

Steffen Schweizer, Stephanie Schmidlin, Martin Bieri, Peter Büsser, Matthias Meyer, Judith Money, Sandro Schläppi, Matthias Schneider, Diego Tonolla, Jeff Tuhtan und Kurt Wächter

Die erste Schwall-Sanierung der Schweiz: Die Hasliaare als Fallbeispiel

Im Rahmen eines Ausbauprojekts wird die heute maximal mögliche Wasserrückgabe in die Hasliaare von 70 m³/s auf künftig 95 m³/s erhöht. Damit werden die Effekte der künstlichen Pegelschwankungen verschärft. Im Vorfeld wurde daher die gewässerökologische Situation eingehend untersucht und eine ökologische Beurteilung des heutigen Zustands und für künftige Zustände (Ausbau mit verschiedenen Schwalldämpfungsmaßnahmen) durchgeführt. Seit 2013 wird zwischen Kraftwerk und Wasserrückgabe ein Zwischenspeicher (Beruhigungsbecken und Stollen) mit 80 000 m³ Volumen realisiert.

1 Einleitung

Die Vielzahl der Speicherseen in den Alpen ermöglicht es, das vor allem im Sommer zufließende Wasser größtenteils zurückzuhalten und je nach Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt zur Stromproduktion zu verwenden. Dies führt im Vorfluter einerseits zu einer saisonalen Verschiebung des Abflusses vom Sommer in den Winter. Andererseits treten auch regelmäßig kurzfristige Pegelschwankungen im Vorfluter auf (Schwall/Sunk). Für die aquatischen Organismen kann dieses künstliche Abflussregime weitreichende Folgen haben [1].

Die 2011 in Kraft getretene Revision des Schweizerischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sieht vor, dass die wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall/

Sunk bis zum Jahr 2030 behoben werden müssen. Dafür sind in erster Linie bauliche Maßnahmen (z. B. Beruhigungsbecken zur Reduktion der Geschwindigkeit von Abflusszu- oder -abnahme oder Direktableitung des turbinierten Wassers in ein größeres Gewässer) geplant. Auf Kraftwerksantrag können aber auch betriebliche Maßnahmen (freiwillige Einhaltung von Grenzwerten bei der Wasserrückgabe) oder eine Kombination aus beiden Sanierungsformen umgesetzt werden. Die Kosten für die Sanierungsmaßnahmen werden vom Stromkonsumenten durch eine Abgabe von 0,1 Rappen pro kWh getragen. Die Umsetzung der Schwall-Sunk-Sanierung ist in insgesamt vier Phasen gegliedert:

- Defizitanalyse des Ist-Zustands bis Ende 2014 (Phase 1),

- Variantenstudium von möglichen Sanierungsmaßnahmen (Phase 2),
- Umsetzung der ausgewählten Sanierungsmaßnahme (Phase 3) und
- Erfolgskontrolle nach der Umsetzung (Phase 4).

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) nützt das Wasser aus dem Grimsel- und Sustengebiet für eine jährliche Stromproduktion von rund 2 400 GWh/a. Die Wasserentnahme erfolgt an insgesamt 27 Wasserfassungen, wobei ausschließlich im Aaretal (Grimsel) größere Stauseen eine saisonale Speicherung des zufließenden Wassers erlauben. Im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus erweitert die KWO u. a. das Kraftwerk Innertkirchen I. Zur Erhöhung der Stromproduktion und der Leistung wird eine zusätzliche Turbine mit einem Maximaldurchfluss von 25 m³/s ein-



Bild 1: Die Hasliaare: Bühnenstrecke in Innertkirchen (links), Kiesbankstrecke in Meiringen (Mitte), Kanalstrecke unterhalb von Meiringen (rechts) (Quelle: S. Schweizer)

