

Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare

Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe

Steffen Schweizer, Stephanie Schmidlin, Diego Tonolla, Peter Büsser, Matthias Meyer, Judith Monney, Sandro Schläppi, Matthias Schneider, Jeff Tuhtan, Kurt Wächter

Zusammenfassung

In der Hasliaare wurden zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen durchgeführt, die eine sehr gute Basis für eine Bewertung anhand der BAFU-Vollzugshilfe «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» bieten. Im Rahmen einer Begleitgruppe (Bundesamt für Umwelt und Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern) wurde ein Expertenteam (Limnex AG, Eawag, Büsser, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) damit beauftragt, alle Indikatoren der Vollzugshilfe anzuwenden. Bei der Beurteilung musste auch der Einfluss der Morphologie berücksichtigt werden. Zusätzlich waren Anpassungen in der Methodik (BAFU-Vollzugshilfe) erforderlich. Während einem gemeinsamen Workshop legten das Expertenteam und die Begleitgruppe die endgültige Bewertung für alle Indikatoren und für die verschiedenen Flussabschnitte fest. Dabei zeigte sich, dass für eine erfolgreiche Sanierung der Schwallstrecke sowohl hydrologische als auch morphologische Verbesserungen nötig sind.

Abstract

A number of ecological and hydraulic studies have been carried out in the Hasliaare River in accordance with the BAFU (Federal Office for the Environment) guidance document «Hydropeaking Mitigation – Strategic Planning». Under the auspices of a monitoring group (Swiss Federal Office for the Environment, Cantonal Bureau for Water and Waste) an expert team (Limnex AG, Eawag, Büsser, EPFL, Schneider & Jorde Ecological Engineering) was assembled in order to apply the full catalog of indicators in the guidance document. Moreover, morphological effects were included in the assessment, and for some indicators it was necessary to make adjustments to the proposed methodology. The results and recommendations for the indicators in different investigation reaches were determined during a workshop including both the monitoring group and the expert team. Finally, it was determined that for a successful mitigation of the hydropeaking impacts both, hydrological and morphological measures are required.

minimaler Abfluss) möglich, bzw. in bestimmten Fällen kann die Sanierung auch aus einer Kombination von baulichen und betrieblichen Massnahmen bestehen.

Die Kosten für die Sanierungsmassnahmen werden vom Stromkonsumenten durch eine Abgabe von 0.1 Rappen pro kWh getragen (wobei diese Beiträge auch für die Sanierung der Aspekte Geschiebehaushalt und Fischgängigkeit verwendet werden). Die Umsetzung der Schwall/Sunk-Sanierung ist in vier Phasen gegliedert:

- Phase 1: Beurteilung des Ist-Zustands (Defizitanalyse). Der Kanton klärt, ob eine wesentliche Beeinträchtigung durch die künstlichen Pegelschwankungen im Sinne des Gesetzes vorliegt.
- Phase 2: Bei einer wesentlichen Beeinträchtigung erarbeitet das Kraftwerk verschiedene Sanierungsmassnahmen. Der Kanton und das BAFU verfügen die umzusetzende(n) Sanierungsmassnahme(n).
- Phase 3: Das Kraftwerk setzt die verfügte(n) Massnahme(n) um und wird entschädigt.
- Phase 4: Nach Umsetzung der Massnahme(n) wird eine Erfolgskontrolle durchgeführt.

1. Einleitung

Wasserkraftwerke mit grossen Speichersseen können die Stromerzeugung variabel gestalten und tragen auf diese Weise einen grossen Teil zur Netzstabilität bei. Gleichzeitig führt die flexible Stromproduktion jedoch zu einer unregelmässigen Wasserrückgabe in den Vorfluter. Dadurch wird das Abflussregime unterhalb der Wasserrückgabe in zweifacher Weise verändert (Schwall/Sunk):

- Saisonale Verschiebung des Abflusses vom Sommer in den Winter
- Kurzfristige Änderungen im Abfluss.

Für die aquatischen Organismen und die Bewohner der Wasserwechselzone kön-

nen sich die Auswirkungen dieser künstlichen Pegelschwankungen unterschiedlich stark ausprägen (z.B. Schweizer et al., 2009). Mit der 2011 in Kraft getretenen Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sollen unter anderem die wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall/Sunk behoben werden. Dafür sind in erster Linie bauliche Massnahmen (z.B. Beruhigungsbecken zur Reduktion der Geschwindigkeit von Abflusszu- oder -abnahme oder Direktableitung in ein grösseres Gewässer) geplant. Auf Kraftwerksantrag sind aber auch betriebliche Massnahmen (freiwillige Einhaltung von Grenzwerten wie z.B. maximaler oder

In der vom BAFU herausgegebenen Vollzugshilfe «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» (Baumann et al., 2012) werden insgesamt zwölf Indikatoren beschrieben, mit denen für die Phase 1 bestimmt werden kann, ob in einem bestimmten Gewässer eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk vorliegt. Bis Ende 2014 müssen diese Abklärungen von den Kantonen durchgeführt werden. Zur Unterstützung der Kraftwerke und der kantonalen Fachstellen werden aktuell für die Phasen 2 und 3 zusätzliche Bewertungsmethoden erarbeitet.

2. Situation Oberhasli

Untersuchungsprogramm

Bei den Kraftwerken Oberhasli AG (KWO) erfolgt die Wasserrückgabe in die Hasliaare über die zwei Zentralen Innertkirchen 1 (Speicherstufe mit max. Wasserdurchfluss von heute 40 m³/s) und Innertkirchen 2 (Laufwasser mit max. Wasserdurchfluss von heute 30 m³/s). Im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus wird die Zentrale Innertkirchen 1 mit einer zusätzlichen Turbine erweitert, womit die künftige maximale Wasserrückgabe um 25 m³/s erhöht wird (Schweizer et al., 2012a). Die technischen und ökologischen Planungen dieser Kraftwerkserweiterung begannen bereits Jahre vor dem Inkrafttreten der Revision des GSchG (Schweizer et al., 2008). Im Auftrag der KWO führten verschiedene Umwelt- und Ingenieurbüros (Limnex, Büsser, Schneider & Jorde Ecological Engineering, AquaTerra, Herzog, BWU) sowie Forschungseinrichtungen (Eawag, EPFL, FH Fribourg) umfassende gewässerökologische Untersuchungen in der Hasliaare durch (Schweizer et al., 2013a).

Die dabei gewonnenen Ergebnisse erlauben eine vollständige Bewertung des Ist-Zustands anhand der BAFU-Vollzugshilfe (Baumann et al. 2012).

