektronischer Form vorhanden. Als Grundlage für die Verortung der digitalen Daten können das Gewässernetz des Bundes im Massstab 1:25 000 (Gewässernetz gwn25 aus Vector25[4]) oder kantonale Gewässernetze in grösseren Massstäben verwendet werden.
  - ☐ Die schematische Übersicht der Massnahmen (für die Vorauswahl der Massnahmen Kap. 3.5) und die Übersichtspläne (für die Vordimensionierung der Massnahmen, Kap. 4.2) liegen in einem solchen Massstab und Darstellungsform vor, dass die wesentlichen Elemente für die Entscheidungsfindung rasch ersichtlich sind.

4 https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/maps/national/vector/smv25

Teil II Zielsetzung (Kap. 3)

Die einzureichenden Unterlagen für die Zielsetzung (Hauptschritt 1, Kap. 3) enthalten gemäss Empfehlung des vorliegenden Moduls mindestens folgende Angaben.

II.1 Angaben zur Ausgangslage

☐ **Art des Vorhabens**
- ☐ Sanierung einer oder mehrerer bestehenden Anlagen.
- ☐ Ausbauprojekt(e).
- ☐ Neuanlage(n).

☐ **Bisherige Entscheidungen**
- ☐ Verfügung(en) Sanierungspflicht aus der kantonalen strategischen Planung.
- ☐ Allfällige relevante Entscheide der zuständigen Behörden betreffend Neu- oder Ausbau des Kraftwerks oder der Kraftwerke.

II.2 Angaben zum Einzugsgebiet

☐ **Kraftwerke im Einzugsgebiet**
- ☐ Angabe der Kraftwerke im Einzugsgebiet, welche Schwall-Sunk Massnahmen zu koordinieren haben (Kapitel 2.4).
- ☐ Angaben gemäss nachfolgende Punkte II.3 bis II.8 (Kraftwerk, Gewässer, usw.) sind jeweils für jedes der betroffenen Kraftwerke zu machen.

☐ **Organisation im Einzugsgebiet**
- ☐ Kurzbeschreibung der gemeinsamen einheitlichen Projektorganisation im Einzugsgebiet mit Angabe der Leitung.
- ☐ Bei kantonsübergreifenden Einzugsgebieten Angabe zur vereinbarten Organisation zwischen den Kantonen.

☐ **Kartographische Übersicht**
- ☐ Perimeter des betrachteten Einzugsgebietes.
- ☐ Betrachtetes Gewässernetz.
- ☐ Standorte Kraftwerke, Wasserfassungen, Wasserrückgaben, Stauanlagen (vgl. Pkt. II.3).
- ☐ Durch Schwall-Sunk betroffene Gewässerstrecken (vgl. Pkt. II.4).
- ☐ Ort der betrachteten Varianten von Massnahmen (vgl. Pkt. II.6).

II.3 Angaben zum Kraftwerk (oder zu den Kraftwerken)

☐ **Kraftwerksinhaber**
- ☐ Name und Adresse Inhaber (Konzessionär).

☐ **Zentrale**
- ☐ Name der Zentrale.
- ☐ Zentralennummer WASTA und/oder Kanton.

☐ **Kurzer Anlagebeschrieb des aktuellen Zustandes (IST-Zustand)**

Anlagentyp
- ☐ Speicherkraftwerk, Flusskraftwerk, Pumpspeicherkraftwerk oder anderer.

Turbinen
- ☐ Totale Ausbauwassermenge.
- ☐ Anzahl Turbinen pro Gruppe.
- ☐ Turbinentyp pro Gruppe.
- ☐ Abfluss pro Turbine.
- ☐ Anlauf- und Ausschaltzeit pro Turbine/Gruppe.

Kraftwerke, Wasserfassungen, Wasserrückgaben, Stauanlagen
- ☐ Koordinaten X/Y.
- ☐ Höhe (m. ü. M.)