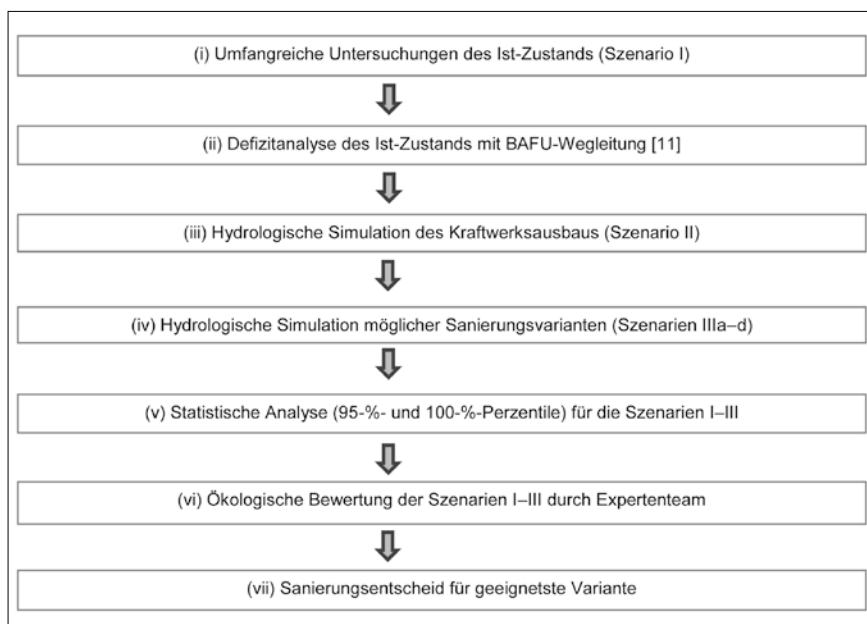


Bild 2: Arbeitsschritte der Schwall/Sunk-Sanierung der Hasliaare (Quelle: nach [10])

gebaut. Ohne Gegenmaßnahmen würde diese Kraftwerkserweiterung zu einer Verschärfung der künstlichen Pegelschwankungen führen. Daher wurden bereits im Vorfeld, und somit mehrere Jahre vor der Revision des GSchG, zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen durchgeführt [2], [3] sowie die Wirkung möglicher Dämpfungsmaßnahmen analysiert [4], [5].

2 Schwall-Strecke und Abflussregime

Die Schwall-Strecke lässt sich in vier morphologisch unterschiedliche Abschnitte gliedern (**Bild 1**):

- Bühnenstrecke in Innertkirchen (Länge 0,7 km, Breite 27 m),
- Aareschlucht (Länge 1,9 km, Breite z. T. <10 m),
- Kiesbankstrecke in Meiringen (Länge 1,4 km, Breite 34 m) und
- Kanalstrecke zwischen Meiringen und Brienzensee (Länge 11,5 km, Breite 20 m).

Aufgrund der sehr hohen Beschattung, der ausgeprägten seitlichen Einengung sowie der stark erschwerten Zugänglichkeit in der Aareschlucht konzentrierten sich die Bewertungen auf die übrigen drei Streckenabschnitte. In diesen ist die Schwall-Strecke morphologisch stark beeinträchtigt.

In Innertkirchen beträgt der mittlere jährliche Abfluss 35 m³/s, der natürliche Niedrigwasserabfluss Q_{347} 2,4 m³/s (basierend auf den Abflussdaten von 1913 bis 1921) und das 2-jährliche Hochwasser

190 m³/s. Sohlenbewegungen treten bei Abflüssen >150 m³/s auf [6]. Das Einzugsgebiet der KWO ist zu rund 20 % vergletschert. Ohne Kraftwerkeinfluss würde ein glazio-nivales Abflussregime für die Hasliaare resultieren.

Die maximalen Wassermengen, die in die Hasliaare zurückgegeben werden können, betragen im Kraftwerk Innertkirchen 1 heute 40 m³/s und künftig 65 m³/s sowie im Kraftwerk Innertkirchen 2 (heute und künftig) 30 m³/s.

Da im Winter die größten Veränderungen des Abflussregimes auftreten, konzentrierten sich die Untersuchungen auf diese Saison. Für die statistischen Analysen wurden die Winterabflüsse seit 2008 verwendet. Die maximale Wasserrückgabe der beiden Kraftwerke in Innertkirchen lag in dieser Zeitspanne bei 53 m³/s. Bei diesen Abflüssen ist die Sohle in der Schwall-Strecke stabil. Eine kantonale Vereinbarung legt den Mindestabfluss in der Hasliaare auf 3 m³/s fest (rund 0,6 m³/s höher als der natürliche Niedrigwasserabfluss). Das 95%-Perzentil liegt für die Schwall-Rate bei 1,36 m³/(s · min) und dürfte eine erhöhte Verdriftung von Wasserinsekten zur Folge haben. Aus ökologischer Sicht ist die Sunk-Rate vor allem für das Stranden von Fischen entscheidend. Das Stranden von Fischen kann in der Hasliaare unterhalb der Wasserrückgabe theoretisch nur bei Abflüssen <8,1 m³/s auftreten [7]. Für diese tiefen Abflussbereiche liegt das 95%-Perzentil der Sunk-Raten bei -0,70 m³/(s · min).