Morphologie der Schwallstrecke

Unterhalb von Innertkirchen lässt sich die Hasliaare in vier verschiedene morphologisch identische Abschnitte gliedern:

- Bühnenstrecke Innertkirchen (0.7 km)
- Aareschlucht (1.9 km)
- Kiesbankstrecke Meiringen (1.4 km) (Bild 1a und 1b)
- Kanalstrecke Meiringen bis Brienersee (11.5 km)

Ein ausführlicher Beschrieb der Schwallstrecke, des natürlichen und aktuellen Abflussregimes sowie der gewässerökologischen Untersuchungen finden sich in Schweizer et al. (2013a). Aufgrund starker Beschattung und seitlicher Einengung wurde die Aareschlucht bei der Bewertung nicht berücksichtigt.

Für die Untersuchungen wurde zusätzlich auch die benachbarte Lüttschine als Referenzgewässer herangezogen (Schweizer et al., 2013a). Die Lüttschine wird durch die Wasserkraft geringfügig genutzt und eignet sich aufgrund der ähnlichen Einzugsgebietscharakteristik (Grösse, Vergletscherung) und Flussmorphologie als Referenzgewässer.

3. Begleitgruppenprozess und Vorgehen

Im Rahmen dieser Fallstudie wurde die BAFU-Vollzugshilfe zum ersten Mal vollständig angewendet. Die Bewertung wurde von einem Expertenteam (Limnex, Eawag, Büsser, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) durchgeführt und die dafür notwendigen Arbeitsschritte in einer Begleitgruppe diskutiert und festgelegt. In der Begleitgruppe vertraten Manfred Kummer, Diego Tonolla und Martin Huber-Gysi das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Judith Monney das Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA).

Die ökologische Bewertung wird sowohl vom Abflussregime als auch von der Morphologie beeinflusst. Daher erfolgte je Indikator eine separate Bewertung für die Bühnen-, Kiesbank- und Kanalstrecke. Die endgültige Gesamtbewertung je Indikator erfolgte im Rahmen eines Workshops mit Expertenteam und Begleitgruppe. An dieser Veranstaltung nahmen

Daniel Hefti (BAFU) und Vinzenz Maurer (AWA) zusätzlich teil.

4. Konstruktion und Anwendung repräsentativer Abflussganglinien

Für die Anwendung mehrerer Indikatoren (z.B. F2 Stranden von Fischen oder F3 Laichareale der Fische) werden verschiedene hydrologische Eingangsgrössen benötigt. Dafür wurde der Betrachtungszeitraum vom Expertenteam festgelegt und anhand statistischer Werte für jeden Gewässerabschnitt eine repräsentative Abflussganglinie definiert.

Systemdienstleistungen und Abflussregime

Vor wenigen Jahren orientierte sich die Stromproduktion in Innertkirchen hauptsächlich am Strompreis und an der Wasserverfügbarkeit. Seit dem Jahr 2008 stellt die KWO Systemdienstleistungen (SDL) bereit, womit sich das Betriebsregime deutlich verändert hat. Mit einer SDL verpflichtet sich ein Kraftwerk, bei einem Stromüberschuss oder -mangel im Netz innerhalb kurzer Zeit (im Sekunden- oder Minutenbereich) regulatorisch einzugreifen. Dieser wichtige Beitrag zur Netzstabilität wird einem Kraftwerk finanziell entschädigt. In den meisten Fällen werden die Kraftwerke auf halber Last gefahren, um je nach Bedarf kurzfristig mehr oder weniger Strom ins Netz einspeisen zu können. Verglichen mit der früheren Situation führt die Bereitstellung von SDL zu einer insgesamt weniger stark schwankenden Stromproduktion aus Wasserkraft. Dementsprechend erfolgt auch die Wasserrückgabe tendenziell homogener und die künstlichen Pegelschwankungen fallen weniger deutlich aus. Mit der geplanten



Bild 1a und 1b. Hasliaare im Raum Meiringen (Kiesbankstrecke) bei niedrigem (links, ca. 3 m³/s) und mittlerem (rechts, ca. 60 m³/s) Abfluss.

Energiewende werden die Anteile von Photovoltaik und Wind am Energiemix künftig erhöht. Da die Stromproduktion dieser Energiequellen nur bedingt vorhersagbar und nicht planbar ist, dürften die Schwankungen im Stromnetz tendenziell weiter zunehmen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass sich künftig die Bedeutung der Wasserkraft für die Netzstabilität weiter erhöht und damit auch vermehrt SDL angeboten werden.

Betrachtungszeitraum

Im Einzugsgebiet der KWO fallen die relativen Änderungen des Abflusses und der Lebensraumbedingungen während den Wintermonaten am stärksten aus. In dieser Jahreszeit finden zudem diverse gewässerökologische Schlüsselprozesse (u.a. Laichzeit der Salmoniden, Entwicklung der meisten Insektenlarven) statt. Daher konzentrierten sich die gewässerökologischen Beurteilungen vorwiegend auf das Winterhalbjahr. Für bestimmte Fragestellungen (z.B. Jungfischhabitate) wurden weitere Jahreszeiten miteinbezogen. Aufgrund energiepolitischer und gewässerökologischer Überlegungen wurde von der Begleitgruppe und dem Expertenteam beschlossen, die Bewertungen v.a. auf die Abflussganglinien der Wintermonate von 2008 bis 2012 abzustützen.

Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien anhand statistischer Kennwerte

Allgemein lassen sich die künstlichen Abflussverhältnisse anhand der Schwall- und Sunkrate sowie dem minimal und maximal auftretenden Abfluss hydrologisch relativ gut beschreiben (Bruder et al., 2012a). Mit diesen hydrologischen Kennwerten kann anschliessend eine repräsentative Schwall/Sunk-Abflussganglinie (Bild 2) konstruiert werden. Die Bestimmung dieser Kennwerte erfolgte anhand der 95%-Perzentile (basierend auf den täglichen Extremwerten). Die natürliche Dynamik im Abflussverhalten und die Widerstandsfähigkeit der aquatischen Gemeinschaft bei Extremereignissen rechtfertigen die Konzentration auf das 95%-Perzentil. Allerdings flossen bei bestimmten Fragestellungen auch die Werte der 100%-Perzentile in die ökologische Bewertung mit ein. Für die drei betrachteten Gewässerabschnitte wurde je eine repräsentative Ganglinie konstruiert.

