

***Gewässerökologische Massnahmen
zur Schwall-Sunk-Sanierung im Haslital***

***Mesures écologiques des eaux pour
l'assainissement des éclusées au
Haslital***

***Immagine di copertina: misure di
risanamento dei deflussi discontinui
nella valle dell'Hasli***

**INGENIEURBIOLOGIE
GENIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA**

**Mitteilungsblatt für die Mitglieder
des Vereins für Ingenieurbiologie**

Heft Nr. 1/2016, 26. Jahrgang
Erscheint viermal jährlich

Herausgeber:

Verein für Ingenieurbiologie
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 (0)55 222 47 90
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

Internet-Adresse:

<http://www.ingenieurbiologie.ch>

Druck:

Vögeli AG, Langnau i. E.

**Verantwortlicher Redaktor/
Rédacteur responsable:**

Roland Scheibli
Baudirektion Kanton Zürich
Amt für Landschaft und Natur
Walcheplatz 2, Postfach
CH-8090 Zürich
Tel.: + 41 43 259 27 64
Fax: +41 43 259 51 48
E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

**Redaktionsausschuss/
Comité de rédaction:**

Robert Bänziger
Tel.: + 41 44 850 11 81
Fax: + 41 44 850 49 83
E-Mail: info@bk-ing.ch

Monika La Poutré
Tel.: + 43 650 86 15215
E-Mail: m.stampfer@gmx.at

Christian Rickli
Tel.: +41 44 739 24 03
Fax: +41 44 739 22 15
E-Mail: christian.rickli@wsl.ch

Lektorat/Lectorat:

Martin Huber
Tel.: + 41 32 671 22 87
Fax: + 41 32 671 22 01
E-Mail: martin.huber@bsb-partner.ch

Übersetzungen/Traductions:

Rolf T. Studer, E-Mail: rolav22@hotmail.com

Michel Jaeger, E-Mail: mr.mjaeger@gmail.com

Veranstaltungen:

Verein für Ingenieurbiologie
c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil
ILF-Institut für Landschaft und Freiraum
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 (0)55 222 47 90
E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch

**Weitere Exemplare dieses Heftes
können zum Stückpreis von Fr. 30.-
beim Sekretariat bezogen werden.**



Sehr geehrte Leserinnen und Leser

Seit 8 Jahren arbeite ich als Ökologe bei den Kraftwerken Oberhasli AG. Eine Hauptaufgabe meiner Tätigkeit ist die ökologische Begleitung von verschiedenen Investitionsprojekten. Dabei geht es immer um ein kritisches Abwägen zwischen den ökologischen Ansprüchen in den genutzten Gewässern, der Möglichkeit an anderen Stellen wirksame ökologische Aufwertung zu realisieren und natürlich auch um die Optimierung der Wasserkraft. Um für ein Projekt einen möglichst guten Kompromiss zwischen diesen unterschiedlichen Ansprüchen erreichen zu können, braucht es aus meiner Sicht:

- ausreichende fachliche Grundlagen
- eine gute Kenntnis der Gegebenheiten vor Ort
- einen partizipativen Prozess mit gegenseitigem Verständnis
- den Mut, auch innovative Lösungen in Betracht zu ziehen.

Neben der Begleitung der Investitionsprojekte waren auch Themen wie Restwassersanierung und die Sanierung Wasserkraft zu den Aspekten Schwall/

Sunk, Fischgängigkeit und Geschiebe zu beachten. Auch hierfür konnten gute und breit abgestützte Lösungen für die von der KWO genutzten Gewässern gefunden werden.

In Form von mehreren Publikationen finden Sie in diesem Heft die oben beschriebenen Themenfelder zusammengefasst. Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und stehe bei Fragen gerne zur Verfügung.

Für Ihre Generalversammlung wünsche ich gutes Gelingen und heisse Sie herzlich im Oberhasli willkommen!

Steffen Schweizer

Chères lectrices, chers lecteurs,

Depuis 8 ans, je travaille en tant qu'écologue pour les centrales électriques Oberhasli AG (KWO). Le suivi écologique de différents projets d'investissement fait partie des objectifs principaux de mon activité. Il s'agit toujours de considérer les exigences environnementales dans l'utilisation des eaux, la possibilité de mettre en oeuvre à d'autres emplacements des revalorisations écologiques efficaces et naturellement aussi l'optimisation de l'énergie hydraulique. Afin d'obtenir le meilleur compromis possible entre ces diverses exigences pour un projet, il s'agit de mon point de vue de considérer:

- les bases techniques adéquates
- une bonne connaissance des conditions locales
- un processus participatif avec compréhension mutuelle
- le courage d'envisager aussi des solutions innovantes.

Titelbild/Frontispice:

Baustelle des oberirdischen Beruhigungsbeckens zur Schwall-Sunk-Sanierung in Innertkirchen

(Foto: Andrea Bernhardt).

Construction du bassin d'amortissement superficiel pour l'assainissement des éclusées à Innertkirchen (photo: Andrea Bernhardt).

Costruzione del bacino di compenso per il risanamento dei deflussi discontinui a Innertkirchen

(Foto: Andrea Bernhardt).

En plus du suivi des projets d'investissement, des domaines tels que l'assainissement des débits résiduels, l'assainissement de la force hydraulique par rapport aux aspects des éclusées, ou encore le passage des poissons et le transport du charriage doivent être considérés. Dans ces domaines aussi, de bonnes solutions largement soutenues ont pu être trouvées pour les cours d'eaux exploités par les centrales KWO.