3 Methodisches Vorgehen

In der vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) herausgegebenen Vollzugshilfe „Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung“ [8] werden insgesamt zwölf Indikatoren beschrieben, mit denen bestimmt wird, ob eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk vorliegt (Phase 1, s. Abschnitt 1).

Für das hier beschriebene Fallbeispiel wurden folgende Szenarien untersucht:

- Ist-Zustand (Szenario I),
- Zustand mit Kraftwerksausbau ohne Schwall dämpfenden Maßnahmen (Szenario II),
- Zustand mit Kraftwerksausbau und verschiedenen Schwall dämpfenden Maßnahmen (Szenarien IIIa bis III d).

Die ökologische Beurteilung der verschiedenen Szenarien erfolgte in einer Expertengruppe. Wegen des Fehlens einer Methodik zur Bewertung von Sanierungsvarianten, wurden die zukünftigen Szenarien größtenteils entsprechend der BAFU-Vollzugshilfe bewertet. Im Rahmen einer Begleitgruppe (bestehend aus Vertretern des BAFU, des Amtes für Wasser und Abfall des Kantons Bern sowie der KWO) wurden die einzelnen Arbeitsschritte (**Bild 2**) besprochen und festgelegt.

Das umfassende ökologische Untersuchungsprogramm ermöglichte eine vollständige Defizitanalyse des Ist-Zustands (Szenario I) gemäß BAFU-Vollzugshilfe. Die ökologischen Untersuchungen zeigten, dass sich insbesondere die bestehende Morphologie limitierend auf die Fischfauna auswirkt. Bezüglich Abflussregime wurden vor allem die relativ hohen Schwall-Raten als kritisch identifiziert, da sie eine erhöhte Drift von Wirbellosen auslösen. Außerdem kann der unnatürlich schnelle Abflussrückgang bei tiefen Abflüssen zum Stranden von Fischen führen. Dagegen wurde die Erhöhung der maximalen Abflüsse als weniger kritisch beurteilt. Der heutige minimale Abfluss liegt über dem natürlichen Niedrigwasser (Abschnitt 2).

Für Vergleiche mit fiktiven Zuständen (Szenarien II und III) wurden die 95%- und 100%-Perzentile von minimalem und maximalen Abfluss sowie von Schwall- und Sunk-Raten für alle Szenarien ermittelt.

Basierend auf den Produktionsdaten der letzten Jahre wurde das künftige Betriebsregime der Zentralen in Innertkirchen mit einer groben Marktanalyse abge-

schätzt (Szenario II). In Absprache mit der Begleitgruppe erfolgte eine abgestufte Erhöhung der in den letzten Jahren beobachteten Betriebswassermengen. Dabei wurden allerdings nur die Abflüsse erhöht, bei denen in der Vergangenheit mindestens 50 % der Ausbauleistung für die Stromproduktion ausgeschöpft wurden [5]. Die maximale Erhöhung um $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (entsprechend der künftig zusätzlichen Turbine) erfolgte bei $54 \text{ m}^3/\text{s}$ (etwa 75 % der heutigen Ausbauleistung).

Im nächsten Schritt wurden mögliche bauliche Sanierungstypen diskutiert. Aufgrund sehr hoher Kosten wurde eine Direktableitung des turbinierten Wassers in den 16 km entfernten Brienersee nicht weiterverfolgt. Daher konzentrierten sich die Sanierungsvarianten auf ein Bereitstellen eines Speichervolumens zwischen Turbinenausfluss und Vorfluter. Unter Berücksichtigung der bestehenden Landverhältnisse in Innertkirchen und den zu erwartenden Kosten wurden folgende Speichervolumina als technisch und wirtschaftlich umsetzbar erachtet:

- $V_{\text{Speicher}} = 50\,000 \text{ m}^3$ (Szenario IIIa)
- $V_{\text{Speicher}} = 60\,000 \text{ m}^3$ (Szenario IIIb)
- $V_{\text{Speicher}} = 80\,000 \text{ m}^3$ (Szenario IIIc)
- $V_{\text{Speicher}} = 100\,000 \text{ m}^3$ (Szenario IIId)