Schwall- und Sunkraten im Längsverlauf
Aufgrund grossmassstäblicher Rauheiten treten im Längsverlauf zwischen den

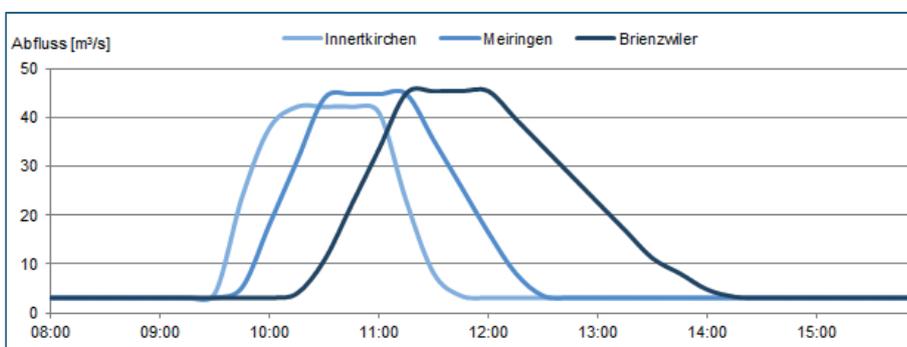


Bild 2. Repräsentative Abflussganglinien (auf Basis von 95%-Perzentilen) für die Flussabschnitte «Buhnenstrecke Innertkirchen», «Kiesbankstrecke Meiringen» und «Kanalstrecke Brienzwiler».

einzelnen Abschnitten deutliche Dämpfungseffekte bei den Abflussgradienten auf (LCH 2010): Die Schwallraten nehmen von $1.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ in Innertkirchen auf $0.76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ in Brienzwiler deutlich ab (Schweizer et al., 2013b). Bei den Sunkraten wurden in erster Linie die tiefen Abflussbereiche betrachtet, da nur unterhalb $8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ein Stranden von Fischen potenziell möglich ist (Kap. 5.3). Mit Werten von $0.70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ in der Buhnen- und $0.22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ in der Kanalstrecke kann auch für die Sunkraten eine markante Dämpfung beobachtet werden. Sowohl die Schwall- als auch die Sunkraten liegen in der gesamten Schwallstrecke weit über den Abflussschwankungen, die natürlicherweise auftreten würden.

Maximaler und minimaler Abfluss im Längsverlauf

Zwischen 2008 und 2012 betrug der maximale Winterabfluss in Innertkirchen $42.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (95%-Perzentil) bzw. $52.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (100%-Perzentil) und lag damit deutlich unter dem Schwellenwert für ein Aufreissen der Sohlendeckschicht ($150\text{--}180 \text{ m}^3/\text{s}$, Hartlieb et al., 2007). Die theoretisch maximale Wasserrückgabe ($70 \text{ m}^3/\text{s}$) wurde seit 1990 nur zweimal erreicht. Im Längsverlauf führen die seitlichen Zuflüsse zu einer leichten Erhöhung des Maximalabflusses um bis zu $3.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Infolge einer Vereinbarung zwischen KWO und dem Kanton Bern beträgt der Mindestabfluss in der Hasliaare heute $3 \text{ m}^3/\text{s}$ (heutiges 95%-Perzentil $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$, natürlicher Niedrigwasserabfluss = $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$). Während der Niedrigwasserperiode sind die seitlichen Zuflüsse vernachlässigbar.

Modellierung der Lebensräume

Die repräsentativen Ganglinien wurden u.a. für eine Habitatmodellierung der drei Untersuchungsabschnitte verwendet. Als Software wurde dafür das Modellsys-

tem CASiMir (www.casimir-software.de, Jorde, 1997, Schneider, 2001) gewählt. Die CASiMir-Modellierung verknüpft hydraulische Aspekte mit biologischen Lebensraumsprüchen, wobei explizit die dabei auftretende Unschärfe mit einer Fuzzy-Logik (Zadeh, 1965) berücksichtigt wird. Damit konnten sowohl die Habitategnungen für den Lebenszyklus der Bachforelle (Person et al., 2013) als auch für verschiedene Wasserinsekten (Tanno et al., 2013) modelliert werden.

5. Bewertung anhand der BAFU-Indikatoren

Die Ergebnisse des umfangreichen Untersuchungsprogramms (Schweizer et al., 2013a) erlauben eine vollständige Anwendung der BAFU-Vollzugshilfe (Tabelle 1). Im Rahmen eines Workshops wurde von den beteiligten Gewässerexperten die definitive Bewertung je Indikator festgelegt. Dabei mussten bei einzelnen Indikatoren methodische Anpassungen vorgenommen und für jeden Indikator eine Gesamtbewertung über alle drei betrachteten Gewässerabschnitte durchgeführt werden.

5.1 Abiotische Indikatoren

Gemäss Vollzugshilfe sind für die Bewertung des Indikators *H1 Kolmation* die Aspekte hochwinterliche Schwebstoffkonzentration (während einem Schwallereignis) sowie die Morphologie der Schwallstrecke massgebend. Werden ausschliesslich diese Parameter herangezogen, ergäbe dies sowohl für die Hasliaare als auch für die Lütshine eine Einteilung mit der Klasse mässig (gelb) oder schlechter.

Andererseits wurde in der Schwallstrecke bei der Mehrzahl der durchgeführten Feldmessungen eine schwache bis mittlere innere Kolmation festgestellt (Limnex, 2012). Hinzu kommen die biologischen Feldversuche vom Winter 2011/2012. Dabei wurden künstlich befruchtete Fisch-

Indikator	Anpassungen	Schwallstrecke Hasliaare				Lütschine	
		Bu	Ki	Ka	Gesamtbewertung	Ki	Ka
H1 Innere Kolmation	Messungen	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
A1 Mindestabfluss		Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
Q1 Wassertemperatur		Grün	Grün	Grün	Grün	Blau	Blau
B1 Biomasse MZB		Gelb	Gelb	Blau	Gelb	Blau	Gelb
B2 MSK Modul MZB		Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
B3 Längenzonation MZB	Referenz Lütschine	Grün	Blau	Blau	Blau	Blau	Blau
B4 EPT-Familien		Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
F1 MSK Modul Fische		Gelb	Gelb	Gelb	Gelb	Blau	Blau
F2 Stranden von Fischen	Wertefunktion	Gelb	Gelb	Grün	Gelb	Blau	Blau
F3 Laichareale der Fische	Annahme hinsichtlich Substrat	Grün	Grün	Grün	Grün	Blau	Blau
F4 Reproduktion der Fischfauna		Rot	Rot	Rot	Rot	Blau	Blau
F5 Fischereiliche Produktivität	Wertefunktion	Gelb	Gelb	Gelb	Gelb	Blau	Blau