Les sujets évoqués ci-dessus sont résumés sous la forme d'articles dans cette revue. Je vous souhaite une lecture intéressante et reste volontiers à disposition pour toutes questions que vous pourriez avoir.

Je souhaite un plein succès à votre assemblée générale et une cordiale bienvenue à vous à Oberhasli!

Steffen Schweizer

Gentili lettrici e lettori

Da otto anni lavoro come ecologo presso l'azienda Kraftwerke Oberhasli AG (KWO). Uno dei compiti principali del mio lavoro è l'accompagnamento ecologico di diversi progetti d'investimento. Si tratta di valutare attentamente e trovare un giusto equilibrio tra le esigenze ecologiche dei corsi d'acqua sfruttati, della possibilità di realizzare miglioramenti ecologici in un altro posto, e ovviamente anche di ottimizzare la forza idrica. Per trovare la migliore soluzione possibile tra tutti questi interessi secondo me servono:

- Sufficienti conoscenze tecniche di base,
- Buona conoscenza delle condizioni locali,
- Un processo partecipativo con comprensione reciproca,
- Avere il coraggio di considerare anche soluzioni innovative.

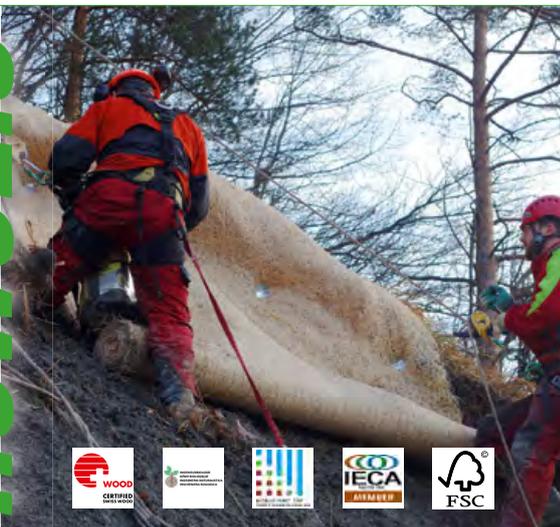
Oltre all'accompagnamento di progetti d'investimento ho da considerare anche temi quali il risanamento dei deflussi residuali e della forza idrica per quanto riguarda i deflussi discontinui, la circolazione dei pesci e il materiale solido di fondo. Anche in questi ambiti per i corsi d'acqua sfruttati dalle KWO sono state trovate buone soluzioni che godono di un ampio sostegno.

In quest'edizione trovate, sotto forma di diversi articoli, i temi descritti in precedenza. Auguro a tutti un'interessante lettura e rimango a Vostra disposizione per eventuali domande.

Auguro una buona riuscita della Vostra assemblea generale e Vi dò un cordiale benvenuto nella regione dell'Oberhasli!

Steffen Schweizer

HOWOLIS



Erosionsschutzvlies

Natürlicher Schutz aus Schweizer Holz.

Tapis anti-érosion

Protection naturelle de bois suisse.

Stuoie contro l'erosione

Protezione naturale da legno svizzero.

Lindner
suisse

produziert von | produit par | prodotto da:

Lindner Suisse GmbH | Bleikenstrasse 98 | CH-9630 Wattwil
Phone +41 (0) 71 987 61 51 | Fax +41 (0) 71 987 61 59
holzvolle@lindner.ch | www.lindner.ch

Gewässerökologische Aufwertungen im Rahmen der Restwassersanierung und der Ausbauvorhaben an der Grimsel

Schweizer Steffen, Matthias Meyer, Thomas Wagner, Heiko Zeh Weissmann

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 104. Jahrgang, 2012, Heft 1, CH-5401 Baden

Zusammenfassung

Im Rahmen der Restwassersanierung und der drei Hauptprojekte des aktuellen Investitionsprogramms KWO plus werden verschiedene gewässerökologische Aufwertungen im Oberhasli realisiert. Insgesamt sind Restwasserdotierungen an zwölf Fassungen geplant, acht Auen- und Flussrevitalisierungen, vier Massnahmen zur Verbesserung der Längsvernetzung für Fische, eine Massnahme zur Verbesserung des Geschiebehaushalts, zwei Fassungsarbeiten, drei Verzichte auf künftige Nutzungen und eine landschaftliche Aufwertung. Das Gesamtkonzept stützt sich auf zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen und einer gemeinsam mit den kantonalen Fachstellen, den beteiligten Umweltschutzorganisationen, dem Büro Sigmaphan und der KWO entwickelten ökologischen Bewertungsmethode ab. Das Massnahmenpaket zur Restwassersanierung und zu zwei Hauptprojekten von KWO plus («Tandem» und «Grimsel 3») wurde in Zusammenarbeit mit den kantonalen Fachstellen, den Umweltschutzorganisationen und der KWO erarbeitet. Die Ausgleichsmassnahmen im Rahmen der «Vergrösserung des Grimselsees» wurden von den kantonalen Fachstellen und der KWO festgelegt. Alle hier beschriebenen Massnahmen beziehen sich auf den Stand vom Sommer 2010, als sich Umweltschutzorganisationen, Fachstellen und die KWO auf Ausgleichsmassnahmen im Rahmen von Restwassersanierung, «Tandem» und «Grimsel 3» offiziell geeinigt haben.