Die für das Szenario II erstellte Abflussganglinie bildete die Eingangsgröße für die Simulationen für die Sanierungsvarianten IIIa bis IIId. Bereits zu Beginn der Simulationen zeigte sich, dass die hier betrachteten Volumina nicht ausreichend sind, um größere und länger andauernde Abflussspitzen zu dämpfen. Dagegen lassen sich die Schwall- und Sunk-Raten deutlich reduzieren. In einem ersten Schritt wurde die ökologische Wirkung für eine Dämpfung der Sunk-Raten ermit-

telt. In der Hasliaare kann ein unnatürlich schneller Rückgang im Abfluss hauptsächlich das Risiko für das Stranden von Fischen erhöhen. Aufgrund der bestehenden Morphologie können Fische nach den Vorgaben des Indikators „Stranden von Fischen“ allerdings nur in tiefen Abflussbereichen unterhalb von $8,1 \text{ m}^3/\text{s}$ trockenfallen, bzw. vom Hauptgewässer abgeschnitten werden [3], [7]. Für ein risikofreies Herunterfahren des Abflusses von $8,1$ auf $3 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abschnitt 2) darf die Sunk-Rate entsprechend den Vorgaben der BAFU-Vollzugshilfe den kritischen Wert von $-0,14 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{min})$ nicht unterschreiten. Diese Bedingung kann mit einem Wasservolumen von $12\,500 \text{ m}^3$ eingehalten werden [5]. Daran anschließend wurde versucht, die Schwall-Raten zu dämpfen. Dafür wurde bei jedem Szenario das Speichervolumen um jeweils $12\,500 \text{ m}^3$ reduziert. Das restliche Speichervolumen konnte bei den weiteren Simulationsrechnungen nun ausschließlich zur Dämpfung der Schwall-Raten verwendet werden [9]. Dies entspricht einer zulässigen Vereinfachung mit einem konservativen Ansatz.

4 Ergebnisse

Ausgehend von den hydrologischen Kennwerten (Schwall- und Sunk-Rate, minimaler und maximaler Abfluss) erfolgte eine ökologische Beurteilung der verschiedenen Szenarien.

4.1 Abflussganglinien für verschiedene Szenarien

In **Tabelle 1** sind die 95%-Perzentile der Schwallkennwerte für jedes Szenario dargestellt. Mit dem Kraftwerksausbau geht

eine leichte Erhöhung von Schwall-Rate und maximalem Abfluss einher. Mit den betrachteten Sanierungsvarianten lässt sich der maximale Abfluss nicht signifikant reduzieren. Allerdings können die Sunk-Raten soweit reduziert werden, dass die Vorgaben des Indikators „Stranden von Fischen“ für alle Sanierungsszenarien IIIa bis IIId eingehalten werden. Je grösser das Speichervolumen umso effizienter lassen sich damit die Schwall-Raten reduzieren [9].

4.2 Ökologische Bewertung der verschiedenen Szenarien

Bei dieser Fallstudie mussten die 12 Indikatoren der BAFU-Vollzugshilfe auch für zukünftige Zustände (Szenarien II und III) bestimmt werden. Vier Indikatoren ließen sich dafür genau berechnen und drei auf Basis von Erhebungen des Ist-Zustandes semi-quantitativ abschätzen (**Tabelle 2**). Bei insgesamt fünf Indikatoren war nur eine qualitative Beurteilung möglich. Diese basierte auf detaillierten Erhebungen des Ist-Zustands, Literaturstudien, Analogieschlüssen, Feldversuchen und Expertenwissen [3], [10].

Bei der konkreten Anwendung der Indikatoren muss auch der Einfluss der Morphologie berücksichtigt werden. Verschiedene ökologische Untersuchungen zeigten, dass bei den biologischen Indikatoren (B1 bis B4 und F1 bis F5) die bestehende Flussform ein limitierender Faktor darstellt. Die ökologische Bewertung wurde für die Abschnitte Buhnen-, Kiesbank- und Kanalstrecke durchgeführt. Anschließend erfolgte eine Aggregation über alle drei Morphologietypen.

Bei den abiotischen Indikatoren (H1, A1 und Q1) wurde für alle Szenarien ein

Tab. 1: Schwallkennwerte unterhalb der Wasserrückgabe in Innertkirchen für den Ist-Zustand (I), den Zustand nach Kraftwerksausbau (Szenario II) und die Sanierungsszenarien IIIa bis IIId, dargestellt sind jeweils die 95%-Perzentile der Winterabflüsse (Quelle: [10])

Szenario	Speicher-volumen gesamt [m^3]	Volumen für Sunkdämpfung [m^3]	Volumen für Schwalldämpfung [m^3]	Schwall-Rate [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{min})$]	Sunk-Rate (*) [$\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{min})$]	Min. Abfluss [m^3/s]	Max. Abfluss [m^3/s]
I	–	–	–	1,36	-0,70	3,1	42,2
II	–	–	–	1,43	-0,70	3,1	46,6
IIIa	50 000	12 500	37 500	0,90	-0,14	3,1	46,5
IIIb	60 000	12 500	47 500	0,80	-0,14	3,1	46,5
IIIc	80 000	12 500	67 500	0,70	-0,14	3,1	46,4
IIId	100 000	12 500	87 500	0,52	-0,14	3,1	46,2