II.4 Angaben zum Gewässer (oder zu den Gewässern)

☐ **Grundlagen für die Massnahmenerarbeitung**
- ☐ Definition und Charakterisierung der massgebenden morphologisch-hydraulisch unterschiedlichen Gewässerabschnitte und Untersuchungsstrecken gemäss Anhang B.
- ☐ Resultate aus der Beurteilung nach Modulstufenkonzept pro massgebendem Gewässerabschnitt unter Einbezug von Tabelle 1 der Abbildung D1 (Deckblatt Anhang D).
- ☐ Kurzbeschrieb pro massgebendem Gewässerabschnitt der anderen, nicht Schwall-Sunk bezogenen, realisierten, geplanten oder vorgesehenen

Gewässerschutzmassnahmen (z. B. Revitalisierung, Hochwasserschutz, Wiederherstellung der freien Fischwanderung und des Geschiebehaushalts, Sicherung angemessener Restwassermengen) sowie anderen Projekten, die Einfluss auf die Wirkung der Massnahmen haben können (z. B. neue Kraftwerksanlagen). Dies kann erfolgen unter Einbezug der Tabellen 2 und 3 der Abbildung D1 (Deckblatt Anhang D).

- ☐ Bestimmung und Beschrieb der repräsentativen Abflussganglinien für den IST-Zustand gemäss Anhang E.

☐ **Defizite und Ursachen des aktuellen Zustandes (IST-Zustand)**

- ☐ Festgestelle Schwall-Sunk bedingte Defizite und deren Ursachen (Kap. 3.2 & 3.3).
- ☐ Festgestelle nicht Schwall-Sunk bedingte Defizite und deren Ursachen.
- ☐ Erläuterung und Begründung unter Einbezug der Hilfstabelle Teil I & II im Anhang D (Abb. D2 & D3; eine Tabelle pro massgebendem Gewässerabschnitt) und der Schlussfolgerungen aus der strategischen Planung der Kantone.

II.5 Angaben zu den Zielen

☐ **Ziele hinsichtlich Gewässerökologie**

- ☐ Beschrieb der Ziele in Form von Zustandsklassen (Kap. 3.4) für prognostizierbare (Kern-)Indikatoren gemäss Anhang C.

☐ **Ziele hinsichtlich Abflussganglinien**

- ☐ Beschrieb der Ziele in Form von Zielwerten für hydrologische Kenngrössen sowie das daraus resultierende hydrologisches Anforderungsprofil gemäss Indikator A2 Anhang C und Hilfstabelle Teil III im Anhang D (Abb. D4).
- ☐ Bestimmung und Beschrieb der repräsentativen Abflussganglinien für den künftigen Zustand gemäss Anhang E.

II.6 Angaben zur Vorauswahl der Massnahmen

☐ **Auflistung aller möglichen Massnahmen**

- ☐ Kurzbeschrieb pro Massnahme mit schematischer Übersicht.
- ☐ Grobe Kostenschätzung pro Massnahme (Kap. 3.5).

☐ **Vorauswahl der weiterzuverfolgenden Massnahmen**

- ☐ Resultate der groben Beurteilung der technischen sowie gewässer- und einzugsgebietsspezifischen Rahmenbedingungen und der groben Kosten-Wirkungs-Analyse gemäss Abbildung 9 (Kap. 3.5).

II.7 Absprache zwischen Kraftwerksinhaber und kantonale Behörde

- ☐ Angaben über allfällige Abstimmungen und Absprachen mit den kantonalen Behörden bezüglich weiterzuverfolgenden Massnahmen sowie Inhalt und andere allfällige Vorgaben und Rahmenbedingungen für das Variantenstudium gemäss Kapitel 4 (Kap. 3.6).

II.8 Angaben zur Partizipation und zur Koordination

- ☐ Dokumentation des Einbezugs der Beteiligten und Betroffenen (Kraftwerksinhaber, Kanton, Bund, Experten, Landbesitzer, NGO's, usw.) und Beschreibung der Art und Weise, wie ihre Anliegen berücksichtigt wurden (Kap. 3.6).
- ☐ Koordination mit anderen, nicht Schwall-Sunk bezogenen Gewässerschutzmassnahmen (Pkt. II.4 oben & Kap. 3.6): Auflistung der anderen realisierten, geplanten und vorgesehenen Massnahmen und Projekten im Einzugsgebiet des von Schwall-Sunk betroffenen Gewässers, welche durch den Kanton koordiniert werden und im Rahmen des Variantenstudiums berücksichtigt werden sollen.

