

## Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände

Steffen Schweizer, Martin Bieri, Diego Tonolla, Judith Monney, Matthias Rouge, Pascal Stalder

### Zusammenfassung

Basierend auf zahlreichen und umfassenden ökologischen Untersuchungen konnte die Vollzugshilfe des Bundesamts für Umwelt «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» für die Hasliaare vollständig angewendet werden. Mehrere Indikatoren zeigten dabei eine Sanierungspflicht an. Unabhängig vom 2011 revidierten Gewässerschutzgesetz begann die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) vor mehreren Jahren mit der Planung zur Erweiterung der Zentrale Innertkirchen 1. Dieser Kraftwerksausbau würde ohne Gegenmassnahmen die künstlichen Pegelschwankungen prinzipiell verschärfen.

Wie die verschiedenen Untersuchungen zeigen, kann insbesondere mit einer Reduktion der Schwall- und Sunkraten eine ökologische Verbesserung erreicht werden. Technisch lässt sich dies mit einem zwischen Turbinenausfluss und Wasserrückgabe geschalteten Speicher umsetzen. Die Dämpfungsmöglichkeiten hängen dabei sowohl vom zur Verfügung stehenden Speichervolumen als auch von der Art der Speichersteuerung und den Durchflussmengen ab.

Im Fall der Hasliaare wurden drei Zustände hydrologisch untersucht: heutige Situation (I), künftig mit Kraftwerksausbau ohne (II), respektive mit (III) Zwischenspeicher. Ausgehend von den Winterabflüssen 2008–2012 (Szenario I) wurde in einem ersten Schritt der Einfluss des geplanten Kraftwerksausbaus auf das Betriebsregime abgeschätzt (Szenario II). Auf Basis dieser Ganglinie wurden Simulationsrechnungen für verschiedene Speichervolumina mit einem Volumen zwischen 50 000 und 100 000 m<sup>3</sup> (Szenarien IIIa–III d) durchgeführt. Abschliessend wurden für alle Zustände die wichtigsten Schwallkennwerte (minimaler und maximaler Abfluss, Schwall- und Sunkrate) statistisch ausgewertet (95%- und 100%-Perzentile). Auf Basis dieser hydrologischen Ergebnisse liessen sich die ökologischen Auswirkungen von verschiedenen Szenarien gezielt abschätzen.

### Abstract

Several intense ecological studies meeting the guidelines of the Swiss Federal Office for Environment FOEN on «Hydropeaking Mitigation – Strategic Planning» have been implemented into the case study of the Hasliaare River. This includes the application of multiple guideline indicators demonstrating the necessity for mitigation strategies of hydropeaking in this river. Prior to (and independent of) the changes in the water protection law (2011) the Kraftwerke Oberhasli (KWO) begun the planning to redesign the power station at Innertkirchen, thereby already integrating mitigation measures to decrease artificial fluctuations in the flow regime as a prerequisite for the expansion of the power station.

As demonstrated by the results of the studies, a reduction of the up- and down-ramping rates is expected to significantly improve ecological conditions. This can be accomplished with an increased storage volume between the power plant outlet and the Hasliaare river. The effectiveness of hydraulic dampening depends on the available volume, the production of electricity and the discharge in the Hasliaare river.

Three hydrological scenarios were considered: the status quo (I), future situation including an expanded power plant without storage (II), and with storage (III). Based on the winter flow rates from 2008–2012 (scenario I) first comparisons were made considering operational changes due to the expansion (scenario II). Based upon this hydrograph, simulations were done for a range of storage volumes between 50 000 and 100 000 m<sup>3</sup> (scenarios IIIa–III d). Additionally, key hydropeaking related factors (minimum and maximum flow rate, up- and down-ramping rate) were determined statistically (95th and 100th percentiles). Based on these studies the forecast of ecological impacts for each scenario could be improved significantly.

## 1. Einleitung

Wasserkraftwerke mit grossen Speichern sind in der Lage, ihre Stromproduktion den Bedürfnissen des Strommarktes anzupassen. Dadurch ergibt sich häufig eine sehr unregelmässige Wasserrückgabe, die künstliche Pegelschwankungen (Schwall/Sunk) im Vorfluter (Schwallstrecke) zur Folge hat. Aus ökologischer Sicht sind vor allem die Geschwindigkeit der Abflusszu- und -abnahme (Schwall-/Sunkraten) sowie die minimal und maximal auftretenden Abflüsse in der Schwallstrecke entscheidend. Mit der 2011 in Kraft ge-

tretenen 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 Schwall- und Sunkraten oder Direktableitung in ein grösseres Gewässer) geplant. Auf Antrag des Kraftwerkbetreibers sind allerdings auch betriebliche Massnahmen (Einhaltung von Grenzwerten bei der Wasserrückgabe) oder Kombinationen mit baulichen Sanierungen möglich.

## 2. Heutige gewässerökologische Situation in der Hasliaare (Zustand I)

### Die Schwallstrecke

Unterhalb der Wasserrückgabe in Innertkirchen verläuft die Hasliaare bis zur Mündung in den Brienersee als Schwallstrecke. Morphologisch lässt sich das Gewässer in vier unterschiedliche Abschnitte gliedern:

- Bühnenstrecke in Innertkirchen (Länge 0.7 km)
- Aareschlucht (Länge 1.9 km)



Bild 1. Seeforelle in der Hasliaare (Foto: D. Göz).

- Kiesbankstrecke in Meiringen (Länge 1.4 km)
- Kanal zwischen Meiringen und Brienzsee (Länge 11.5 km).

In der Schwallstrecke kommen Bach- und Seeforellen (Bild 1), Groppen sowie vereinzelt Trütschen und Bachsaiblinge vor.

#### Maximale Betriebswassermenge heute und nach Kraftwerkserweiterung

Heute beträgt die maximal mögliche Betriebswassermenge in den Zentralen in Innertkirchen 70 m<sup>3</sup>/s (40 m<sup>3</sup>/s in Innertkirchen 1 und 30 m<sup>3</sup>/s in Innertkirchen 2). Bereits vor mehreren Jahren begann die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) mit der Planung zur Erweiterung der Zentrale Innertkirchen 1 (Schweizer et al. 2012a). Mit dem Kraftwerksausbau wird die maximale Durchflussmenge auf 95 m<sup>3</sup>/s erhöht (+25 m<sup>3</sup>/s in Innertkirchen 1).