Tabelle 1. Bewertung der Hasliaare und der Lütschine (Referenzgewässer) anhand der Indikatoren der BAFU-Vollzugshilfe. Klasseneinteilung: blau = sehr gut, grün = gut, gelb = mässig, orange = unbefriedigend, rot = schlecht, grau = nicht bewertet. Abkürzungen: Bu = Bühnenstrecke, Ki = Kiesbankstrecke, Ka = Kanalstrecke, MZB = Makrozoobenthos, MSK = Modulstufenkonzept, EPT = Familien der Eintagsfliegen-, Steinfliegen- und Köcherfliegenlarven.

er in Laichboxen in der Sohle vergraben und im darauf folgenden Frühjahr die Überlebensraten des Laichs untersucht (Schweizer et al., 2013a). Das Überleben von über 90% der Eier dokumentiert die ausreichende Zufuhr an Frischwasser, die nur bei einer geringen oder mittleren inneren Kolmation der Sohle möglich ist. Aufgrund dieser direkt im Feld erhobenen Werte und dem Vergleich mit dem Referenzgewässer (Lütschine) wurde dieser Indikator mit der Klasse Grün bewertet.

Mit der kantonalen Vereinbarung, die für die Hasliaare einen minimalen Abfluss von 3 m³/s festlegt (Kap. 4), wird die Vorgabe des Indikators **A1 Mindestabfluss** für die Klasse Grün erfüllt.

Für die Anwendung des **Indikators Q1 Wassertemperatur** sind fünfjährige Messreihen mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten vorgesehen. Eine dementsprechende Datenreihe ist allerdings nur für den Pegel Brienzwiler (Kanalstrecke) vorhanden. Für die beiden oberen Abschnitte liegen nur Messdaten für jeweils ein Jahr mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde vor (Schweizer et al., 2013a). Auf Basis von Analogieschlüssen konnten aber auch diese beiden Abschnitte nachvollziehbar bewertet werden (Limnex, 2012). Bei einem Vergleich mit der Lütschine zeigte sich, dass die täglichen Temperaturänderungsraten in der Hasliaare etwas höher ausfallen und im Mittel rund doppelt so viele Temperaturpeaks pro Tag auftreten. Damit liegen die

gemessenen Wassertemperaturen und deren Verlauf in der Hasliaare gemäss Vollzugshilfe allerdings immer noch im Bereich der Klasse Grün.

5.2 Indikatoren Makrozoobenthos (MZB)

Die relativ grosse Anzahl von MZB-Probenahmen erlaubt eine sehr gut abgestützte Bewertung aller vier Indikatoren, die den Zustand der Wirbellosen beschreiben (Schweizer et al., 2013a).

Bei den biologischen Aufnahmen zeigte sich, dass die Biomasse des MZB im Vergleich zu Referenzgewässern reduziert ist (Dückelmann, 2001, Schweizer et al., 2013a). Dies ist sehr wahrscheinlich auf eine erhöhte Verdriftung bei einer schnellen Zunahme des Abflusses zurückzuführen (Limnex, 2009). Etwas überraschend wurde in der Kanalstrecke eine deutlich höhere Biomasse bestimmt (Klasse Blau) als in den beiden morphologisch vielfältigeren Abschnitten (Klasse Gelb). Da dies u.U. auch auf methodische Gründe bei den Probenahmen (lokale Dominanz von Würmern) zurückzuführen ist, wurde für den Indikator **B1 Biomasse MZB** eine Gesamtbewertung mit der Klasse Gelb festgelegt.

Dagegen zeigten die beiden Indikatoren **B2 Modulstufenkonzept Modul Benthos** und **B4 EPT-Familien** (Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven), die jeweils die Artenvielfalt in einem Gewässer beschreiben, für alle Abschnitte die Klasse Grün an. Dementsprechend wurde diese

Bewertungsklasse auch für die Gesamtbewertung übernommen.

Im Längsverlauf eines Gewässers verändern sich die hydraulischen, thermischen und morphologischen Eigenschaften. Dies führt dazu, dass mit der jeweiligen Flussregion auch die Zusammensetzung der aquatischen Arten variiert (Vannote, 1980). Mit dem Indikator **B3 Längenzonation** wird bestimmt, ob es infolge von veränderten hydraulischen Bedingungen (z.B. höhere Fliessgeschwindigkeiten bei Schwall) zu einer Verschiebung der Artengemeinschaft kommt (Cérèghino et al., 2002). Bei der Anwendung dieses Indikators ist die Referenzregion entscheidend, die sich an der Fischregion orientiert. Aus fischökologischer Perspektive kann die Hasliaare als obere Forellenregion oder als Übergang zwischen unterer und oberer Forellenregion eingestuft werden. Je nach gewählter Fischregion unterschieden sich allerdings die Ergebnisse für diesen Indikator um mindestens eine Klasse. Daher wurden die in der Lütschine angetroffenen Arten mit in die Betrachtung einbezogen und für die Bestimmung der Referenzregion (Übergang obere zur unteren Forellenregion) verwendet. Auf diese Weise resultieren für die Abschnitte der Lütschine sowie für die Kiesbank- und die Kanalstrecke der Hasliaare jeweils die blaue und für die Bühnenstrecke die grüne Bewertungsklasse (Tabelle 1). Gesamthaft wurde die Schwallstrecke mit der Klasse Blau bewertet (Limnex, 2012).

5.3 Indikatoren Fische

Der Indikator **F1 MSK Fische** berücksichtigt die folgenden Kriterien, die mit Malus-Punkten bewertet werden können (Schager & Peter, 2004):

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

Während bei den ersten beiden Aspekten keine Beeinträchtigungen (für alle Gewässerabschnitte) festzustellen sind, wurden aufgrund der sehr geringen Dichte an jungen und adulten Fischen für die letzten beiden Punkte jeweils die maximale Anzahl an Malus-Punkten vergeben. Diese Einschätzung trifft auf alle Gewässerabschnitte zu, womit sich eine Gesamtbeurteilung von «mässig» (Klasse Gelb) ergibt.