Die einzelnen Aufwertungsmassnahmen wurden so aufeinander abgestimmt, dass künftig möglichst viele Synergien

genutzt werden können und ein möglichst grosser ökologischer Gewinn resultiert. Gleichzeitig wurden aber auch die betrieblichen, wirtschaftlichen sowie klima- und energiepolitischen Rahmenbedingungen mitberücksichtigt, so dass mit vertretbaren Produktionseinbussen eine ganzheitliche und sinnvolle Aufwertung der gewässerökologischen Situation im Oberhasli erreicht wird.

Keywords

KWO plus, Restwassersanierung, Gewässerökologie

Revalorisations écologiques des eaux dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels et des projets d'expansion au Grimsel

Résumé

Dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels et des trois principaux projets du programme d'investissement en cours KWO plus, diverses revalorisations écologiques des eaux seront réalisées à Oberhasli. Au total sont prévus des allocations de débits résiduels sur douze captages, huit revitalisations de plaine alluviale et de cours d'eau, quatre mesures visant à améliorer la connectivité longitudinale pour les poissons, une mesure visant à améliorer le régime de charriage, deux travaux de captage, trois renoncements sur des utilisations futures et une revalorisation du paysage. Le concept global se base sur de nombreuses études sur l'écologie des eaux et sur des méthodes d'évaluation environnementale développées en collaboration avec les autorités cantonales, les organisations environnementales participantes, le bureau Sigmaphan et KWO.

Le paquet de mesures visant à assainir les débits résiduels et deux principaux projets de KWO plus («Tandem»

et «Grimsel 3») ont été préparés en collaboration avec les autorités cantonales, les organisations de protection de l'environnement et KWO. Les mesures de compensation dans le cadre de «l'élargissement du lac du Grimsel» ont été déterminées par les autorités cantonales et KWO. Toutes les mesures décrites ici se rapportent à la situation en été 2010, lorsque des organisations environnementales, des organismes professionnels et KWO se sont officiellement entendus sur des mesures de compensation dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels, «Tandem» et «Grimsel 3».

Les mesures individuelles d'amélioration ont été coordonnées de telle sorte qu'à l'avenir, de nombreuses synergies peuvent être exploitées et les plus grands résultats possibles de profit écologiques. En même temps, le cadre opérationnel, économique et politique du climat et de l'énergie a été pris en compte afin que les pertes de production raisonnables une appréciation globale et significative de la situation écologique aquatique dans Oberhasli est atteint.

Mots-clés

KWO plus, assainissement des débits résiduels, écologie des eaux

Miglioramenti ecologici di corsi d'acqua nell'ambito del risanamento dei deflussi residuali e dell'ampliamento nella regione del Grimsel

Riassunto

Nell'ambito del risanamento dei deflussi residuali e dei tre progetti principali del programma d'investimento KWO plus si stanno realizzando diversi miglioramenti ecologici delle acque nella regione dell'Oberhasli (BE). In tutto sono pianificate dotazioni minime su dodici prese d'acqua, otto rinaturazioni di

corsi d'acqua e zone alluvionali, quattro misure per migliorare la connettività longitudinale, una misura per migliorare il trasporto dei sedimenti, l'abbandono di due prese d'acqua, tre rinunce a un futuro sfruttamento, e un miglioramento del paesaggio. Il concetto globale si basa su diverse analisi ecologiche delle acque e un metodo di valutazione sviluppato in collaborazione tra uffici cantonali, le associazioni per la protezione dell'ambiente coinvolte, l'azienda Sigmoplan e le KWO. Il pacchetto di misure per il risanamento dei deflussi residuali e per i due progetti principali di KWO plus («Tandem» e «Grimsel 3») è stato sviluppato da uffici cantonali, associazioni per la protezione dell'ambiente e le KWO. Le misure di compensazione nell'ambito «dell'ingrandimento del lago Grimsel» sono state definite dagli uffici cantonali insieme alle KWO. Tutte le misure qui descritte si basano sullo stato dei lavori nell'estate 2010, data in cui le associazioni ambientaliste, gli uffici competenti e le KWO hanno ufficialmente concordato le misure di compensazione per i deflussi minimi, «Tandem» e «Grimsel 3».

Le singole misure di miglioramento sono state definite in modo da sfruttare più sinergie possibili e per ottenere un miglioramento ecologico il più grande possibile. Contemporaneamente sono state considerate anche altre condizioni dettate dalla gestione, economiche e dalla politica climatica ed energetica. In questo modo, con una perdita di produzione accettabile si può ottenere un miglioramento ecologico generale e intelligente delle acque della regione dell'Oberhasli.

Parole chiave

KWO plus, risanamento dei deflussi residuali, ecologia delle acque

1. Ausgangslage

Die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) ist Inhaberin einer Konzession für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte im Oberhasli (oberhalb von Innertkirchen). Die Konzession, datiert vom 12. Januar 1962, wurde für eine Dauer von 80

Jahren verliehen. Gestützt auf das entsprechende Wasserkraftrecht betreibt die KWO im 450 km² grossen Einzugsgebiet insgesamt 27 Wasserfassungen und produziert in neun Kraftwerken mit total 1125 MW Leistung durchschnittlich 2300 GWh Energie pro Jahr (inklusive rund 700 GWh/a Pumpspeicherung).