#### Ökologische und hydrologische Vorarbeiten für eine Defizitanalyse

Im Vorfeld der Kraftwerkserweiterung wurden zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen zum Themenkomplex Schwall/Sunk in der Hasliaare durchgeführt (Schweizer et al. 2010, Schweizer et al. 2013a). Basierend auf den Erkenntnissen dieser Arbeiten lassen sich die heutigen Auswirkungen des künstlichen Abflussregimes auf die Gewässerökologie qualitativ und semiquantitativ beschreiben. Damit war auch eine vollständige Anwendung der Vollzugshilfe des Bundesamts für Umwelt (BAFU) «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» möglich (Baumann et al. 2012). Die Bewertung der Indikatoren erfolgte durch ein Expertenteam (Limnex, Büsser, Eawag, EPFL-LCH, Schneider &

Jorde Ecological Engineering) und wurde mit einer Begleitgruppe (BAFU und Amt für Wasser und Abfall des Kantons Berns) abgesprochen (Schweizer et al. 2013b).

Für die ökologische Bewertung wurde vor allem auf die Winterabflüsse zurückgegriffen, da in der Niedrigwasserperiode die stärksten Änderungen des Abflussregimes auftreten (Schweizer et al. 2013b). Seit 2008 bietet die KWO sogenannte Systemdienstleistungen an. Mit dieser Dienstleistung verpflichtet sich ein Kraftwerk, bei einem Stromüberschuss oder -mangel im Netz innerhalb kurzer Zeit regulatorisch einzugreifen. Im Fall der KWO hat dies zu markanten Änderungen im Betriebsregime geführt. Mit der geplanten Energiewende wird diese Art der Kraftwerkssteuerung tendenziell zunehmen. Aus diesen Gründen beschloss die Begleitgruppe, dass die winterlichen Abflüsse von 2008 bis 2012 für die ökologischen Beurteilungen als Grundlage verwendet werden.

Für die Konstruktion einer repräsentativen Abflussganglinie wurden die 95%- und 100%-Perzentile (basierend auf den täglichen Extremwerten) für den minimalen/maximalen Abfluss sowie für

die Schwall- und Sunkrate bestimmt. Hinsichtlich dieser Kennwerte besteht nur für den minimalen Abfluss eine Regelung mit dem Kanton, die einen Mindestdurchfluss von 3 m<sup>3</sup>/s (100%-Perzentil) in der Aare vorschreibt.

Auf der insgesamt rund 16 km langen Schwallstrecke verringern sich die Schwall- und Sunkraten (infolge grossmassstäblicher Fließwiderstände) und erhöht sich der maximale Abfluss (infolge seitlicher Zuflüsse). In der Niedrigwasserperiode fallen die seitlichen Zuflüsse im Längsverlauf hingegen sehr gering aus, sodass sich der minimale Abfluss nur geringfügig erhöht (Tabelle 1).

#### Ergebnisse der Defizitanalyse gemäss BAFU-Vollzugshilfe

Die Bewertung einzelner Indikatoren (F2 Stranden von Fischen, F3 Laichareale für Fische, F5 Fischereiliche Produktivität) basiert auf der o.g. repräsentativen Abflussganglinie. An insgesamt drei Stellen in der Schwallstrecke (Buhnen-, Kiesbank- und Kanalstrecke) wurde die Bewertung der BAFU-Vollzugshilfe vollständig durchgeführt. Insgesamt zeigen sieben Indikatoren einen guten oder sehr guten, drei einen mässigen und jeweils ein Indikator einen unbefriedigenden, bzw. einen schlechten Zustand an (Limnex 2012, Schweizer et al. 2013b). Mit der Klasse gelb (mässig) wurden die Indikatoren Biomasse des Makrozoobenthos (B1), Modulstufenkonzept Modul Fische (F1) sowie Stranden von Fischen (F2) beurteilt. Als ökologisch stark beeinflusst wurden die Indikatoren Fischereiliche Produktivität (F5) (unbefriedigend) und die Reproduktion der Fische (F4) (schlecht) eingeschätzt. Basierend auf den Aggregationsregeln des BAFU-Bewertungssystems liegt für die Gesamtbeurteilung somit eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall und Sunk vor.

#### Bedeutung der Morphologie bei der Bewertung

Allerdings muss bei der Interpretation dieser Indikatoren auch der Einfluss der

|  | Wasserrückgabe bis zur Kiesbankstrecke | Wasserrückgabe bis zur Kanalstrecke |
|--|--|-------------------------------------|
| Fließlänge [km]                                  | 3                                      | 12                                  |
| Minimaler Abfluss $Q_{\min}$ [m <sup>3</sup> /s] | + 0.05                                 | + 0.10                              |
| Maximaler Abfluss $Q_{\max}$ [m <sup>3</sup> /s] | + 2.60                                 | + 3.20                              |
| Maximale Schwallrate $\Delta Q_{\max}$ [-]       | 63 %                                   | 56 %                                |
| Minimale Sunkrate $\Delta Q_{\min}$ [-]          | 52 %                                   | 31 %                                |

Tabelle 1. Absolute und relative Veränderungen der hydrologischen Schwallkennwerte im Längsverlauf der Hasliaare aufgrund von Zuflüssen und grossmassstäblicher Fließwiderstände (jeweils auf die 95%-Perzentile bezogen).



Morphologie berücksichtigt werden (Bieri 2012, Person et al. 2013). Die mässig bis stark eingeschränkte morphologische Vielfalt (vgl. Bild 2) lässt in der Hasliaare bei den Indikatoren F1, F4 und F5 auch bei einem natürlichen Abflussregime keine oder nur eine geringfügig bessere Bewertung zu (Limnex 2012). Im Rahmen der Hochwasserschutzkonzepte Innertkirchen und Meiringen bis Brienzensee sowie im Zuge des Investitionsprogramms KWO plus sind für die nächsten Jahre verschiedene morphologische Aufwertungen in der Schwallstrecke vorgesehen (Schweizer et al. 2012b). Für eine ökologisch wirksame Verbesserung der Indikatoren F1, F4 und F5 bedarf es in jedem Fall aber auch einer gleichzeitigen Sanierung des Abflussregimes.



**Bild 2.** Kanalisierter Abschnitt der Hasliaare kurz oberhalb der Mündung in den Brienzensee, Blick flussaufwärts.

### 3. Ausarbeitung verschiedener Sanierungsoptionen (Phase 2 der S/S-Sanierung)

Liegt wie im Fall der Hasliaare eine wesentliche Beeinträchtigung des Abflussregimes vor, sieht der gesetzliche Vollzug der Schwall/Sunk-Sanierung eine Ausarbeitung verschiedener Massnahmenvarianten durch den Kraftwerksbetreiber vor (Phase 2). Die verschiedenen Varianten werden dann hinsichtlich finanziellem Aufwand und ihrer ökologischen Wirkung bewertet.