Teil III Variantenstudium und Wahl der Massnahmen (Kap. 4)

Die einzureichenden Unterlagen für das Variantenstudium und die Wahl der Massnahmen (Hauptschritt 2, Kap. 4) enthalten gemäss Empfehlung des vorliegenden Moduls mindestens folgende Angaben.

III.1 Angaben zu den Varianten und zu ihrer erwarteten Wirkung

- ☐ **Beschrieb der Massnahmen**
  - ☐ Beschrieb jeder untersuchten Massnahme (Kap. 4.2)
  - ☐ Technische Machbarkeit mit Vordimensionierung der massgebenden Bauteile und entsprechenden Übersichtsplänen.
  - ☐ Landbedarf inkl. permanente Materialablagerungsstandorte.
  - ☐ Einfluss der Massnahme auf den Betrieb
  - ☐ Kosten pro Massnahme gemäss Kapitel 4.3.1.
  - ☐ Vorschlag Kostenteiler für Spezialfälle wie z. B. Mehrzweckanlagen und Ausbauprojekte (Kap. 4.5) und für die Berücksichtigung von nicht Schwall-Sunk bezogenen Gewässerschutzmassnahmen (Kap. 4.4).

- ☐ **Prognostizierter Zustand nach Umsetzung der Massnahmen**
  - ☐ Angabe zu den für die Prognose verwendeten Indikatoren, Modellierungen, Werkzeuge und Methoden (Kap. 4.2).
  - ☐ Ermittlung und Beschreibung des prognostizierten Zustands nach Umsetzung der Massnahmen für jeden Indikator, jeden Gewässerabschnitt und jede Massnahme nach den Vorgaben des Kapitels 4.2 und nach dem Muster des linken Teils der Tabelle 2.

- ☐ **Zielerreichung der Massnahmen**
  - ☐ Ermittlung und Beschreibung des Zielerreichungsgrades und der Gesamtwirkung der Massnahmen gemäss Vorgaben des Kapitels 4.2 und nach dem Muster des rechten und untersten Teils der Tabelle 2.

III.2 Angaben zur Wahl der Massnahmen

- ☐ **Kosten-Wirkungs-Analyse**
  - ☐ Kosten-Wirkungs-Analyse nach den Vorgaben des Kapitels 4.3.1 und dem Muster der Abbildung 10.
  - ☐ Angaben zur Sensitivitätsanalyse.

- ☐ **Wahl der Massnahme**
  - ☐ Angabe der gewählten Bestvariante (geeignetste Massnahme).
  - ☐ Begründung der Wahl unter Einbezug der weiteren Kriterien nach den Vorgaben vom Kapitel 4.3 mit den erforderlichen Erläuterungen, insbesondere zur Gesamtbewertung nach Tabelle 3.
  - ☐ Präzisierung der Angaben zur Koordination mit anderen, nicht Schwall-Sunk bezogenen Gewässerschutzmassnahmen (vgl. Pkt. II.7 oben und Kap. 4.4.).

III.3 Umsetzung

- ☐ **Zeitplan**
  - ☐ Zeitplan der Umsetzung gemäss kantonale Vorgaben.

Teil IV Wirkungskontrolle (Kap. 5)

Die einzureichenden Unterlagen für die Wirkungskontrolle enthält gemäss Empfehlung des vorliegenden Moduls mindestens folgende Angaben.

- ☐ **Grundlagen des Konzepts für die Wirkungskontrolle**
  - ☐ Angaben zum IST-Zustand (d. h. massgebenden Informationen aus Pkt. II.4).
  - ☐ Angaben zum Zielzustand (d. h. massgebenden Informationen aus Pkt. II.5).
  - ☐ Angaben zum prognostizierten Zustand für die ausgewählte Massnahme (d. h. massgebenden Informationen aus Pkt. III.1 & III.2).

- ☐ **Beschreibung des Konzeptes für die Wirkungskontrolle**
  - ☐ Verwendete Indikatoren (Anhang C Abb. C1).
  - ☐ Vorgesehenes Untersuchungsprogramm (Ort, Zeit, Methoden, usw.; Kap. 5.4).