Die Bewertung des Indikators **F2 Stranden von Fischen** erfolgt anhand folgender Arbeitsschritte:

- Anteil trockenfallender Fläche bei Sunkabfluss an der benetzten Fläche bei Schwallabfluss
- Pegelrückgangsrates
- Anzahl gestrandeter Fische je 100 m Fließlänge
- Betrachtung der Aspekte (i) bis (iii) für die Gesamtbeurteilung von Indikator F2.

(i) Trotz der eingeschränkten Flussbreite allen bei Sunkabfluss über 30% der Fläche in der Bühnen- und Kiesbankstrecke trocken (Klasse Rot). Dagegen ist die morphologische Beeinträchtigung in der Kanalstrecke so stark ausgeprägt, dass sich die benetzte Fläche wischen Sunk- und Schwallabfluss nur um 16% verändert (Klasse Grün). Methodisch bedingt schnei-

	Bühnenstrecke	Kiesbankstrecke	Kanalstrecke
(i) Trockenfallende Fläche			
(ii) Pegelrückgangsrates			
(iii) Beobachtung gestrandeter Fische			
(iv) Gesamtbewertung Indikator F2			

Tabelle 2. Unterindikatoren und Gesamtbewertung des Indikators F2 Stranden von Fischen (Bedeutung der Farben entsprechend Tabelle 1).

det bei diesem Kriterium eine monotone Flussform positiver ab als eine vielfältige Morphologie. Allerdings ist auch in einem schwallbeeinflussten Gewässer eine hohe morphologische Variabilität als ökologisch wertvoller einzustufen.

(ii) Für die Beurteilung der Pegelrückgangsrates müssen in einem ersten Schritt die Stellen identifiziert werden, wo die Gefahr besteht, dass Fische bei einem abrupten Abflussrückgang stranden können (*Bild 3*). Anschliessend wird der kritische Abfluss bestimmt, bei dem der höchste Punkt der Fischfalle mit 20 cm überflossen wird und somit der laterale Weg zum Hauptgerinne behindert wird (Halleraker et al., 2003, Limnex, 2004, Irvine et al., 2009). Für die Bewertung sind ausschliesslich die Pegelrückgangsrates relevant, die bei Abflüssen unterhalb dieses kritischen Abflusswerts auftreten. Für die Hasliaare erfolgte die Durchführung dieser einzelnen Schritte auf Basis der repräsentativen Ganglinien (*Bild 2*) und der CASiMiR-Modellierung (Schneider & Jorde Ecological Engineering, 2012). Da ausschliesslich in der Kiesbankstrecke potenzielle Fischfallen auftreten, wurde lediglich dieser Abschnitt für die weitere Beurteilung dieses Kriteriums berücksichtigt. Der kritische Abfluss liegt dort bei 8.1 m³/s. In diesen tiefen Abflussbereichen liegen die Pegelrückgangsrates bei 0.8 cm/

min (95%-Perzentil) und damit deutlich über dem Sollwert von 0.5 cm/min (Baumann et al., 2012). Dies führt zu einer Bewertung mit der Signalfarbe Rot (*Tabelle 2*).

(iii) Im Jahr 2012 wurde bei der Begehung während extremem Niedrigwasserabfluss eine am Ufer gestrandete Bachforelle in der Bühnenstrecke entdeckt (Linxex, 2012). In den beiden anderen Abschnitten wurden keine gestrandeten Fische gefunden. Somit schneidet der Abschnitt in Innertkirchen mit der Klasse Grün und die beiden anderen Abschnitte jeweils mit der Klasse Blau ab (*Tabelle 2*). Allerdings dürfte auch die geringe Fischdichte in der Schwallstrecke (Haas & Peter, 2009) einen Einfluss auf die Anzahl gestrandeter Fische ausüben. Da bei diesem Indikator aber ausschliesslich das Strandungsrisiko beurteilt wird, floss der Umstand der geringen Fischpopulation nicht in die Bewertung ein.

(iv) Für die Gesamtbewertung des Indikators F2 sind insgesamt nur die Klassen Blau, Grün und Rot vorgegeben (Baumann et al., 2012). Da die Beurteilung der einzelnen Abschnitte mit den drei Kriterien (i–iii) kein eindeutiges Bild ergibt (*Tabelle 2*), wurden für die Gesamtbewertung (iv) auch Bewertungsklassen zwischen Grün und Rot zugelassen. Während die Kanalstrecke relativ eindeutig mit der Klasse Grün bewertet werden kann,

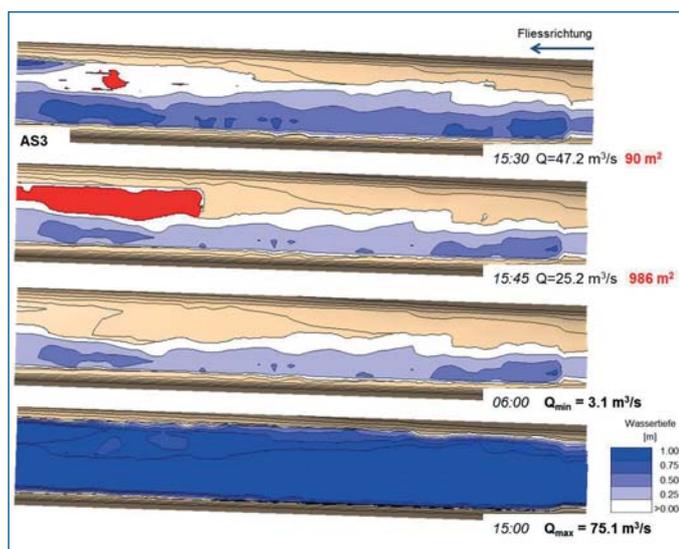


Bild 3. Lage einer potenziellen Fischfalle in der Kiesbankstrecke (rot eingefärbt).

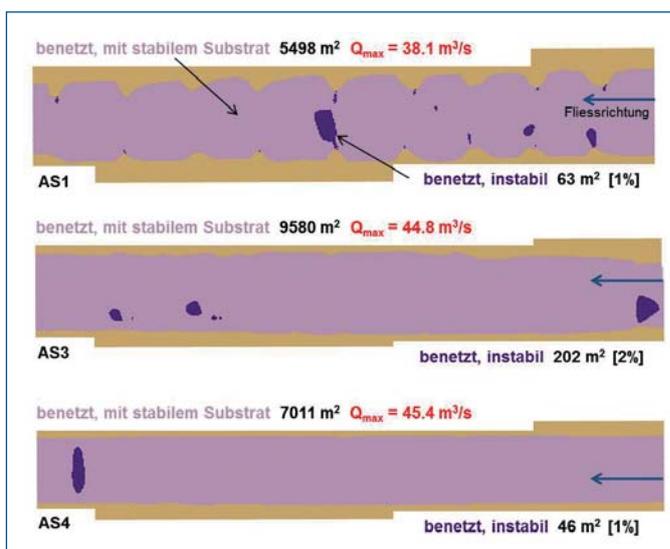


Bild 4. Stabile Flächen bei Schwall (lila) und Zonen mit instabilem Sohlensubstrat (dunkel-lila). AS1 = Bühnen-, AS3 = Kiesbank- und AS4 = Kanalstrecke.

dürfte bei den beiden oberen Abschnitten das Risiko des Strandens etwas höher liegen. Daher wurden diese Strecken mit der Klasse Gelb bewertet.