#### 3.1 Variante 1: Direktableitung (verworfen)

Grundsätzlich könnte im Fall der Hasliaare das Abflussregime mit einer Direktableitung des turbinierten Wassers in den Brienzensee erfolgen. Diese Option erfordert allerdings einen über 16 km langen Stollen zwischen der bestehenden Wasserrückgabe in Innertkirchen und dem Brienzensee. Selbst bei einer Ausnutzung des bestehenden Gefälles zur Stromproduktion wäre diese Sanierungsoption mit unverhältnismässig hohen Kosten verbunden. Daher konzentrierten sich die weiteren Abklärungen auf den Bau von Ausgleichspeichern zwischen Turbinenausfluss und Vorfluter.

#### 3.2 Variante 2: Bau eines Ausgleichspeichers zwischen Kraftwerksausfluss und Wasserrückgabe (weiterverfolgt)

##### Räumliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Im Bereich der Wasserrückgabe ist der für ein Beruhigungsbecken zur Verfügung stehende Raum eingeschränkt und ermög-

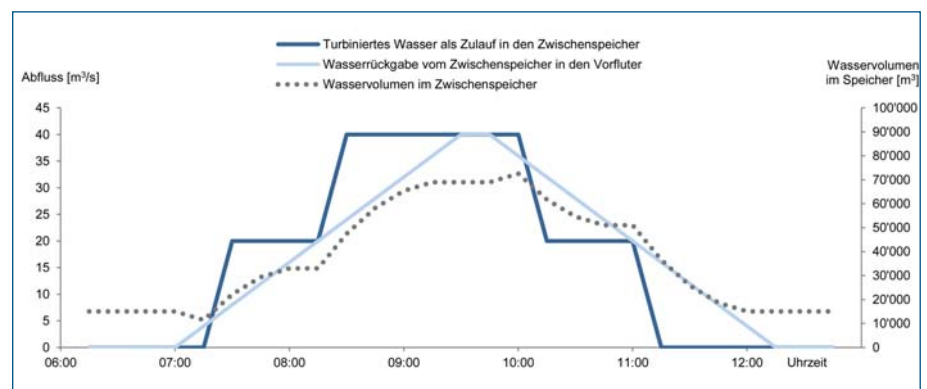
licht daher nur ein relativ kleines Beckenvolumen von rund 18 000 m<sup>3</sup>. Als zusätzliches Speichervolumen kommt somit nur ein unterirdischer Stollen zwischen dem Kraftwerk Innertkirchen 1 und der heutigen Wasserrückgabe in Betracht (Schweizer et al. 2013c). Unter Berücksichtigung des Kosten/Nutzen-Verhältnisses und den landschaftlichen Rahmenbedingungen für die Deponierung des Ausbruchmaterials ist ein zusätzliches unterirdisches Speichervolumen bis etwa 80 000 m<sup>3</sup> als realistisch zu betrachten.

##### Wirkung eines Ausgleichspeichers

Bei einer schnellen Steigerung der Stromproduktion kann ein Teil des turbinierten Wassers im Speicher zwischengelagert und auf diese Weise verzögert in die Schwallstrecke abgegeben werden (Bild 3). Im Vorfluter führt dies zu einer langsameren Abflusszunahme. Im entgegengesetzten Fall kann bei einer abrupten Reduktion der Stromproduktion Wasser aus dem Speicher verwendet werden, um den

Abflussrückgang in der Schwallstrecke zu verlangsamen. Damit bleiben den Fischen und Wirbellosen längere Reaktionszeiten, um sich auf die Veränderungen des Abflusses einzustellen. Bei einer ausreichenden Dämpfung können sich die aquatischen Organismen rechtzeitig in die Sohle oder an eine andere Stelle im Gewässer zurückziehen. So kann zum Beispiel das Risiko des Strandens minimiert und die Anzahl abgeschwemmter Tiere deutlich reduziert werden (Limnex 2009).

Aufgrund der relativ hohen Betriebswassermenge und des beschränkten Speichervolumens ist es nicht möglich, den minimalen Abfluss über grössere Zeiträume aufzustocken oder länger andauernde Abflussspitzen mit Werten über 40 m<sup>3</sup>/s zu reduzieren. Allerdings haben die umfangreichen gewässerökologischen Studien gezeigt, dass im Fall der Hasliaare eine ökologische Verbesserung mit einer Reduktion der Schwall- und Sunkraten erreicht werden kann (Limnex 2012, Schweizer et al. 2013b, 2013c).



**Bild 3.** Schematische Darstellung der Wirkung eines zwischen Kraftwerk und Vorfluter geschalteten Ausgleichspeichers.

## Konkrete Sanierungsplanung mit vier Varianten

Die hydrologische Wirkung eines Speichers hängt direkt vom zur Verfügung stehenden Volumen ab. Folgende realistische Massnahmenvarianten (Kap. 3.2) wurden näher untersucht:

- $V_{IIIa} = 50\,000\text{ m}^3$  (wie vor der Revision des GSchG vorgesehen; Schweizer et al. 2008) (Zustand IIIa)
- $V_{IIIb} = 60\,000\text{ m}^3$  (Zustand IIIb)
- $V_{IIIc} = 80\,000\text{ m}^3$  (Zustand IIIc)
- $V_{IIId} = 100\,000\text{ m}^3$  (Zustand IIId)

### 4. Abschätzung und Bewertung zukünftiger Zustände

Ziel der weiteren Untersuchungen war es, das Speichervolumen zu bestimmen, das bei einem verhältnismässigen Aufwand die Sanierungspflicht möglichst erfüllt. Allerdings bestehen aktuell noch Wissenslücken, um die Zusammenhänge zwischen Abflussregime, Morphologie und Gewässerökologie hinreichend genau beschreiben zu können, insbesondere für die Prognostizierung künftiger Zustände (Bruder et al. 2012a und 2012b). Daher musste bei den weiteren Schritten auf den heutigen Kenntnisstand und in bestimmten Fällen auf Vereinfachungen zurückgegriffen werden.

In Bild 4 ist das Vorgehen schema-

tisch dargestellt, um die ökologische Wirkung der verschiedenen Sanierungsvarianten möglichst gut abzuschätzen. Während die Stufen (a) und (b) bereits in Kap. 2 sowie in Schweizer et al. (2013b) beschrieben sind, wird das Vorgehen für die Schritte (c) und (d) in den beiden folgenden Unterkapiteln (4.1 und 4.2) detailliert dargestellt. Diese ersten vier Schritte sind eine wichtige Grundlage für eine abschliessende ökologische Bewertung (e) (Schweizer et al. 2013c).