- ☐ Zeitrahmen und Terminplan der Untersuchungen.
- ☐ Kostenschätzung.

☐ **Koordination mit anderen Massnahmen**

- ☐ Angaben zur Koordination der Wirkungskontrolle der Schwall-Sunk Massnahmen mit derjenigen anderer Gewässerschutzmassnahmen (Kap. 5.4).

Anhang H – Glossar und Abkürzungen

(Abfluss-)ganglinie
Zeitlicher Verlauf der gemessenen Abflussmengen oder Pegelstände.

Abflussregime
Abflussverhalten eines Fliessgewässers im Jahresverlauf, stark abhängig vom Klima des Einzugsgebietes.

Ausbauprojekt
Projekt zum Ausbau oder zur Erweiterung eines bestehenden Wasserkraftwerkes.

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

(Schwall-)Ausleitkraftwerk
Kraftwerk, welches das turbinierte Wasser eines oberhalb liegenden Kraftwerks erneut turbiniert und oft eine vormalige Schwallstrecke in eine Restwasserstrecke verwandelt. Voraussetzung für Schwall-Ausleitkraftwerke ist, dass diese Schwall-Sunk optimiert und nicht energieoptimiert ausgelegt sind.

BAFU
Bundesamt für Umwelt (früher BUWAL).

Bestvariante
Die als geeignetste betrachtete, umzusetzende Massnahme.

Betriebswasser
Wasser, das in einer Kraftwerkszentrale turbiniert wird (auch als Triebwasser bezeichnet).

BFE
Bundesamt für Energie.

BGF
Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über die Fischerei (SR 923.0).

Biozönotische Regionen
Region, welche typisch für bestimmte Biozönosen (Gemeinschaft von Organismen verschiedener Arten an einem abgrenzbaren Standort) ist.

Breitbandindikatoren
Indikatoren welche nicht besonders Schwall-Sunk sensitiv sind.

Defizitanalyse
Untersuchung der bestehenden Beeinträchtigungen in den Gewässern.

Direktableitung
Ableitung des turbinierten Wassers in einem Stollen oder Kanal direkt in ein grösseres Gewässer oder ein stehendes Gewässer, ohne Rückgabe in das Fliessgewässer.

Drift
Aktives oder passives Abtreiben von Organismen in der fliessenden Welle.

Eignungsindex (suitability index = SI)
Index für die Eignung eines Habitats für eine bestimmte Organismenart.

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.

Erfolgskontrolle
Instrument zur Überprüfung des Erfolges einer Massnahme, besteht aus Umsetzungs- und Wirkungskontrolle.

Freezecore
Sedimentproben der Gewässersohle, welche mittels Röhren, in welcher flüssiger Stickstoff oder Kohlenstoffdioxid

eingespritzt wird (Wasser wird eingefroren), entnommen werden.

Gesamtwirkung/Gesamtzielerreichungsgrad
Wirkung, welche eine Massnahme im Gewässer erreicht. Ist eine Aggregation der Wirkung pro einzelnen Indikator und Gewässerabschnitt.

Geschiebe
Feststoffe mit einem Durchmesser > ca. 2 mm (Steine, Kies, Sand), die mit dem Abfluss rollend, gleitend oder springend über die Gewässersohle transportiert werden können.

Gewässerabschnitte
Morphologisch, hydraulisch und hydrologisch homogener Abschnitt eines Gewässers.

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

GSchV
Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (SR 814.201).

Habitateignung
Eignung eines Standortes zur Bewohnbarkeit durch bestimmte Fisch- oder Makrozoobenthosarten.

Habitatmodellierung/en
Computermodelle, welche aufgrund von physikalischen Grössen (Wassertiefe und Fliessgeschwindigkeiten) sowie Präferenzkurven für einen Gewässerabschnitt die Eignung zur Bewohnbarkeit durch bestimmte Fisch- oder Makrozoobenthosarten prognostizieren.

HYDMOD
Modul Hydrologie, Methode zur hydrologischen Untersuchung und Beurteilung von Fliessgewässern innerhalb des Modul-Stufen-Konzeptes (Pfaundler et al. 2011).

Hydrologische Kenngrössen
Kenngrössen der Schwall-Sunk Abflussganglinie (Schwallabfluss, Sunkabfluss, Pegelanstiegsrate, Pegelrückgangsrate).