Auch für die Bewertung des Indikators **F3 Laichareale von Fischen** sieht die BAFU-Vollzugshilfe ein mehrstufiges Vorgehen vor. Dabei wird für jeden Schritt die heutige Situation mit Kraftwerksbetrieb mit dem natürlichen Abflussregime verglichen:

(i) Bestimmung der Flächen, die bei natürlichem Niedrigwasserabfluss und bei Sunkabfluss eine Wassertiefe > 20 cm aufweisen

(ii) Bestimmung der Flächen mit günstigem Substrat für Laichareale

(iii) Bestimmung der Flächen mit stabilem Substrat

(iv) Auswerten der Schnittmengen der Schritte (i) bis (iii) für die Zustände mit und ohne Kraftwerksbetrieb

(v) Vergleich der Werte aus (iv) mit dem Flächenbedarf der Bachforellenpopulation im Ist- und Sollzustand.

(i) Aufgrund der kantonalen Vereinbarung liegt der heutige Minimalabfluss über dem natürlichen Niedrigwasser (Kap. 4). Daher ergibt sich bei Niedrigwasser keine Einschränkung hinsichtlich der Laichflächen.

(ii) Im überwiegenden Teil der Schwallstrecke sind die Korngrößen tendenziell zu gross für das Ablachen von Bach- und Seeforellen. Wie hydraulische Untersuchungen allerdings zeigen, ist das Fehlen kleinerer Korngrößen nicht auf den Kraftwerksbetrieb zurückzuführen (Schneider & Jorde Ecological Engineering, 2012, KWO, 2012a). Daher wurde von einem ausreichenden Angebot an Laichsubstrat (Korngrösse 30 mm) in der Schwallstrecke ausgegangen. Dies ermöglichte, den Einfluss von Schwall/Sunk auf die Entwicklung des Laichs dennoch möglichst objektiv abschätzen zu können.

(iii) Selbst bei diesen sehr kleinen Korngrößen liegt der Anteil an instabilen Flächen unter 2% (*Bild 4*) und ist daher in der weiteren Betrachtung zu vernachlässigen (Schneider & Jorde Ecological Engineering, 2012).

(iv) Die Auswertung der Schnittmengen der Zustände mit und ohne Kraftwerksbetrieb zeigen für die Schritte (i) bis (iii) eine nahezu vollständige Übereinstimmung.

(v) Die Auswertung der Schritte (i) bis (iv) zeigt, dass nur ein geringer Einfluss des Abflussregimes auf die Entwicklung des Laichs vorliegt.

Allerdings werden bei diesem Indikator die Fließgeschwindigkeiten während der

Paarungszeit nicht berücksichtigt. Die Kombination der Abflussganglinien im November (Laichzeit) mit der Habitatsmodellierung (Kapitel 4) zeigen jedoch, dass immer wieder genügend grosse Zeitfenster für eine erfolgreiche Paarung zur Verfügung stehen.

Unter Berücksichtigung aller o.g. Umstände wurde dieser Indikator für alle Abschnitte gesamthaft mit der Klasse grün bewertet.

Als Grundlage für die Bewertung des Indikators **F4 Reproduktion der Fischfauna** dienten die Fangergebnisse der Jahre 2009 bis 2011 (Haas & Peter, 2009, Limnex, 2012). Um die Brütlingdichte (0+-Fische) zu bestimmen, wurden jeweils im Mai Abfischungen durchgeführt. Anhand der gefangenen 0+-Fische wurde die Ende Sommer für den Indikator zu berücksichtigende Sömmerlingsdichte abgeschätzt. Bei einer angenommenen Fangwahrscheinlichkeit von 20% und einer geschätzten Mortalität von 50% zwischen Mai und August ergeben sich für die einzelnen Abschnitte Sömmerlingsdichten zwischen 33 und 40 Fische pro Hektar. Diese extrem tiefen Werte führen für alle Fließstrecken zu einer Bewertung mit der Signalfarbe Rot. Die Hauptgründe für diese schlechte Beurteilung liegen in der eintönigen Morphologie, bzw. ist insbesondere auf das Fehlen von geeigneten Jungfischhabitaten zurückzuführen (Schweizer et al. 2013a, Bieri, 2012).

Die Bewertung des Indikators **F5 Fischereiliche Produktivität** orientiert sich an den Aspekten Wassertemperatur, morphologische Variabilität (Lebensraum), Längsnetzwerk, Restwasserführung, Fischregion und Nahrungsverfügbarkeit (Vuille, 1997, Baumann et al. 2012). Angegeben wird die Produktivität als Jahreshektarertrag (JHE). Unter den heutigen Zuständen werden Werte zwischen neun (Buhnenstrecke) und $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Kiesbankstrecke) berechnet. Der für die Hasliaare bestimmte JHE kann somit als gering eingestuft werden. Dieser Wert liegt jedoch in derselben Größenordnung ($10\text{--}20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) wie ein Grossteil der Gebirgsflüsse des Berner Oberlandes (Vuille, 1997). Die in der Vollzugshilfe angegebene Wertefunktion sieht allerdings für einen JHE zwischen $10\text{--}20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ die Bewertungsklasse Orange vor. Deshalb passten die Fischexperten die Wertefunktion für die Hasliaare den regionalen Gegebenheiten an. Die neue Wertefunktion verläuft in Schritten von je $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, beginnend mit der Klasse Rot für $0\text{--}5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Somit ergibt sich für die Buhnen- und Ka-

nalstrecke eine Bewertung mit der Klasse Orange, während die Kiesbankstrecke mit der Klasse Gelb etwas besser abschneidet. Die gesamte Schwallstrecke wurde mit der Klasse Orange bewertet. Grundsätzlich reagiert dieser Indikator sowohl auf das Abflussregime als auch auf die morphologischen Gegebenheiten.