#### 4.1 Zustand II: Ausbau KW Innertkirchen 1 ohne Zwischenspeicher

Die Begleitgruppe und die Branchenvertreter diskutierten, welche Auswirkungen die Erhöhung der maximalen Betriebswassermenge auf das künftige Abflussregime haben könnte. In einem ersten Schritt wurde beschlossen, die Winterabflüsse der Jahre 2008 bis 2012 als Grundlage zu verwenden (Kap. 2). Daran anschliessend wurden verschiedene Varianten zur Simulation des künftigen Betriebsregimes näher untersucht (Stalder & Rouge 2012). Dabei wurden jeweils die täglichen Maximalabflüsse aus den Turbinen auf verschiedene Arten erhöht (Szenarien IIA–IID). Dies führte bei den Szenarien zu grösseren täglichen Betriebswassermengen. Da die

daran anschliessende Datenanalyse ausschliesslich auf Extremwerte (95%- und 100%-Perzentile) fokussiert, konnte auf einen volumenneutralen Ausgleich, bzw. auf eine ausgeglichene Wasserbilanz bei den Szenarien verzichtet werden.

#### Szenario IIA: Generelle Erhöhung der maximalen Tagesabflüsse um jeweils $25\text{ m}^3/\text{s}$

Diese Simulationsvariante geht davon aus, dass künftig in den Zentralen in Innertkirchen die Stromproduktion mindestens einmal am Tag wesentlich erhöht wird. Dadurch kommt es zu einem starken Anstieg der täglichen Maximalabflüsse (jeweils  $+25\text{ m}^3/\text{s}$ ) sowie der Schwallraten ( $+100\%$ ) (Tabelle 3). In den tiefen Abflussbereichen ( $< 8.1\text{ m}^3/\text{s}$ ), bei denen ein Stranden von Fischen möglich ist, verbleiben die Sunkraten gegenüber heute unverändert.

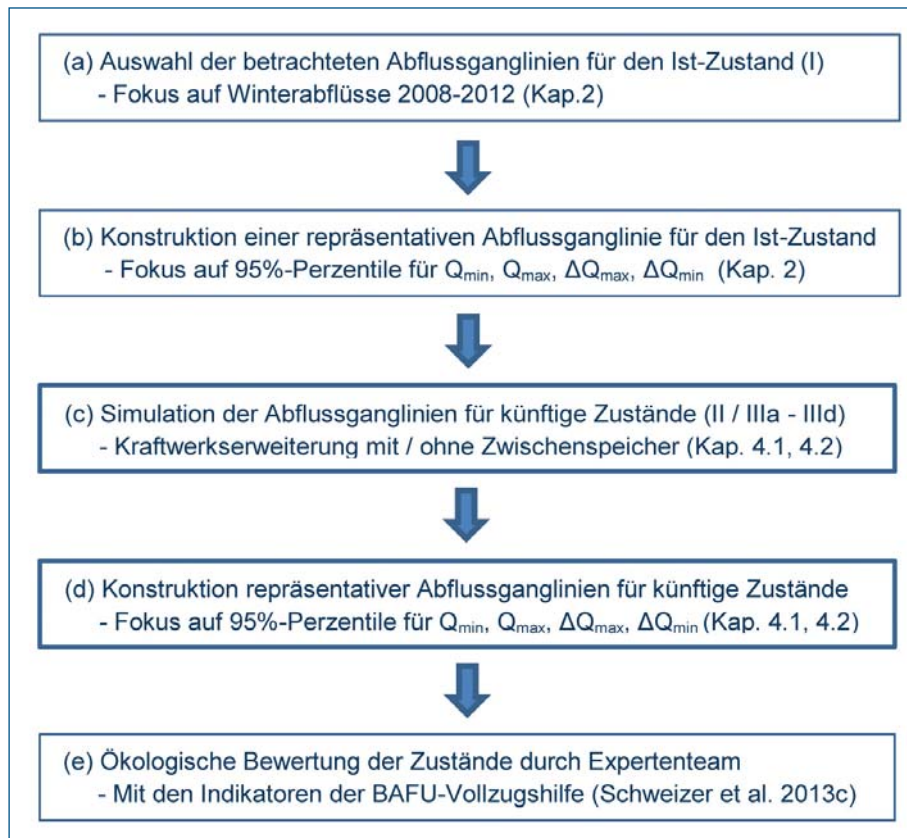
Die hier vollzogenen Anpassungen sind als Grenzfall zu betrachten, da bei diesem Szenario alle täglichen Maximalabflüsse erhöht wurden, obwohl unter den damals bestehenden Kraftwerksbedingungen bereits deutlich höhere Stromproduktionen möglich gewesen wären. Daher kann davon ausgegangen werden, dass vom Kraftwerksbetrieb in der Mehrheit der Fälle auch künftig keine Erhöhungen in diesem Ausmass vorgenommen werden.

#### Szenario IIB: Generelle Erhöhung der maximalen Abflüsse um den Faktor 95/70

In dieser Variante wird davon ausgegangen, dass die aufgetretenen Maximalabflüsse entsprechend dem Ausbauverhältnis (künftig  $95\text{ m}^3/\text{s}$ , heute  $70\text{ m}^3/\text{s} = 95/70 = 1.35$ ) höher ausfallen. Aus ökologischer Sicht handelt es sich auch hier um ein tendenziell pessimistisches Szenario, da wie beim Szenario IIA alle täglichen Maximalabflüsse erhöht werden. Insgesamt fallen die hydrologischen Kennwerte aber deutlich moderater aus als bei Szenario IIA (Tabelle 3).

#### Szenario IIC: Beschreibung der künftigen Ganglinie mit einer Normalverteilung

Für dieses Szenario wurden die winterlichen Abflussganglinien von 2008 bis 2012 hinsichtlich Mittelwert, Standardabweichung und Anzahl der Wendepunkte im Abfluss statistisch ausgewertet. Mit diesen Parametern wurde eine Normalverteilung definiert, wobei die Standardabweichung um den Faktor 95/70 erhöht wurde. Wie die Werte in Tabelle 3 zeigen, gab es bei diesem Ansatz nur einen vernachlässigbaren Effekt auf die maximalen Abflüsse. Aufgrund der Kantonsregelung



**Bild 4. Mehrstufiges Vorgehen für eine Abschätzung der ökologischen Wirkung künftiger Zustände.**  $Q_{min}$  = minimaler Abfluss,  $Q_{max}$  = maximaler Abfluss,  $\Delta Q_{max}$  = Schwallrate,  $\Delta Q_{min}$  = Sunkrate.

kann auch bei diesem Szenario davon ausgegangen werden, dass der minimale Abfluss in der Aare auch künftig  $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$  (95%-Perzentil) betragen wird (Kap. 2). Im Vergleich mit den anderen Szenarien fällt die Sunkrate dagegen etwas höher aus. Der markanteste Unterschied zeigt sich bei der Schwallrate von  $2.21 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ . Dies ist darauf zurückzuführen, dass zwar die Anzahl der Wendepunkte in der künstlich generierten Abflussganglinie berücksichtigt, allerdings die in der Regel hohe Korrelation zwischen vor- und nachgängigen Abflusswerten nicht korrekt wiedergegeben wird. Dadurch ergeben sich in der Zeitreihe zufällige und z.T. sehr hohe Differenzen zwischen den einzelnen Werten, wodurch unrealistisch hohe Schwall- und auch Sunkraten resultieren.