Anfang des neuen Jahrtausends begann die KWO mit der Planung von diversen Ausbauprojekten, die unter dem Namen **«KWO plus»** zusammengefasst werden. Hauptprojekte des entsprechenden Investitionsprogramms sind das Ausbauprojekt **«Tandem»** (Aufwertung der Kraftwerke Handeck 2 und Innertkirchen 1 durch Steigerung der in diesen beiden Zentralen installierten Turbinenleistung um insgesamt 280 MW sowie der Vergrößerung der Jahresproduktion um 70 GWh, ohne zusätzliches Wasser zu nutzen), das Pumpspeicherwerk **«Grimsel 3»** (Bau eines neuen unterirdischen Umwälzwerks zwischen dem Oberaar- und dem Räterichsbodensee mit einer Gesamtleistung von 660 MW) sowie die **«Vergrößerung Grim-**

selsee» (Steigerung der heutigen Speicherkapazität von 95 Mio. m³ auf 170 Mio. m³ durch Erhöhung der beiden Talsperren Spitellamm und Seeuferegg um je 23 m).

Im Sommer 2009 wurde ein breit abgestützter Begleitgruppenprozess begonnen (Schweizer et al. 2012a), um eine einvernehmliche Lösung zu diesem Investitionsprogramm zu finden. Unter der Leitung des Kantons Bern (Regierungsrätin Barbara Egger-Jenzer) nahmen daran Vertreter

- der kantonalen Ämter,
- der Umweltschutzorganisationen,
- des lokalen Fischereivereins und des kantonalen Fischereiverbands (BKfV),
- der Region,
- der politischen Parteien und
- der KWO

teil. Bereits zu Beginn des Begleitgruppenprozesses wurde festgelegt, dass mit den Umweltschutzorganisationen nur über die beiden Ausbauprojekte **«Tandem»** und **«Grimsel 3»** verhandelt

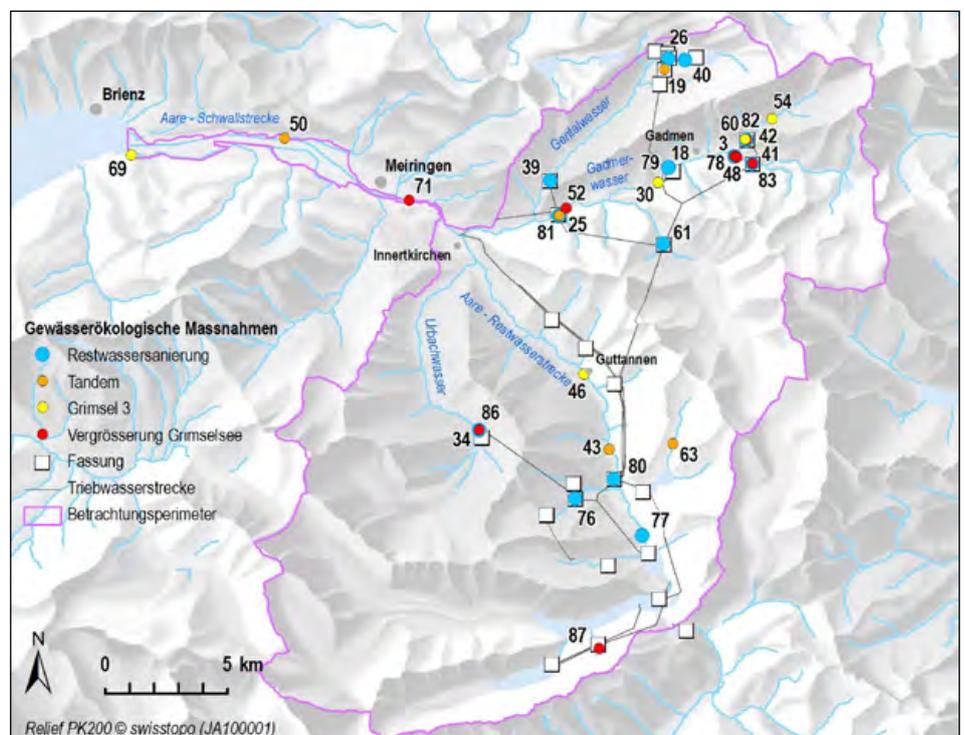


Bild 1: Die gewässerökologischen Aufwertungsmassnahmen im Rahmen der Restwassersanierung und des Investitionsprogramms KWO plus. Jede Nummer entspricht einer Massnahme (vgl. Tabelle 1).
Figure 1: Les mesures d'amélioration écologiques des eaux dans le contexte de l'assainissement des débits résiduels et le programme d'investissement KWO plus. Chaque numéro correspond à une mesure (cf. tableau 1).