5.4 Wesentliche Beeinträchtigung

Die abiotischen Indikatoren sowie die Indikatoren, welche die Artenvielfalt und -verteilung des MZB beschreiben, schneiden für die Schwallstrecke mit gut oder sehr gut ab. Allerdings zeigen die Indikatoren F1, F2, F4, F5 und B1 eine wesentliche Beeinträchtigung durch den Kraftwerksbetrieb in der Hasliaare an. Während für eine Verbesserung der Indikatoren F1, F4 und F5 eine morphologische Aufwertung zwingend ist, könnten für die Indikatoren F2 und B1 bereits Schwalldämpfende Massnahmen (z.B. Beruhigungsbecken) zu einer Verbesserung führen.

6. Diskussion

Datengrundlage und Sanierungspflicht

Die sehr gute Datengrundlage (Schweizer et al., 2013a) ermöglichte die vollständige Anwendung der zwölf Indikatoren der BAFU-Vollzugshilfe. Aufgrund der wesentlichen Beeinträchtigung liegt für die Hasliaare eine Sanierungspflicht hinsichtlich Schwall/Sunk (Art. 39 a GSchG) vor.

Erfahrungen der Fallstudie Hasliaare

Im Fall der Hasliaare beurteilten die Experten die Indikatoren B2, F1, F5 und H1 als teilweise sensitiv hinsichtlich Schwall/Sunk. Für bestimmte Indikatoren (B2, B3 und B4; B1 und F1; F1 und F4) wurde eine gewisse Redundanz festgestellt. Aufgrund von vergleichenden Untersuchungen in der Lütshine und Feldversuchen in der Hasliaare wurden bestimmte Indikatoren (H1, B3, F2, F3 und F5) den Gegebenheiten im Oberhasli angepasst. Die jeweiligen Modifikationen wurden im Expertenteam diskutiert und gemeinsam festgelegt.

Empfehlungen für die Anwendung der BAFU-Vollzugshilfe

Die Hasliaare ist die erste Schwallstrecke, die mit der Vollzugshilfe vollständig bewertet wurde. Bei der Anwendung des neuen Bewertungssystems an weiteren Flüssen können zusätzliche fachliche und methodische Fragen auftauchen. Aufgrund der hohen Komplexität der gewässerökologischen Zusammenhänge ist eine vollständige Berücksichtigung aller Einflussfaktoren bei der Thematik Schwall/Sunk

äusserst schwierig. Die o.g. Erläuterungen verdeutlichen, dass die Anwendung dieser Bewertungsmethodik daher eine ausreichende Erfahrung in der Thematik Schwall/Sunk voraussetzt. Im Fall der Hasliaare bewährte sich die kontinuierliche Zusammenarbeit zwischen Gewässerexperten, Amts- und Kraftwerksvertretern und ermöglichte eine dem aktuellen Wissensstand entsprechende Anwendung der Bewertungsmethodik.

Trotz bestehender Wissenslücken und methodisch bedingter Unsicherheiten können mit der BAFU-Methodik die bestehenden ökologischen Defizite sehr gut und umfassend analysiert und beschrieben werden. Aus dieser Defizitanalyse lassen sich in einem nächsten Schritt (Phase 2 der Sanierung) konkrete Sanierungsansätze sehr effizient ableiten.

7. Schlussfolgerungen für die konkrete Schwall/Sunk-Sanierung

Berücksichtigung der Morphologie

Wie die Defizitanalyse deutlich aufzeigt, kann eine ökologische Verbesserung nur erreicht werden, wenn sowohl das Abflussregime saniert als auch die Flussmorphologie aufgewertet wird (Kapitel 5.4). Bei den morphologischen Massnahmen ist das Hauptaugenmerk auf die Gestaltung von Lebensräumen für Jungfische zu legen, wobei die Bedürfnisse der adulten Forellen nicht ausser Acht gelassen werden dürfen. Im Rahmen der aktuellen Hochwasserschutzkonzepte und den Ausgleichsmassnahmen zu KWO plus (Schweizer et al., 2012b) liegen bereits konkrete Aufwertungsmassnahmen vor. Inwieweit mit einer Kombination aus morphologischen und hydrologischen Massnahmen die Indikatoren F1, F4 und F5 verbessert werden können, lässt sich zum aktuellen Zeitpunkt nur bedingt mit physikalischen Modellen oder Simulationsrechnungen abschätzen.

Sanierung des Abflussregimes

Unabhängig von der Flussmorphologie zeigen die gewässerökologischen Untersuchungen, dass vor allem die Schwall- und Sunkraten gedämpft werden müssen, um die Reaktionszeiten für die aquatischen Organismen zu verlängern. Die Driftversuche aus dem Jahr 2008 zeigen, dass eine Reduktion der Schwallrate die Verdriftung von Wirbellosen und Jungfischen deutlich verringert (Verbesserung der Indikatoren B1, F1, evtl. auch B2 und B4). Eine geringere Sunkrate bei Niedrigwasser minimiert

zudem das Risiko des Strandens von Fischen (F2). Die verschiedenen Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass die maximal und minimal auftretenden Abflüsse zu keiner extremen Beeinflussung der aquatischen Gemeinschaft führen.

Auf Basis dieser Überlegungen drängt sich daher ein zwischen Wasserrückgabe und Vorfluter geschaltetes Speichervolumen auf. Dies kann in Form eines Beruhigungsbeckens und/oder Speicherstollens realisiert werden. Für ein möglichst effizientes Kosten-Nutzen-Verhältnis ist insbesondere das zur Verfügung stehende Speichervolumen entscheidend. Um die geeignetste Sanierungsvariante nachvollziehbar bestimmen zu können, sind neben technischen Abklärungen daher noch weitergehende hydrologische (Schweizer et al., 2013b) und gewässerökologische (Schweizer et al., 2013c) Studien unabdingbar.

Danksagung

Ein Grossteil der hier beschriebenen Untersuchungen und Schlussfolgerungen ist den detaillierten Vorarbeiten und dem einzigartigen Wissen von Peter Baumann zu verdanken. Insbesondere die vielen Diskussionen haben den Autoren ein tieferes Verständnis in die komplexe Materie der Schwall/Sunk-Problematik ermöglicht. Peter Baumann hinterlässt nicht nur in diesem Projekt, sondern im gesamten Fachbereich der Gewässerökologie eine kaum zu schliessende Lücke.