Indikator/en
Gemessene oder berechnete Grösse, welche für die Bewertung des Gewässerzustandes verwendet wird.

Interstitial
Hohlraumsystem im Grenzraum zwischen Gewässersohle und Grundwasser.

IST-Zustand
Heutiger Zustand, Ausgangszustand.

Kernindikatoren
Indikatoren, welche Schwall-Sunk sensitiv, sowie gut prognostizierbar sind.

Kolmation
Prozess der Abnahme der Bodendurchlässigkeit infolge von Eintrag von Feinmaterial. Es wird unterschieden zwischen innerer Kolmation (Eindringen von feinen Schwebstoffpartikeln in die Gewässersohle) und äusserer Kolmation (Ablagerung von Feinteilen auf der Gewässersohle).

Längenzonation
Überprüfung der standortgerechten Artenzusammensetzung im Verlauf eines Fliessgewässers (vgl. Indikator B3 des Moduls «Strategische Planung»).

Leitart
Typische Makrozoobenthos- oder Fischart für eine bestimmte Region.

Mehrzweckanlagen
Anlagen welche nicht ausschliesslich der Sanierung von Schwall-Sunk dienen (z. B. Ausleitkraftwerke, Ausgleichsbecken welche zur Pumpspeicherung genutzt werden).

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).

MZB
Makrozoobenthos.

Neuanlage
Neues Wasserkraftwerk.

NGO
Nichtregierungsorganisation, welche keinen Profit erzielt.

Ökologisches Potenzial
Bei einem naturnahen Gewässer entspricht sein ökologisches Potenzial dessen ökologischer Bedeutung im heutigen Zustand. Bei einem nicht naturnahen Gewässer entspricht das ökologische Potenzial dessen mögliche Bedeutung in einem gedachten Bezugs- oder Referenzzustand, in dem die vom Menschen verursachten Beeinträchtigungen soweit beseitigt sind, als dies mit verhältnismässigen Kosten machbar ist (Art. 33a GSchV).

Pegeländerungsrate
Siehe Pegelanstiegs- und Pegelrückgangsrate.

Pegelanstiegsrate
Geschwindigkeit, mit welcher der Pegelstand beim Schwallanstieg zunimmt (in cm/min). Gebräuchlich ist auch die Anstiegsrate des Abflusses (in m^3/s/min).

Pegelrückgangsrate
Geschwindigkeit, mit welcher der Pegelstand beim Schwallrückgang abnimmt (in cm/min). Gebräuchlich ist auch die Rückgangsrate des Abflusses (in m^3/s/ min).

Prognosezustand
Vorausgesagter Zustand im Gewässer nach der Umsetzung einer Massnahme.

Quantil
Schwellenwert welcher einen bestimmten Teil einer Datenmenge definiert. Das heisst, ein Quantil legt fest, wie viele Werte einer Verteilung über oder unter einer bestimmten Grenze liegen. Das 95 %-Quantil beispielsweise ist der Wert, für den gilt, dass 95 % aller Werte kleiner sind als dieser Wert.

Restwassermenge
Abflussmenge eines Fliessgewässers, die nach einer oder mehreren Entnahmen von Wasser in der Restwasserstrecke verbleibt (Art. 4 Bst. k GSchG).

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

Referenzstrecke
Naturnahe oder natürliche Gewässerstrecke.

Referenzabfluss
Abfluss, der dem natürlichen Abflussregime entspricht z. B. Q347, Q182.

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.

Revitalisierung
Wiederherstellung der natürlichen Funktionen eines verbauten, korrigierten, überdeckten oder eingedolten oberirdischen Gewässers mit baulichen Massnahmen (Art. 4 Bst. m GSchG).

Rheophil
Strömungsliebende Fisch- oder Makrozoobenthosarten.

Rückhaltebecken
Auch Ausgleichsbecken genannt. Offenes Speichervolumen zur Dämpfung von Abflussschwankungen im Zu- oder Auslauf eines Kraftwerkes.

Rückhaltekaverne
Unterirdisches Rückhaltebecken.