Nummer	Massnahme	Zuordnung
3	Auen- und Flussrevitalisierung Obermad	Vergrößerung Grimselsee
18	Dotierung Fuhren	Restwassersanierung
19	Rückbau Fassungen Moosbach und -quellen	Tandem
25	Dotierung Hopflauen	Restwassersanierung
26	Dotierung Engstlenbach	Restwassersanierung
30	Auen- und Flussrevitalisierung Fuhren-Süd	Grimsel 3
34	Dotierung Mattenalp	Restwassersanierung
39	Dotierung Leimboden	Restwassersanierung
40	Dotierung Ausfluss Engstlensee	Restwassersanierung
41	Dotierung Steinwasser	Restwassersanierung
42	Dotierung Wendenwasser	Restwassersanierung
43	Sanierung der künstlichen Schwelle an der Schwarzbrunnenbrigg	Tandem
46	Längsnetzwerk Giessenbach	Grimsel 3
48	Renaturierung Schwarzbrunnengraben	Vergrößerung Grimselsee
50	Aufwertung Aue Sytenwald	Tandem
52	Auenrevitalisierung Hopflauen	Vergrößerung Grimselsee
54	Aufwertung Schwemmebene Wendenalp	Grimsel 3
60	Nutzungsverzicht Treichigraben	Grimsel 3
61	Nutzungsverzicht Tobigerbach	Restwassersanierung
63	Nutzungsverzicht Diechterbach	Tandem
69	Renaturierung Brunnenquellen	Grimsel 3
71	Flussrevitalisierung Aare Meiringen	Vergrößerung Grimselsee
76	Dotierung Grubenbach	Restwassersanierung
77	Dotierung Räterichsbodensee	Restwassersanierung
78	Geschlebedotierung Gadmerwasser	Restwassersanierung
79	Fischlift Fuhren	Restwassersanierung
80	Dotierung Handeck	Restwassersanierung
81	Erhöhung Dotierung Hopflauen	Tandem
82	Erhöhung Dotierung Wendenwasser	Vergrößerung Grimselsee
83	Erhöhung Dotierung Steinwasser	Vergrößerung Grimselsee
86	Aufgabe der Sekundärfassung Mattenalp	Vergrößerung Grimselsee
87	Dotierung Trübenbach	Vergrößerung Grimselsee

Tabelle 1: Offizielle Nummerierung (vgl. Bild 1) der ökologischen Ausgleichsmassnahmen
 Tableau 1: Numérotation officielle (cf figure 1) des mesures de compensation écologique.

wird. Die Vergrößerung des Grimselsees wurde ausgeklammert, da dieses Ausbauprojekt für die Umweltschutzorganisationen aufgrund einer offenen Moorschutzfrage nicht konsensfähig war bzw. ist. Dafür wurde im Verlauf der Verhandlungen zusätzlich die bis 2012 umzusetzende Restwassersanierung (Art. 80 Gewässerschutzgesetz) in den partizipativen Prozess integriert (Schweizer & Zeh Weissmann 2011, Schweizer et al. 2012a).

2. Die gewässerökologischen Massnahmen im Überblick

Die zahlreichen im Auftrag der KWO durchgeführten gewässerökologischen Untersuchungen (Schweizer et al. 2010 und z.B. Emch + Berger 1997, Limnex 2008, Haas & Peter 2009, Sigmaplan 2010a und 2010b) boten eine solide Basis, um die heute bestehenden ökologischen Defizite aufzuzeigen und daraus den Handlungsbedarf abzuleiten. Zusätzlich förderten gezielte Begehungen des Oberhasler Einzugsgebiets und die enge Zusammenarbeit mit lokalen Fischern, Umweltschützern, Fachstellen und Umweltbüros (z.B. Sigmaplan AG)

die lokale Kenntnis über die Oberhasler Gewässer. Auf diese Weise wurden wertvolle und effiziente Aufwertungsmöglichkeiten gefunden und entwickelt (Sigmaplan 2010c und 2010d).

Für eine möglichst objektive Bewertung der gewässerökologischen Wirkung der verschiedenen Aufwertungsmassnahmen wurden im Begleitgruppenprozess mit den kantonalen Fachstellen und den Umweltschutzorganisationen insgesamt sechs dafür relevante Aspekte (Bewertungskriterien) festgelegt (Schweizer et al. 2012b). Diese Bewertungsmethode wurde für jedes Massnahmenpaket (Restwassersanierung, «Tandem», «Grimsel 3» und «Vergrößerung Grimselsee») und für den Ist-Zustand (ohne Aufwertungsmassnahmen) angewendet. Im Folgenden werden die im Sommer 2010 gemeinsam mit den eingebundenen Fachstellen und Umweltschutzorganisationen festgelegten Aufwertungsmassnahmen beschrieben.

Bild 1 gibt einen Überblick über die geographische Lage der ökologischen Aufwertungen im Rahmen der Restwas-

sanierung und des Investitionsprogramms KWO plus.

2.1 Restwassersanierung

Das eidgenössische Gewässerschutzgesetz (GSchG) schreibt in den Artikeln 80ff. die Sanierung der Restwasserstrecken bei bestehenden Wasserkraftkonzessionen bis Ende 2012 vor. Ziel dieser Vorschrift ist primär, dass angemessene Restwassermengen in den schweizerischen Gewässern fließen. Im Rahmen des Begleitgruppenprozesses (Kap. 1) wurden die in Tabelle 2 zusammengefassten Massnahmen gemeinsam mit den kantonalen Fachstellen und den Umweltschutzorganisationen festgelegt. Ausserdem wurde für jede Restwasserstrecke ein ökologisches Qualitätsniveau vereinbart. Je Gewässerabschnitt muss künftig eine ausreichende Restwassermenge vorhanden sein, um entweder eine ganzjährige Benetzung, eine naturnahe Besiedlung von Wirbellosen und Fischen zu gewährleisten oder um die Wahrnehmung eines Gewässers als landschaftlich prägendes Element zu garantieren (Schweizer & Zeh Weissmann 2011). Das Erreichen dieser ökologischen Zielniveaus wird in einem zehnjährigen Monitoring überprüft. Auch das detaillierte Monitoring-Konzept wurde gemeinsam mit den kantonalen Fachstellen, den Umweltschutzorganisationen und dem Umweltbüro Sigmaplan AG ausgearbeitet. Eine wichtige Basis für die Festlegung der Restwasserabgaben und für die Definition der Zielniveaus bildeten die 1994 und 2008 durchgeführten Dotierversuche (Sigmaplan 2010a und 2010b, B+S 2009, Emch + Berger 1997), verschiedene Abflussmesskampagnen (BWU Mathez 2009 und 2010) sowie weitere gewässerökologische Untersuchungen, die im Auftrag der KWO durchgeführt wurden (z.B. Limnex 2008, Schweizer et al. 2010). Ein ausführlicher Beschrieb der Massnahmen, ihrer ökologischen Wirkung und der festgesetzten Qualitätsniveaus findet sich in Schweizer & Zeh Weissmann (2011).