Für die fachlich hervorragende und die sehr konstruktive Zusammenarbeit bedanken sich die Autoren ganz herzlich bei Manfred Kummer, Martin Huber-Gysi, Daniel Hefti (alle Bundesamt für Umwelt), Vinzenz Maurer (Amt für Wasser und Abfall) sowie Armin Peter und Emilie Person (beide Eawag).

Für die wertvollen Anmerkungen und für das kritische Durchlesen des Manuskripts gebührt ein grosser Dank an Catherine Mathez (BWU), Bernhard Luder (BAFU), Heinz Peter Tscholl, Oliver Kost, Jan Baumgartner und Daniel Fischlin (alle KWO) sowie für Michael Döring (EQCharta).

Literatur

Baumann P., Kirchhofer A. und 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. Diss. EPFL No 5433.
Bruder A., Schweizer S., Vollenweider S., Tonolla D. und Meile T. (2012a): Schwall und Sunk: Auswirkungen auf die Gewässerökologie und

mögliche Sanierungsmassnahmen. «Wasser Energie Luft» 2012(4): 257–264.

Bruder A., Vollenweider S., Schweizer S., Tonolla D. und Meile T. (2012b): Schwall und Sunk: Planung und Bewertung von Sanierungsmassnahmen – Möglichkeiten und Empfehlungen aus wissenschaftlicher Sicht. «Wasser Energie Luft» 2012(4): 265–273.

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

Dückelmann H. (2001): Seehöhen-Biomassen-Beziehung des Makrozoobenthos in österreichischen Fließgewässern. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.

Haas R. & Peter A. (2009): Lebensraum Hasliaare 2009 – eine fischökologische Zustandserhebung zwischen Innertkirchen und Brienzsee. Eawag Kastanienbaum. KTI-Projekt: Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft – Innovative Massnahmen zur Reduzierung der Schwall-Sunk-Problematik.

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

Hartlieb A., Sperer A. und Rutschmann P. (2007): Ausgleichsbecken Innertkirchen. Zwischenbericht zum Modellversuch. Studie der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München.

Irvine R.L., Oussoren T., Bacter J.S. und Schmitdt D.C. (2009): The effects of flow reduction rates on fish stranding in British Columbia. Candad. River Research and Applications 25: 409–415.

Jorde, K. (1997): Ökologisch begründete, dynamische Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken. Dissertation, University of Stuttgart, Germany.

KWO (2012a): Untersuchungen zur Stabilität von Laichgruben in der Schwallstrecke der Hasliaare (Autoren Schweizer S., Meyer M., Schläppi S.).

LCH (2010): Abschätzung der dämpfenden Wirkung von grossmasstäblichen Uferbauarbeiten auf Schwall- und Sunkerscheinungen in der Hasliaare. EPFL-LCH, Lausanne, Rapport LCH Nr. 25/2010, 12 Seiten. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Bieri M. & Meile T.).

Limnex (2004). Möglichkeiten zur Regelung des Schwallbetriebes in der Schweiz. Bericht zuhanden des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 34 S.

Limnex (2009): Schwall-Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchungen von Hasliaare und Lütschine und Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und

Szenarien. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren: Baumann P., Wächter K., Vogel U.).

Limnex (2012): Schwall/Sunk-Bewertung der KWO-Zentralen in Innertkirchen. Bewertung des Ist-Zustands und Varianten zur Bewertung eines zukünftigen Zustands nach Realisierung des Aufbauprojekts KWO plus (mit und ohne Speichervolumen zur S/S-Dämpfung). Bericht im Auftrag der KWO (Autoren: Baumann P., Schmidlin S., Wächter K., Peter A. und Büsser P.).

Person E., Bieri M., Peter A. und Schleiss A. (2013): Mitigation measures for fish habitat improvement in Alpine rivers affected by hydropower operations. *Ecohydrology* 2013, 20 Seiten.

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

Schneider M. (2001): Habitat und Abflussmodellierung für Fließgewässer mit unscharfen Berechnungsansätzen. Dissertation, University of Stuttgart, Germany.

Schneider & Jorde Ecological Engineering (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 KWO (Autoren Schneider M., Kopecki I. und Tuhtan J.).

Schweizer S., Neuner J., Ursin M., Tscholl H. und Meyer M. (2008): Ein intelligent gesteuertes

Beruhigungsbecken zur Reduktion von künstlichen Pegelschwankungen in der Hasliaare. «Wasser Energie Luft» 2008(3): 209–215.

Schweizer S., Neuner J. und Heuberger N. (2009): Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskonzepts. «Wasser Energie Luft» 2009 (3): 194–202.

Schweizer S., Zeh Weissmann H. und Ursin M. (2012a): Der Begleitgruppenprozess zu den Ausbauprojekten und zur Restwassersanierung im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2012(1): 11–17.

Schweizer S., Meyer M., Wagner T. und Zeh Weissmann H. (2012b): Gewässerökologische Aufwertungen im Rahmen der Restwassersanierung und der Ausbauprojekte an der Grimsel. «Wasser Energie Luft» 2012 (1): 30–39.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S. und Wächter K. (2013a): Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. «Wasser Energie Luft» 2013 (3): 191–199.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., Schneider M., Tuhtan J. und Wächter K. (2013a): Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe. «Wasser Energie Luft» 2013(3): 200–207.

Schweizer S., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M. und Stalder P. (2013b): Schwall/Sunk-

Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. Vorgesehen zur Veröffentlichung in «Wasser Energie Luft» 2013(4).

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

Tanno D., Schweizer S. und Robinson C. (2013): Schwall/Sunk in der Hasliaare – Beurteilung der ökologischen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen auf die Makroinvertebratenfauna anhand von physikalischen Habitatmodellen. Vorgesehen zur Veröffentlichung in «Wasser Energie Luft» 2013 (4).

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. und Cushing C.E. (1980): The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130–137.

Vuille T. (1997): Fischereiliches Ertragsvermögen der Patentgewässer im Kanton Bern. Bericht des kantonalen Fischereinspektorats.

Zadeh L.A. (1965): Fuzzy Sets. *Journal of Information and Control* 8: 338–353.

Anschrift des Verfassers

Steffen Schweizer

Kraftwerke Oberhasli AG

Grimselstrasse, CH-Innertkirchen

sste@kwo.ch

Tel. +41 33 982 20 19

terra
vermessungen

terra vermessungen ag

Tel.: 043 500 10 77

terra@terra.ch

www.terra.ch

Unsere Referenz – Rundum zufriedene Kunden

HYDROGRAPHIE | STRÖMUNGSMESSUNG | SEEGRUNDKARTIERUNG