(*) Bei der statistischen Analyse der Sunk-Rate wurden nur die tiefen Abflussbereiche ($< 8,1 \text{ m}^3/\text{s}$) in der Schwall-Strecke berücksichtigt, da bei höheren Abflüssen kein Risiko von Fisch-Strandung besteht.

guter Zustand (grün) ermittelt. Während bei den Indikatoren A1 (Mindestabfluss) und Q1 (Wassertemperatur) die Bewertungen anhand der BAFU-Vollzugshilfe durchgeführt wurden, erfolgte die Beurteilung von H1 (Innere Kolmation) auf Basis von Felduntersuchungen, Grundwasserbeobachtungen und Versuchen mit Laichboxen [3], [10].

Für den heutigen Zustand erfüllen drei Indikatoren zur Beurteilung des Makrozoobenthos (MZB) die Anforderungen der BAFU-Vollzugshilfe. Einzig bei der Beurteilung der Biomasse wird ein mäßiger Zustand angezeigt. Bei der Beurteilung der Szenarien II und III konnte insbesondere auf die Erkenntnisse der Driftversuche von 2008 [2] zurückgegriffen werden. Außerdem wurde in einer umfangreichen Literaturstudie die Sensitivität der vorkommenden Arten hinsichtlich Strömung abgeklärt. Aufgrund der höheren Schwall-Raten bei Szenario II wurden die Indikatoren des Modlustufenkonzepts B2 (MSK-Modul), B3 und B4 für dieses Szenario um eine Klasse herabgesetzt. Da sich bei den Szenarien IIIa bis IIIId die Schwall-Raten generell deutlich reduzieren lassen, erwarten die Experten für diesen Zustand wesentlich geringere Driftraten. Daher wurde der Indikator B1 (Biomasse MZB) für die Szenarien IIIa/IIIb mit gut und für die Szenarien IIIc/IIId mit sehr gut bewertet. Die restlichen Indika-

toren wurden entsprechend dem Ist-Zustand beurteilt [3].

Bei den Indikatoren zur Fischfauna wurden erhebliche Defizite identifiziert. Im heutigen Zustand (und für die Szenarien II und III) wurde nur der Indikator F3 (Laichareale der Fische) mit gut bewertet. Die Indikatoren F1 (MSK-Modul Fische) und F2 (Stranden von Fischen) wurden für die Szenarien I und II mit mäßig bewertet. Während der Indikator F1 sich mit den Sanierungsmaßnahmen nicht verbessern lässt, kann das Risiko für das Stranden von Fischen mit den Sanierungsvarianten deutlich reduziert werden [3]. Bei künftigen morphologischen Aufwertungen (Abschnitt 7) können sich die Anforderungen für die Pegelrückgangsraten auf einen größeren Abflussbereich erstrecken. Bei einem ausreichenden Speichervolumen (Szenario IIIc und IIId) kann davon ausgegangen werden, dass auch diese neuen Rahmenbedingungen für den Indikator F2 eingehalten werden können. Daher wurden die Szenarien IIIc/IIId mit sehr gut bewertet. Die beiden Indikatoren F4 (Reproduktion der Fischfauna) und F5 (Fischereiliche Produktivität) wurden für den heutigen Zustand mit schlecht, respektive unbefriedigend bewertet. Während es beim Indikator F4 keine Veränderungen in der Bewertung bei den Szenarien II und III gab, führt die erwartete Erhöhung der Verfügbarkeit an Nährtie-

ren (siehe Indikator B1) bei den Szenarien IIIa bis IIIId zu einer Klassenverbesserung beim Indikator F5.

In jedem Fall limitiert die bestehende Morphologie eine weitere Verbesserung für die Indikatoren F1, F4 und F5, insbesondere aufgrund des Fehlens von geeigneten Jungfischhabitaten. Um auch bei diesen Indikatoren eine gute Bewertung zu erreichen, sind morphologische Aufwertungen zwingend (Abschnitt 7).