#### Szenario IID: Abgestufte Erhöhung der maximalen Tagesabflüsse

Grundsätzlich kann das künftige Betriebsregime auch mit einer selektiven Erhöhung der maximalen Tagesabflüsse beschrieben werden (Tabelle 2).

In Absprache mit der Begleitgruppe erfolgte eine Erhöhung der Abflüsse bei Betriebswassermengen von über  $34 \text{ m}^3/\text{s}$ , wenn in der Vergangenheit etwa 50% des damals möglichen Potenzials für die Stromproduktion ausgeschöpft wurde. Eine vollständige Erhöhung um  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  wurde bei Abflüssen über  $54 \text{ m}^3/\text{s}$  vorgenommen (bei rund  $\frac{3}{4}$  des in der Vergangenheit bestehenden Potenzials). Allerdings wurde die maximal mögliche Betriebswassermenge von  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  seit 1990 nur zweimal erreicht und lag zwischen 2005 und 2012 stets unter  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . Damit dürfte diese Variante das künftige Betriebsregime tendenziell ebenfalls mit etwas zu hohen Maximalabflüssen be-

schreiben. Falls der künftige Strommarkt unerwartet zu höheren Durchflussmengen führen sollte, dürfte dieses Szenario das künftige Betriebsregime allerdings immer noch realistisch abbilden. Daher wurde gemeinsam mit dem Expertenteam und der Begleitgruppe beschlossen, die weiteren Untersuchungen mit Szenario IID fortzuführen.

Insgesamt fallen die 95%-Perzentile der maximalen Abflüsse und der Schwallraten etwas höher aus als bisher, während der Minimumabfluss und die Sunkraten unverändert bleiben (Tabelle 3).

#### 4.2 Zustand IIIa – IIId: Ausbau KW Innertkirchen 1 mit verschiedenen grossen Zwischen Speichern

Basierend auf den Abflussganglinien von Szenario IID wurden in einem nächsten Schritt verschiedene Speichervolumina zwischen den Zentralen in Innertkirchen und der Wasserrückgabe in die Aare geschaltet (Kap.3.2).

##### 4.2.1 Technische und ökologische Aspekte der Beckensteuerung

##### Vorhersagezeit für Speichersteuerung

Aufgrund von netzregulierenden Dienstleistungen (Kap. 2) bestehen bei der Stromproduktion verlässliche Vorhersagezeiten von maximal 15 Minuten. Dementsprechend wird die künftige Speichersteuerung auf diese Prognosezeiträume zurückgreifen müssen.

##### Möglichkeiten der Speichersteuerung

Für die Beckensteuerung ist zu beachten, dass eine optimale Dämpfung der Schwallraten i.d.R. mit einer Verschärfung der Sunkraten einhergeht (LCH2012). Bei-

spielhaft lässt sich dieses Phänomen wie folgt erklären: Wird ein Speicher nach dem Turbinieren nur langsam entleert, so fehlt bei einer kurz darauffolgenden Turbiniersequenz das nötige Speichervolumen für eine weitere Dämpfung der Schwallraten.

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen wurde ein zweistufiges Optimierungsverfahren gewählt, um das Potenzial der künftigen Beckensteuerung bereits heute möglichst realistisch abschätzen zu können.

##### Optimierung der Sunkraten (Stufe 1)

In einem ersten Schritt wurden die Sohlenbereiche identifiziert, wo Fische potenziell stranden können (Bilder 5 und 6). Im Fall der Hasliaare beschränken sich diese Bereiche auf wenige Stellen in der Kiesbankstrecke (Schneider & Jorde Ecological Engineering 2012). Grundsätzlich ist ein Stranden von Fischen nur möglich, wenn die Abflusstiefe am höchsten Punkt der Fischfalle unter  $20 \text{ cm}$  fällt (Baumann et al. 2012). Im Fall der betrachteten potenziellen Fischfallen entspricht dies einem Abfluss von  $Q_{\text{kritisch}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Fällt der Abfluss unter diesen kritischen Wert, sollte die Pegelrückgangsrage geringer als  $0.5 \text{ cm}/\text{min}$  ausfallen, um den Fischen genügend Reaktionszeit zu geben (Baumann et al. 2012). Um diesen Grenzwert einzuhalten, darf der Abflussrückgang (Sunkrate) in der Kiesbankstrecke nicht schneller als mit  $-0.07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$  erfolgen. Unter Berücksichtigung der Dämpfungseffekte im Längsverlauf der Hasliaare (Tabelle 1) ergibt sich somit eine kritische Sunkrate von  $-0.14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$  bei der Wasserrückgabe in Innertkirchen. Entsprechend Gleichung (1) benötigt das vollständige Zurückfahren der Wasserrückgabe von  $8.1$  auf  $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$  (Minimalabfluss, Kap. 2) eine Dauer ( $T_{\text{Herunterfahren}}$ ) von etwa 36 Minuten (Bild 7). Insgesamt werden dafür gemäss den Gleichungen (2) und (3) etwa  $12\,500 \text{ m}^3$  Wasser in die Aare abgegeben. Aus den Gleichungen (1) bis (3) lässt sich somit dasjenige Wasservolumen bestimmen, das im Speicher zurückgehalten werden sollte, um das Risiko von strandenden Fischen zu minimieren. Mit der Realisierung von morpho-

| Gesamtabfluss der Zentralen Innertkirchen 1 und 2 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] | Selektive Erhöhung [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] |
|---|--|
| < 34  | + 0  |
| 34 bis 39   | + 5  |
| 39 bis 44   | + 10   |
| 44 bis 49   | + 15   |
| 49 bis 54   | + 20   |
| > 54  | + 25   |

Tabelle 2. Selektive Erhöhung der Maximalabflüsse für Szenario IID.

|   | Szenario I | Szenario IIA | Szenario IIB | Szenario IIC | Szenario IID |
|---|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Minimaler Abfluss $Q_{\text{min}}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]                              | 3.1        | 3.1          | 3.1          | 3.1          | 3.1          |
| Maximaler Abfluss $Q_{\text{max}}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]                              | 42.2       | 67.2         | 57.3         | 44.5         | 46.6         |
| Maximale Schwallrate $\Delta Q_{\text{max}}$ [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ ] | 1.36       | 2.80         | 1.71         | 2.21         | 1.43         |
| Minimale Sunkrate* $\Delta Q_{\text{min}}$ [ $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ ]   | -0.70      | -0.70        | -0.70        | -1.10        | -0.70        |

Tabelle 3. Schwallkennwerte in der Aare unterhalb der Wasserrückgabe in Innertkirchen für den Ist-Zustand (Szenario I) und die Szenarien IIA–IID (vgl. Text). Dargestellt sind jeweils die 95%-Perzentile der Winterabflüsse.