Folgende Massnahmen werden im Rahmen der Restwassersanierung umgesetzt:

- **Restwasserabgaben.** Elf Restwasserabgaben werden die grossen gewässerökologischen Defizite im Oberhasli beheben und sind auf die weiteren Aufwertungen im Rahmen der KWO plus Projekte abgestimmt.

Damit wird neben einer landschaftlichen Aufwertung der Gewässer auch eine deutliche Verbesserung der Lebensraumbedingungen für Wasserpflanzen und -tiere erzielt. Die höheren Restwassermengen werden künftig zu grösseren Wassertiefen, erhöhten Fliessgeschwindigkeiten und grösseren benetzten Flächen sowie zu einer Verbesserung der Längs- und Quervernetzung führen.

Massnahme	Restwasser	Dynamik	Ökomorphologie	Auen	Habitate	Landschaft
Restwasserabgaben an insgesamt elf Fassungen	++	0	0	+	++	++
Geschiebedotierung Gadmerwasser	0	++	+	0	+	+
Fischlift Führen	++	0	0	0	+	0
Verzicht auf künftige Nutzung des Tobigerbachs*	+	++	0	0	+	+

Tabelle 2: Gewässerökologische Wirkung der Aufwertungsmaßnahmen im Rahmen der Gewässersanierung.

++ = grosse Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,

+ = mittlere Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,

0 = keine Veränderung von heutigem Zustand.

* = bei dieser Massnahme wird die Veränderung ausgehend vom Zustand «künftige Nutzung mit entsprechender Restwasserabgabe des Tobigerbachs» mit dem heutigen Zustand «keine Nutzung des Tobigerbachs» verglichen.

Tableau 2: Impact écologique des eaux des mesures de revalorisation dans le cadre de l'assainissement des eaux.



Bild 2: Reaktivierung des Ausflusses vom Engstlensee als landschaftliche Aufwertung.
Figure 2: Réactivation de l'émissaire de Engstlensee comme revalorisation du paysage.

- **Geschiebedotierung Gadmerwasser.** Verschiedene Geschiebesammler halten im Gadmertal Flusssedimente zurück und führen so zu einem Geschiebedefizit, vor allem im Oberlauf des Talgewässers. Dadurch tritt auch ein Mangel an jenen Korngrössen auf, die als Laichsubstrat für die heimische Bachforelle benötigt werden. Bereits seit 2008 wird in Vorleistung die Geschiebedotierung im oberen Gadmerwasser durchgeführt. Dadurch konnten sowohl das vorherrschende Geschiebedefizit wirksam reduziert als auch die Laichbedingungen deutlich verbessert werden (aktuelles Monitoring und Beobachtungen von S. Schweizer, M. Meyer [beide KWO] und Fischereiverein Oberhasli, Oktober 2010).

- **Fischlift Führen.** An der Fassung Führen wird ein Fischlift (inkl. Fischabstiegsanlage) künftig zwei Fliessstrecken von je rund 2 km Länge für Fische wieder vernetzen. Diese Massnahme ist auf die Dotierungen an den Fassungen Wenden, Stein und Führen abgestimmt, wodurch der Oberlauf des Gadmerwassers künftig wieder als zusammenhängender Lebensraum für Bachforellen zur Verfügung steht. Der Fischabstieg wird in die Massnahme integriert.

- **Dotierung Ausfluss Engstlensee.** Der Engstlensee wird als Saisonspeicher verwendet. Mit einer Änderung der künftigen Bewirtschaftung des Sees wird gewährleistet, dass der Seeausfluss zwischen Juni und Oktober permanent Wasser führen wird (Bild 2), ohne dass künftig standortfremde Fische aus dem Engstlensee entweichen und abdriften. Dadurch wird dieser von zahlreichen Wandern, Fischern und Touristen besuchte Ort landschaftlich stark aufgewertet.

- **Nutzungsverzicht Tobigerbach.** Mit einem Verzicht auf eine künftige Nutzung des Tobigerbachs wird garantiert, dass vor allem die Abfluss- und Geschiebedynamik im unteren Triftwasser erhalten bleibt. Das Triftwasser ist einer der wichtigsten Zuflüsse ins Gadmerwasser.