4.3 Gesamtbeurteilung der Szenarien

Zum Abschluss der ökologischen Abklärungen wurde ein Workshop mit dem Expertenteam und der Begleitgruppe (Abschnitt 3) durchgeführt. Dabei wurde die endgültige Bewertung je Indikator und Szenario gemeinsam festgelegt. Die Teilnehmer waren sich einig, dass eine Aggregation der 12 Indikatoren zu einer Gesamtbewertung nicht zielführend ist. Daher wurde versucht, die einzelnen Szenarien wie folgt qualitativ zu beschreiben:

- Im Ist-Zustand (Szenario I) liegt eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk vor.
- Der Kraftwerksausbau führt ohne Dämpfungsmaßnahmen (Szenario II) zu einer leichten Verschlechterung der ökologischen Situation.
- Mit einem Speichervolumen von 50 000 bis 60 000 m³ (Szenarien IIIa und IIIb) kann trotz Kraftwerksausbau

Tab. 2: Bewertung verschiedener Zustände anhand der BAFU-Vollzugshilfe unter Berücksichtigung der Prognostizierbarkeit künftiger Zustände im Fallbeispiel Hasliaare (Quelle: [10])

Indikator	Prognostizierbarkeit	Szenario I	Szenario II	Szenario IIIa / IIIb	Szenario IIIc / IIId
H1 Innere Kolmation	semi-quantitativ				
A1 Mindestabfluss	quantitativ				
Q1 Wassertemperatur	quantitativ				
B1 Biomasse MZB	qualitativ				
B2 MSK-Modul MZB	qualitativ				
B3 Längenzonation MZB	qualitativ				
B4 EPT-Familien MZB	qualitativ				
F1 MSK-Modul Fische	semi-quantitativ				
F2 Stranden von Fischen	quantitativ				
F3 Laichareale der Fische	quantitativ				
F4 Reproduktion der Fischfauna	qualitativ				
F5 Fischereiliche Produktivität	semi-quantitativ				

Legende: schwarz = schlecht, dunkelgrau = unbefriedigend, hellgrau = mässig, hellblau = gut, dunkelblau = sehr gut
MZB: Makrozoobenthos, MSK: Modultufenkonzept, EPT: Insekten-Ordnungen der Eintagsfliegen (*Ephemeroptera*), Steinfliegen (*Plecoptera*) und Köcherfliegen (*Trichoptera*)

Tab. 3: Unsicherheiten von den ökologischen Untersuchungen bis zum Sanierungsentscheid (Quelle: [10])

Arbeitsschritt	Unsicherheiten
(i) Untersuchung Ist-Zustand	Probenahmezeit, -ort, – methode
(ii) Defizitanalyse mit BAFU-Vollzugshilfe	Wertefunktionen, Sensitivität hinsichtlich Schwall/Sunk resp. Morphologie, Gesamtwert je Indikator durch Aggregation der ökologischen Bewertungen je Morphologieform
(iii) Hydrologische Simulationen Szenario II	Abschätzung des künftigen Betriebsregimes, Fokus auf Winterabflüsse der letzten Jahre
(iv) Hydrologische Simulationen Szenarien IIIa bis IIId	Vereinfachungen bei den Simulationen, keine Berücksichtigung von saisonalen Anpassungen bei der Beckensteuerung
(v) Statistische Analyse der Szenarien I bis III	Vereinfachung durch Fokus auf 95-%-/100-%-Perzentile
(vi) Ökologische Bewertung der Szenarien I bis III	Qualitative Gesamtbewertung je Szenario, Abschätzung der ökologischen Wirkung für künftige Zustände (Szenarien II und III)
(vii) Sanierungsentscheid	Unsicherheiten hinsichtlich ökologischer Wirkung, zu erwartenden Kostenabschätzungen und künftigen morphologischen Veränderungen in der Hasliaare

eine leichte Verbesserung gegenüber heute erreicht werden.

- Mit einem Speichervolumen von 80 000 bis 100 000 m³, wird eine leichte bis mäßige Verbesserung zum Ist-Zustand prognostiziert.

5 Festlegen der geeigneten Sanierungsvariante

Nach dem Workshop erfolgte der Sanierungsentscheid durch die Begleitgruppe. Ausschlaggebend waren dafür die Kosten für die unterschiedlichen Sanierungsvarianten, die Abschätzung der ökologischen

Wirkung je Szenario und die in den nächsten 10 Jahren zu erwartenden morphologischen Aufwertungen in der Hasliaare (Abschnitt 7).