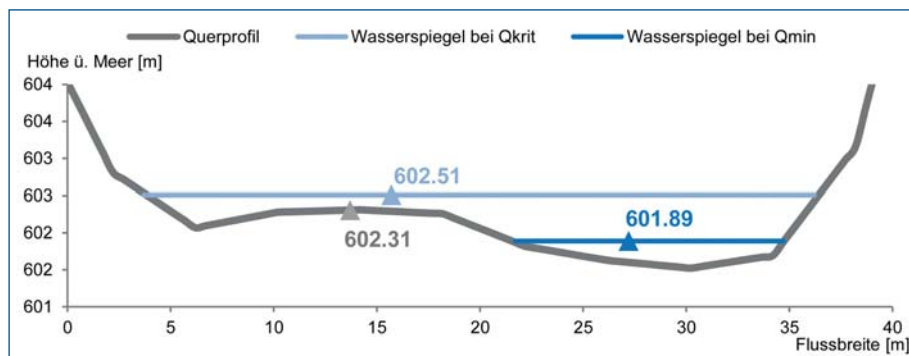
\* Bei der Sunkrate wurden nur Abflüsse  $< 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$  berücksichtigt, da nur in diesem tiefen Abflussbereich ein Risiko vorliegt, dass aquatische Organismen stranden (Kap. 4.2.1).



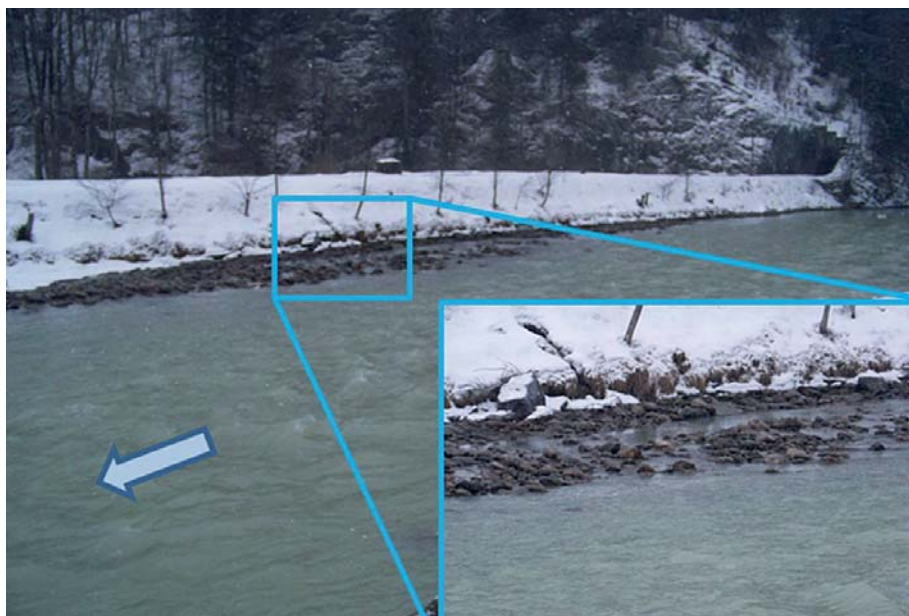
logischen Aufwertungen in der Schwallstrecke (Kap. 2) würde der kritische Abfluss  $Q_{\text{kritisch}}$  etwas höher als heute ausfallen und dementsprechend eine grössere Wassermenge für einen gedämpften Abflussrückgang erfordern.

$$T_{\text{Herunterfahren}} = \frac{Q_{\text{kritisch}} - Q_{\text{Minimum}}}{|\Delta Q_{\text{Min}}|} \quad (1)$$

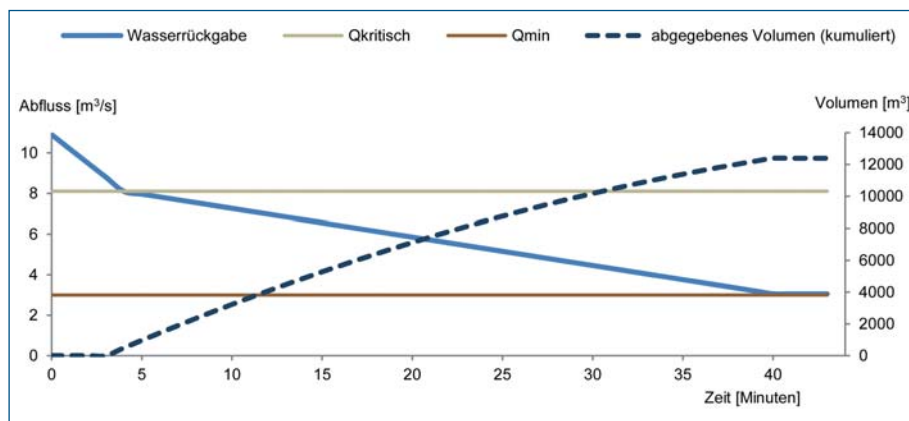
$T_{\text{Herunterfahren}}$  = Dauer für langsames Herunterfahren der Wasserrückgabe, [min]  
 $Q_{\text{kritisch}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_{\text{Minimum}} = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$



**Bild 5. Querschnittsprofil der Hasliaare in der Kiesbankstrecke. Links vom grauen Dreieck befindet sich eine potentielle Fischfalle. Der höchste Punkt der Fischfalle liegt bei 602.31 m ü.M. (graues Dreieck), 20 cm oberhalb davon (bei 602.51 m ü.M., hellblaues Dreieck) beträgt der Abfluss  $Q_{\text{krit}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Der Wasserstand beim minimalen Abfluss  $Q_{\text{min}} = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$  (95%-Perzentil; Tabelle 3) liegt bei 601.89 m ü.M. (dunkelblaues Dreieck).**



**Bild 6. Potenzielle Fischfalle in der Hasliaare. Der blaue Pfeil gibt die Fließrichtung an.**



**Bild 7. Schematische Darstellung der sanften Reduktion des Beckenausflusses (mit einer Sunkrate von  $-0.14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ) und der dabei kumulierten abgegebenen Wassermenge.  $Q_{\text{min}}$  = minimaler Abfluss mit  $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$  (95%-Perzentil),  $Q_{\text{kritisch}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$ .**

(95%-Perzentil),  $\Delta Q_{\text{min}} = \text{Sunkrate} = -0.14 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ min}^{-1}$ .