2.2 Gewässerökologische Massnahmen im Rahmen von «Tandem» und «Grimsel 3»

Der Umfang und die Auswahl der gewässerökologischen Aufwertungsmassnahmen für die beiden Ausbauprojekte «Tandem» und «Grimsel 3» wurden gemeinsam mit den kantonalen Fachstellen und den Umweltschutzorganisationen festgelegt. Diese Massnahmen sind ausführlich in Sigmoplan (2010c und 2011) beschrieben und ihre Wirkungen auf ausgewählte gewässerökologische Aspekte in Tabelle 3a und 3b dargestellt.

Im Rahmen des Ausbauprojekts «Tandem» sind die folgenden Massnahmen vorgesehen:

- Erhöhung der Restwasserabgabe an der Fassung Hopflauenen.** Mit Dotierversuchen wurde die notwendige Wasserabgabe in Hopflauenen bestimmt, die für eine erfolgreiche Verlaichung der Seeforellen im Unterlauf des Gadmerwassers nötig ist (Sigmoplan 2010a). Die Erhöhung der Restwasserabgabe (von 250 l/s, Restwassersanierung auf 300 l/s) steht in direktem Zusammenhang mit dem geplanten Beruhigungsbecken in Innertkirchen.
- Beruhigungsbecken Innertkirchen.** Mit diesem Becken werden künftig die künstlichen Pegelschwankungen in der Schwallstrecke der Haslaare abgedämpft (Schweizer et al. 2008). Ausserdem soll mit einer damit verbundenen Verlegung der Wasserrückgabe der Unterlauf des Gadmerwassers wieder für Seeforellen zugänglich werden. Heute wird das Triebwasser vom Kraftwerk Innertkirchen 1 in den Unterlauf des Gadmerwassers geleitet und so das Einsteigen der Seeforellen in diesen Gewässerabschnitt verhindert (Bild 3). Künftig wird das Triebwasser unter dem Gadmerwasser in das Beruhigungsbecken geleitet, so dass der Unterlauf des Gadmerwassers für die vom Brienzensee kommenden Seeforellen wieder erreichbar ist und so wertvolle Laichhabitate von der bedrohten Fischart wieder genutzt werden können.

Massnahme	Restwasser	Dynamik	Ökomorphologie	Auen	Habitats	Landschaft
Erhöhung der Restwasserabgabe an der Fassung Hopflauenen	+	0	0	0	++	0
Aufgabe der Fassung Moosbach	++	++	0	+	++	+
Verzicht auf künftige Nutzung des Diechterbachs*	++	++	0	0	++	++
Sanierung der künstlichen Schwelle Schwarzbrunnenbrigg	0	0	0	0	+	0
Beteiligung an der Auen- und Flussrevitalisierung Sytenwald	0	++	++	++	++	+
Beruhigungsbecken Innertkirchen und Verlegung der Wasserrückgabe**	0	0	0	0	++	0

Tabelle 3a: Gewässerökologische Wirkung der Aufwertungsmassnahmen im Rahmen des Ausbauprojekts «Tandem».

++ = grosse Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,

+ = mittlere Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,

0 = keine Veränderung von heutigem Zustand.

* = bei dieser Massnahme wird die Veränderung ausgehend vom Zustand «künftige Nutzung mit entsprechender Restwasserabgabe des Diechterbachs» mit dem heutigen Zustand «keine Nutzung des Diechterbachs» verglichen.

** = diese Massnahme wurde in der ökologischen Bilanzierung (Schweizer et al. 2012a und 2012b) aufgrund der Revision des Gewässerschutzgesetzes bzgl. Schwall/Sunk nicht berücksichtigt.

Tableau 3a: Impact écologique des eaux des mesures de revalorisation dans le cadre du projet d'expansion «Tandem».



Bild 3: Unteres Gadmerwasser bei der Wasserrückgabe vom Kraftwerk Innertkirchen 1. Mit der künftigen Verlegung der Wasserrückgabe (unter dem Gadmerwasser hindurch) und einer weiteren Erhöhung der Restwassermenge steht dieser Gewässerabschnitt (links im Bild) künftig als Laichstrecke für die Seeforelle wieder zur Verfügung.

Figure 3: Gadmerwasser en aval de la restitution d'eau à la centrale Innertkirchen 1. Ce tronçon (à gauche) sera à nouveau disponible à l'avenir comme chemin de frai pour la truite d'eau douce grâce au nouvel emplacement futur de la restitution d'eau (à travers la Gadmerwasser) et une nouvelle augmentation du débit résiduel.

Massnahme	Restwasser	Dynamik	Ökomorphologie	Auen	Habitat	Landschaft
Auen- und Flussrevitalisierungen						
• Fuhren-Süd (Bild 4)	0	++	++	++	++	+
• Wendentalp						
• Brunnenquellen						
Verzicht auf künftige Nutzung des Treichigrabens*	++	++	0	0	+	+
Verbesserung der Durchgängigkeit Giessenbach	0	0	0	0	+	0

Tabelle 3b: Gewässerökologische Wirkung der Aufwertungsmassnahmen im Rahmen des Ausbauprojekts «Grimsel 3».

++ = grosse Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,

+ = mittlere Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,

0 = keine Veränderung von heutigem Zustand.

* = bei dieser Massnahme wird die Veränderung ausgehend vom Zustand «künftige Nutzung mit entsprechender Restwasserabgabe des Treichigrabens» mit dem heutigem Zustand «keine Nutzung des Treichigrabens» verglichen.

Tableau 3b: Impact écologique des eaux des mesures de revalorisation dans le cadre du projet d'expansion «Grimsel 3».