Unter diesen Gesichtspunkten schnitt die Sanierungsvariante mit einem Volumen von 80 000 m³ (Szenario IIIc) am besten ab. Von dieser Variante wird eine größere ökologische Wirkung erwartet als von den Varianten IIIa und IIIb (mit kleineren Speichervolumina). Außerdem verursacht die Variante IIIc nur geringere Zusatzkosten gegenüber den Varianten IIIa und IIIb. Die Variante mit dem größten Speichervolumen (IIIId) verursacht deutlich höhere Kosten als Variante IIIc, ohne einen ökologischen Mehrwert zu erreichen.

6 Diskussion

Die intensive Zusammenarbeit von Experten und Amtsvertretern ermöglichte, dass trotz bestehender Wissenslücken über die genauen Zusammenhänge von Abflussregime, Morphologie sowie aquatischer Organismen künftige Zustände möglichst objektiv bewertet werden konnten. Eine Betrachtung der Unsicherheiten erfolgte, indem bei den konkreten Bewertungen die ökologischen Wirkungen je Szenario zuerst pessimistisch und optimistisch abgeschätzt wurden. Daran anschließend erfolgte ein „Herantasten“ an die finale Bewertung je Indikator und Szenario. In **Tabelle 3** sind die wichtigsten Unsicherheiten je Arbeitsschritt (Bild 2)

aufgeführt. Sowohl das Expertenteam als auch die Begleitgruppe sind sich einig, dass eine deutliche ökologische Verbesserung in der Hasliaare künftig nur erreicht wird, wenn neben einer hydrologischen Sanierung auch eine signifikante Aufwertung der Flussmorphologie erfolgt.

7 Ausblick

In der Hasliaare sind im Rahmen von Hochwasserschutzprojekten verschiedene morphologische Aufwertungen geplant, um insbesondere die fischökologische Situation zu verbessern.

Aktuell wird die in dieser Fallstudie angewendete Bewertungsmethode für die konkrete Erarbeitung von Sanierungsmaßnahmen (Phase 2) vom BAFU überarbeitet, um auch künftige Zustände mindestens semiquantitativ bewerten zu können.

Im April 2013 wurde mit den Bauarbeiten für das Beruhigungsbecken und den Speicherstollen begonnen (**Bild 3**). Die Inbetriebnahme von Beruhigungsbecken und Speicherstollen ist für 2016 vorgesehen. Daran anschließend wird eine 10-jährige Erfolgskontrolle durchgeführt werden. Damit kann zum einen die Beckensteuerung ökologisch optimiert werden, zum anderen ist damit ein maximaler Wissensgewinn zum komplexen Thema Schwall/Sunk gewährleistet. Bereits jetzt konnten mit den zahlreichen Untersuchungen und Abklärungen eine große Erfahrung und ein breites Wissen in dieser Thematik aufgebaut werden. Diese Erkenntnisse können auf Anfrage für andere Sanierungsfälle zur Verfügung gestellt werden.

Autoren

Dr. Steffen Schweizer
Matthias Meyer
Sandro Schläppi

Kraftwerke Oberhasli AG
 Grimselstrasse
 3862 Innertkirchen, Schweiz
 sste@kwo.ch
 mem@kwo.ch
 scta@kwo.ch

Dr. Stephanie Schmidlin
Kurt Wächter

Limnex AG
 Neumarktplatz 18
 5200 Brugg, Schweiz
 stephanie.schmidlin@limnex.ch
 kurt.waechter@limnex.ch



Bild 3: Illustration der Baustelle des Beruhigungsbeckens (Stand Frühling 2014) (Quelle: KWO)

Dr. Martin Bieri

Pöyry Switzerland Ltd.
Hardturmstrasse 161, P.O. Box
8037 Zürich, Schweiz
martin.bieri@poyry.com

Dr. phil. nat Peter Büsser

Fischereibiologe
Thunstrasse 99
3006 Bern, Schweiz
pbuesser@gmail.com

Judith Monney

Abteilungsleiterin Wassernutzung
Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des
Kantons Bern,
Amt für Wasser und Abfall, Wassernutzung
Reiterstrasse 11
3011 Bern, Schweiz
judith.monney@bve.be.ch

Dr.-Ing. Matthias Schneider

Dr.-Ing. Jeffrey A. Tuhtan
sje – Ecohydraulic Engineering GmbH
Viereichenweg 12
70569 Stuttgart
mailbox@sjeweb.de
tuhtan@sjeweb.de

Dr. Diego Tognolla

Zürcher Hochschule für angewandte
Wissenschaften (ZHAW)
Departement Life Sciences und Facility
Management
8820 Wädenswil, Schweiz
Diego.tognolla@zhaw.ch