Auf Minutenbasis lässt sich mit den Gleichungen (2) und (3) dasjenige Wasservolumen  $V_{\text{Wasser}}$  [ $\text{m}^3$ ] bestimmen, das für diese sanfte Reduzierung der Wasserrückgabe nötig ist.

$$V_{\text{Wasser}} = \sum_{i=1}^{T_{\text{Herunterfahren}}} \{Q_i \cdot \Delta t\} \quad (2)$$

Mit  $Q_i$  = Abfluss [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] zum Zeitpunkt  $i$  [min], einer zeitlichen Auflösung von  $\Delta t = 1$  Minute und mit:

$$Q_{i+1} = Q_i - |\Delta Q_{\text{Min}}| \quad (3)$$

#### Optimierung der Schwallraten (Stufe 2)

Ausgehend von der Optimierung der Sunkraten kann in einem nächsten Schritt versucht werden, die Schwallraten möglichst stark zu dämpfen. Konkret wurde bei den anschliessenden Simulationen die Randbedingung eingefügt, dass stets ein Wasservolumen von  $12\,500 \text{ m}^3$  im Speicher für ein sanftes Zurückfahren zur Verfügung steht. Das restliche Volumen im Speicher stand dagegen ausschliesslich für die effiziente Dämpfung der Schwallraten zur Verfügung. Die so gewählte Steuerung des Zwischenspeichers entspricht zwar einer relativ starken Vereinfachung, ist allerdings nach heutigem Kenntnisstand angemessen genau und aus mathematischer Sicht grundsätzlich zulässig.

#### 4.2.2 Ergebnisse für die verschiedenen Speichervolumina

Abhängig von der Grösse des Speichers können unterschiedlich starke Dämpfungen bei den Schwallraten erzielt werden (Tabelle 4). Verglichen mit dem heutigen Zustand fallen bereits beim kleinsten betrachteten Volumen (Szenario IIIa) die Schwallraten mit  $0.9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ min}^{-1}$  (95%-Perzentil) deutlich tiefer aus als heute. Mit einer Erhöhung der Speichervolumina lassen sich die Schwallraten dementsprechend weiter reduzieren.

Aufgrund der gewählten Vereinfachung bei den Speichersimulationen unterscheiden sich die Sunkraten zwischen den einzelnen Szenarien nicht. Allerdings können mit grösseren Speichervolumina auch bei künftigen morphologischen Aufwertungen strengere Kriterien bei den Sunkraten eingehalten werden (Schweizer et al. 2013c).

Diese hydrologischen Simulationen sind eine essenzielle Grundlage, um die ökologische Wirkung verschiedener Sanierungsmassnahmen abschätzen zu können.

| Szenario | Volumen gesamt [m <sup>3</sup> ] | Volumen für Sunkdämpfung [m <sup>3</sup> ] | Volumen für Schwalldämpfung [m <sup>3</sup> ] | Schwallrate [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ] | Sunkrate* [m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ] | Minimaler Abfluss [m <sup>3</sup> /s] | Maximaler Abfluss [m <sup>3</sup> /s] |
|----------|----------------------------------|--|---|---|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 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                                  |

**Tabelle 4. Schwallkennwerte unterhalb der Wasserrückgabe in Innertkirchen für die Szenarien IIIa–IIId (Kap.3.2 und 4.2), jeweils 95%-Perzentile der Winterabflüsse. Die entsprechenden Werte für die Szenarien I und II sind in Tabelle 3 dargestellt.**

\* Bei der Sunkrate wurden nur Abflüsse < 8.1 m<sup>3</sup>/s in der Aare berücksichtigt (vgl. 4.2.1).

## 5. Diskussion

### 5.1 Betrachtung der Unsicherheiten hinsichtlich Betriebsregime

In Absprache mit Begleitgruppe und Expertenteam wurden folgende Annahmen hinsichtlich des Betriebsregimes getroffen:

- «Mit den Produktionsdaten von 2008 bis 2012 wird das künftige Betriebsregime (ohne Kraftwerkserweiterung) am besten wiedergegeben.»  
Da die Produktion von Sonnen- und Windenergie nicht planbar und nur beschränkt vorhersagbar ist, wird den Speicherkraftwerken auch künftig eine wichtige Funktion bei der Netzregulierung zukommen. Bereits seit 2008 bietet die KWO dafür notwendige Systemdienstleistungen an (Kap. 2). Aufgrund dieser Rahmenbedingungen dürften die Produktionsdaten von 2008 bis 2012 das künftige Betriebsregime (ohne Kraftwerkserweiterung) auf eine realistische Art und Weise beschreiben.
- «Aus ökologischer Sicht liegt der Fokus auf den winterlichen Abflüssen.»  
Während den Wintermonaten fallen die Änderungen des Abflussregimes und damit die Effekte auf die Lebensraumbedingungen am stärksten aus. Ausserdem finden in dieser Jahreszeit diverse gewässerökologische Schlüsselprozesse (u.a. Laichzeit der Salmoniden, Entwicklung von verschiedenen Arten der Wirbellosen) statt. In Absprache mit den Experten und den Begleitgruppenmitgliedern (Kap. 2) ist daher der Fokus der hydrologischen und ökologischen Abklärungen auf die Wintermonate zu legen. Für bestimmte Thematiken (z.B. Lebenszyklus der Fische) wurden bei der anschliessenden ökologischen Beurteilung allerdings auch die anderen Jahreszeiten miteinbezogen.
- «Der Einfluss der Kraftwerkserweiterung auf das künftige Betriebsregime wird mit einer abgestuften Erhöhung (Szenario IID) nicht unterschätzt.»

Mit dem Einbau einer zusätzlichen Turbine in der Zentrale Innertkirchen 1 wird die maximal mögliche Betriebswassermenge um 25 m<sup>3</sup>/s erhöht (Kap. 4.1). Die abgestufte Erhöhung der Abflüsse beginnt bereits, wenn in der Vergangenheit 50% des damals möglichen Potenzials für die Stromproduktion ausgeschöpft wurde. Die vollständige Erhöhung wird erreicht, wenn in den historischen Daten 75% des damals zur Verfügung stehenden Leistungsvermögens ausgenutzt wurde. Diese Anpassungen wurden vorgenommen, obwohl eine maximale (winterliche) Stromproduktion zuletzt im Jahr 2005 auftrat. Aus ökologischer Sicht beschreibt das Szenario IID das künftige Betriebsregime daher tendenziell etwas ungünstiger, als es aus heutiger Sicht zu erwarten wäre.