Schwallabfluss
Abfluss im Rückgabegewässer in Zeiten mit Kraftwerksbetrieb, bestehend aus der turbinierten Wassermenge und dem im Gewässer vor der Zentrale bereits vorhan-

denen Abfluss (natürlicher Abfluss oder Restwassermenge).

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

Schwall-Sunk sensitive Indikatoren
Indikatoren, welche auf Schwall-Sunk reagieren aber nach heutigem Wissensstand nicht ausreichend prognostizierbar sind.

Schwall-Sunk Verhältnis
Verhältnis maximaler Schwallabfluss zu minimalem Sunkabfluss.

Schwebstoffe
Feststoffe mit einem Durchmesser < ca. 2mm (Sand, Silt, Ton), welche in turbulenten Strömungen wegen ihrer kleinen Sinkgeschwindigkeit von der Sohle abgehoben und über eine grössere Distanz schwebend transportiert werden.

Sensitivitätsanalyse
Untersuchung der Veränderung eines Resultates bei Änderungen einzelner Parameter. Bei Schwall-Sunk Massnahmen z. B. in Bezug auf den Parameter «Kosten».

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

Speichervolumen
Volumen zur Speicherung von Wasser zum Rückhalt von Schwall-Sunk.

Stagnophil
Stillgewässerliebende Fisch- oder Makrozoobenthosarten.

Strategische Planung
Planung, welche von den Kantonen gestützt auf Art. 83b GSchG durchgeführt wurde.

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

Swissgrid
Nationale Netzgesellschaft.

Systemdienstleistungen (SDL)
Dienste, die eine sichere und permanente Stromversorgung gewährleisten sollen. Sie sorgen für einen ständigen Ausgleich zwischen Verbrauch und Produktion. Mit SDL verpflichtet sich ein Kraftwerk, bei einem Stromüberschuss oder -mangel im Netz innerhalb kurzer Zeit (im Sekunden- oder Minutenbereich) regulatorisch einzugreifen.

Taxa
Eine systematische Einheit von Lebewesen, z. B. stagnophile Makrozoobenthosarten sind eine Taxa.

Test-Kit
Packet von einem oder mehreren Tests, welche direkt im Gewässer durchgeführt werden können und Hinweise zur Beeinträchtigung durch Schwall-Sunk liefern können. Siehe z. B. Indikator F3* Anhang C.

Trübung
Verminderung der Wasserdurchsichtigkeit, verursacht durch einen erhöhten Schwebstoffgehalt.

Umsetzungskontrolle
Überprüfung der Umsetzung einer Massnahme.

Untersuchungsstelle
Stelle im Gewässer, an welcher die Untersuchungen zu den Indikatoren durchgeführt werden.

Ursachenanalyse
Untersuchung der Ursachen, welche den erhobenen Defiziten zu Grunde liegen.

Verlaichung
Prozess der Laichsetzung der Fische.

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 turbiniertes Wasser aus einer Kraftwerkszentrale wieder ins (Rückgabe-) Gewässer geleitet wird.

Wasserwechselzone (WWZ)
Bei Schwall benetzter und bei Sunk trockenfallender Bereich der Gewässersohle.

Wertefunktion
Funktion zur Beurteilung der Indikatoren (Feldaufnahmen und Modellierungsresultate) und Unterteilung in Zustandsklassen.

Wirkungskontrolle
Überprüfung ob die Massnahme die gewünschte Wirkung erzielt.

Zusatzindikatoren
Indikatoren, welche nach heutigem Wissensstand nicht besonders Schwall-Sunk sensitiv sind, jedoch in bestimmten Fällen zusätzliche Informationen zum Gewässerzustand liefern können.

(übergeordnetes) Ziel
Beseitigung der wesentlichen Beeinträchtigung (bei Sanierungen) oder Verhinderung der wesentlichen Beeinträchtigung (bei Neuanlagen).

(konkrete) Ziele
Beziehen sich auf die Erreichung einer Zustandsklasse für die einzelnen biotischen und abiotischen Indikatoren zur Beseitigung bzw. Verhinderung von Beeinträchtigungen.

Zielwerte
Es sind Grenzwerte der hydrologischen Kenngrössen, gepaart mit einem Quantil zur Einhaltung, welche in Wechselwirkung stehen mit den Indikatoren.