Literatur

- [1] Bruder, A.; Schweizer, S.; Vollenweider, S.; Tonolla, D.; Meile, T.: Schwall und Sunk: Auswirkungen auf die Gewässerökologie und mögliche Sanierungsmaßnahmen. In: Wasser Energie Luft (2012), Nr. 4, S. 257-264.
- [2] Limnex (Hrsg.): 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, 2009.
- [3] Limnex (Hrsg.): Schwall-Sunk Bewertung der KWO-Zentralen in Innertkirchen. Bericht im Auftrag der KWO, 2012.
- [4] Schweizer, S.; Neuner, J.; Ursin, M.; Tscholl, H.; Meyer, M.: Ein intelligent gesteuertes Beruhigungsbecken zur Reduktion von künstlichen Pegelschwankungen in der Hasliaare. In: Wasser Energie Luft (2008), Nr. 3, S. 209-215.
- [5] Schweizer, S.; Bieri, M.; Tonolla, D.; Monney, J.; Rouge, M.; Stalder, P.: Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. In: Wasser Energie Luft (2013), Nr. 4, S. 267-274.
- [6] Schweizer, S.; Schmidlin, S.; Tonolla, D.; Büsser, P.; Meyer, M.; Monney, J.; Schläppi, S.; Wächter, K.: Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsauf-

nahme. In: Wasser Energie Luft (2013), Nr. 3, S. 191-199.

- [7] Schneider & Jorde Ecological Engineering (Hrsg.): Casimir-Modellierungen zur Ermittlung der Indikatoren F2 und F3 in der Hasliaare für den Ist-Zustand und weitere Szenarien. Bericht im Auftrag der KWO, 2012.
- [8] Baumann, P.; Kirchhofer, A.; Schälchli, U.: Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung. Ein Modul der Vollzugshilfe Renaturierung der Gewässer. In: Bundesamt für Umwelt (Hrsg.): Umwelt-Vollzug (2012), Nr. 1 203.
- [9] EPFL-LCH (Hrsg.): Betrieb des Dämpfungsbeckens Innertkirchen. LCH-Rapport Nr. 13/2012.

- [10] Schweizer, S.; Schmidlin, S.; Tonolla, D.; Büsser, P.; Maire, A.; Meyer, M.; Monney, J.; Schläppi, S.; Schneider, M.; Theiler, Q.; Tuhtan, J.; Wächter, K.: Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen. In: Wasser Energie Luft (2013), Nr. 4, S. 275-285.

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

Steffen Schweizer, Stephanie Schmidlin, Martin Bieri, Peter Büsser, Matthias Meyer, Judith Money, Sandro Schläppi, Matthias Schneider, Diego Tonolla, Jeff Tuhtan and Kurt Wächter

Concrete Measures to Mitigate the Effects of Hydropeaking – the Hasliaare as a first Case Study in Switzerland

With the planned extension of the hydropower station in Innertkirchen by the Kraftwerke Oberhasli AG the maximum possible outflow from the turbines into the Hasliaare will increase from 70 m³/s to 95 m³/s. For the identification of realistic measures to mitigate hydropeaking effects on aquatic organisms a comprehensive study has been successfully performed. The ecological deficit analysis of the actual state of the river as well as an evaluation of the mitigation measures was conducted with the support of an expert team and a group of representatives of the Federal Office for the Environment and the Cantonal Office of Water and Waste (Bern). The spectrum of mitigation measures was evaluated based on the actual state of the art. The construction of a storage volume of 80 000 m³ between the power plant and the downstream outlet showed the best cost-benefit ratio. The construction started in spring 2013.

Штеффен Швайцер, Штефани Шмидлин, Мартин Биери, Питер Бюссер, Маттиас Майер, Юдит Мани, Сандро Шлеппи, Маттиас Шнайдер, Диего Тонолла, Джефф Тутан и Курт Вехтер

Первые в Швейцарии мероприятия по санированию в связи с искусственным подъемом уровня воды – на примере река Аре в долине Хасли (Hasliaare)

В рамках проекта по модернизации объем имеющегося в настоящее время максимально возможного возврата воды в реку Аре в долине Хасли будет повышен с 70 м³/с до 95 м³/с в будущем. Как следствие этого, усиливаются эффекты искусственного резкого колебания уровня воды. Поэтому предварительно были проведены исследования связанной с водными потоками экологической ситуации и осуществлена экологическая оценка состояния на настоящий момент и в будущем (санирование посредством различных мероприятий по уменьшению последствий искусственного подъема уровня воды). Начиная с 2013 года, между электростанцией и сооружением возврата воды осуществляется строительство промежуточного водохранилища (отстойники и штольни) объемом 80 000 м³.