### 5.2 Betrachtung der Unsicherheiten hinsichtlich Speichersteuerung

Um die künftige Steuerung des Speichers so realistisch wie möglich simulieren zu können, wurden in Absprache mit Begleitgruppe und Expertenteam folgende Vereinfachungen vorgenommen:

- Die zeitliche Retention zwischen Turbinenausfluss und Speicherstollen und -becken von knapp 10 Minuten wird nicht berücksichtigt. Grundsätzlich wird das künftige Einbeziehen dieser zeitlichen Verzögerung eine effizientere Speichersteuerung erlauben.
- Das Bereitstellen eines Reservevolumens für absolute Extremfälle (z.B. Hochfahren der Stromproduktion von 0 auf 95 m<sup>3</sup>/s innerhalb weniger Minuten) wurde bei den durchgeführten Simulationen nicht einbezogen. Allerdings wird bei der Feinplanung auch dieser Aspekt berücksichtigt und detailliert betrachtet.
- Aufgrund der Datengrundlage (Stromproduktion und Abflussdaten) wurde eine zeitliche Auflösung von 15 Minuten gewählt, die ausreichend genau sein dürfte, um die Effekte vom Schwallbetrieb adäquat beschreiben zu können.

- Aufgrund (noch) fehlender Kenntnisse über die genauen Zusammenhänge zwischen Abflussregime, Morphologie und Gewässerökologie (Bruder et al. 2012a, 2012b) konnten weitere Optimierungen bei der Steuerung des Speichers nicht berücksichtigt werden. Das umfangreiche Untersuchungsprogramm legt eine Fokussierung auf die Abflussgradienten (Dämpfung der Schwallraten im gesamten Abflussbereich sowie Reduktion der Sunkraten im tiefen Abflussbereich) nahe. Nach Inbetriebnahme des Zwischenspeichers müssen die angestrebten Grenzwerte und die ökologische Wirkungen in der Praxis überprüft werden. Aus ökologischer Sicht sind weitere Optimierungsmöglichkeiten in der Speichersteuerung denkbar, wie beispielsweise mit einem abgestuften Hochfahren der Wasserrückgabe (Vorschwall; Limnex 2009) oder saisonal variierenden Grenzwerten (z.B. während der Laichzeit).

Die künftige Steuerung muss automatisiert erfolgen und verschiedene Faktoren wie beispielsweise Betriebsregime, Speicherfüllung (Beruhigungsbecken und Stollen), aktuelle Wasserrückgabe und momentaner Abfluss in der Aare berücksichtigen. Bei einer künftigen Veränderung der morphologischen Verhältnisse in der Schwallstrecke (Kap. 2) ist eine Anpassung der anzustrebenden Grenzwerte wahrscheinlich (Kap. 4.2.1).

### 5.3 Grundlagen für eine möglichst objektive Auswahl der umzusetzenden Sanierungsvariante

Der letztliche Entscheid für oder gegen eine Sanierungsmassnahme hängt sowohl von den Kosten als auch von den erwarteten ökologischen Wirkungen ab. Während sich die finanziellen Aufwendungen relativ genau abschätzen lassen, bestehen relativ grosse Unsicherheiten hinsichtlich der ökologischen Effekte. Trotz bestehender Unsicherheiten bei den hydrologischen Simulationen (Kap. 5.1 und 5.2) ist es möglich, das künftige Abflussregime relativ

genau vorherzusagen. In einem nächsten Schritt können die Abflussganglinien der verschiedenen Szenarien als wichtige Grundlage für eine ökologische Bewertung verwendet werden (Schweizer et al. 2013c).

Wenn den lokalen Gegebenheiten (z.B. Betriebsregime, gewässerökologische Situation, wirtschaftliche und raumplanerische Rahmenbedingungen) ausreichend Rechnung getragen wird, kann das hier beschriebene Vorgehen auch bei anderen Sanierungsfällen angewendet werden.

#### Danksagung

Für die fachlich hervorragende Zusammenarbeit möchten sich die Autoren ganz herzlich bei *Manfred Kummer, Martin Huber Gysi, Daniel Hefti* (alle Bundesamt für Umwelt) und *Vinzenz Maurer* (Amt für Wasser und Abfall) bedanken. *Catherine Mathez* (BWU), *Bernhard Luder* (BAFU), *Matthias Meyer, Sandro Schläppi, Heinz Peter Tscholl, Oliver Kost, Jan Baumgartner, Daniel Fischlin* (alle KWO), *Peter Büsser, Stephanie Schmidlin* (Limnex), *Kurt Wächter* (Limnex), *Matthias Schneider* (SJE), *Jeff Tuhtan* (SJE) und *Michael Döring* (eQcharta) gebührt ein grosser Dank für die wertvollen Anmerkungen und für das kritische Durchlesen des Manuskripts.

#### Literatur

- Baumann P., Kirchofer 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.
- Bieri M.* (2012): Operation of Complex Hydro-power Schemes and its Impact on the Flow Regime in the Downstream River System under Changing Scenarios. Diss. EPFL No 5433., Zürich, Schweiz.
- 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.
- LCH (2012): Betrieb des Dämpfungsbeckens Innertkirchen. Bestimmung der Schwallkennwerte für die Hasliaare unter Berücksichtigung einer ökologisch optimalen Beckensteuerung. EPFL-LCH, Lausanne, Rapport LCH Nr. 13/2012, 15 Seiten. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren: *Bieri M. & Meile T.*).
- Limnex (2009): Schwall-Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchungen von Hasliaare und Lutschine und Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und Szenarien. Bericht im Auftrag der KWO. (Autoren: *Baumann P., Wächter K. und 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 Schleis A.* (2013): Mitigation measures for fish habitat improvement in Alpine rivers affected by hydropower operations. *Ecohydrology* 2013, 20 Seiten.
- 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., Meyer M., Heuberger N., Brechbühl S. und Ursin M.* (2010): Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2010(4): 289–300.
- 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 Ausbauvorhaben 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.* (2013b): 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., 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. «Wasser Energie Luft» 2013(4): 275–285.
- Stalder P. und Rouge M.* (2012): Steuerung des Beruhigungsbeckens am Standort Innertkirchen. Schlussbericht des Desing-Projekts «Science et ingenierie de l'environnement 2012. Betreuung Prof. Dr. A. Schleiss und Dr. S. Schweizer.

Anschrift des Verfassers

Steffen Schweizer

Kraftwerke Oberhasli AG

Grimselstrasse, CH-Innertkirchen

sste@kwo.ch

Tel. +41 33 982 20 19