Bild 4: Ansicht auf den unteren Abschnitt der künftigen Flussrevitalisierung Fuhren-Süd. Das Hochwasser vom 10.10.2011 hat bereits «erste ökologische Arbeiten» in diesem Abschnitt vorweggenommen.

Figure 4: Vue sur la partie inférieure de la future revitalisation du cours d'eau à Fuhren sud. La crue du 10.10.2011 a déjà anticipé le «premier travail écologique» dans ce tronçon.

• **Aufgabe der Fassungen Moosbach und Moosbachquellen.** Mit dieser Massnahme wird die natürliche Abflussdynamik in diesem Gewässer wieder hergestellt. Ausserdem verbessert sich damit auch unterhalb der Mündung des Moosbachs die gewässerökologische Situation im Engstlenbach (Hauptfluss des Gentals).

• **Verzicht auf eine künftige Nutzung des Diechterbachs.** Dieser Nutzungsverzicht garantiert, dass sowohl die landschaftliche Wirkung als auch die gewässerökologisch natürliche Situation des grössten Zuflusses in den Gelmersee ungeschmälert erhalten bleiben.

• **Sanierung der künstlichen Schwelle an der Schwarzbrunnbrigg.** Dadurch wird der durchgehende Lebensraum der Bachforelle im Oberlauf der Aare deutlich vergrössert. Da die Aare in diesem Gebiet fast unverbaut ist, weist sie hier ein sehr hohes fischökologisches Potential auf. Die Restwasserabgabe an der Fassung Handeck ergänzt diese Massnahme.

• **Finanzielle Beteiligung an der Aufwertung der Aue Sytenwald.** Diese Aue von nationaler Bedeutung befindet sich im Aareboden zwischen Meiringen und Brienz und wird vom Hüsenbach (wichtigster Zufluss in die Schwallstrecke der Aare) durchflossen. Mit einem vollkommen neuen Verlauf und einer Verlängerung des Hüsenbachs um über 1 km werden die dynamischen Prozesse in diesem Gewässer und in der Aue selbst gefördert. Aufgrund seiner grossen Bedeutung als Seitengewässer der Aare wird mit dieser Revitalisierung eine grosse ökologische Aufwertung, insbesondere für Seeforellen, Groppen und Bachforellen, erwartet. Zusätzlich werden bei der Planung die Lebensraumsprüche von Eisvogel, Amphibien und Reptilien berücksichtigt.

Im Rahmen des Ausbauprojekts «Grimsel 3» sind folgende gewässerökologische Aufwertungsmassnahmen vorgesehen:

• **Auen- und Flussrevitalisierung «Fuhren-Süd».** Die Massnahme befindet sich im Gadmertal etwa 400 m unterhalb der Fassung Fuhren (Bild 4). Auf einem rund 300 m langen Abschnitt finden künftig wieder dynamische Prozesse statt, die den Geschiebehaushalt im Gadmerwasser weiter verbessern (vgl. Kap. 2.1 Geschiebedotierung Gadmerwasser), die laterale Vernetzung mit dem Umland und das Angebot an Lebensräumen im und am Gewässer fördern sowie das Gebiet im Raum Fuhren landschaftlich deutlich aufwerten. Diese Massnahme steht in Zusammenhang mit der Erhöhung der Restwassermengen im Rahmen der Restwassersanierung

und dem Fischlift an der Fassung Fuhren (vgl. Kap. 2.1).

- **Aufwertung Schwemmebene Wendenalp.** Diese Schwemmebene liegt im oberen Gadmertal. Aufgrund seitlicher Dämme ist die Dynamik im oberen Drittel dieser Aue stark eingeschränkt. Neben der Dynamisierung des oberen Bereichs ist im unteren Abschnitt zusätzlich eine Erweiterung des Auenperimeters zur Förderung der lateralen Vernetzung vorgesehen.
- **Finanzielle Beteiligung an der Renaturierung Brunnenquellen.** Heute ist der Ausfluss der Brunnenquellen in den Brienzersee eingedolt und verläuft unterirdisch. Auf einer Länge von rund 70 m wird dieses Gewässer wieder freigelegt und sein Verlauf natürlich gestaltet. Dadurch werden Laichplätze für Seeforellen geschaffen, Lebensräume für aquatische Pflanzen und Tiere wiederhergestellt, die Längsvernetzung mit dem Naturschutzgebiet «Brunnen» verbessert und der Uferbereich am Brienzersee landschaftlich aufgewertet.
- **Nutzungsverzicht Treichigraben.** Der Verzicht auf eine künftige Nutzung des Treichigrabens im oberen Gadmertal garantiert, dass sowohl die ökologische Situation im Gewässer selbst als auch die Abfluss- und Geschiebedynamik im Wendenwasser, im Oberlauf des Gadmerwassers und in der Aue Obermad (vgl. Kap. 2.3) ungeschmälert erhalten bleibt.
- **Längsvernetzung Giessenbach.** Der Giessenbach fliesst in Guttannen über eine künstliche Schwelle in die Aare. Mit der Sanierung dieser Schwelle können die Bachforellen den Giessenbach wieder als Lebensraum und bei Hochwasser als Rückzugsraum nutzen.

2.3 Gewässerökologische Massnahmen im Rahmen der «Vergrösserung des Grimselsees»

Aufgrund einer offenen Frage zum Moorschutz wurde bereits zu Beginn des Begleitgruppenprozesses das Ausbauprojekt «Vergrösserung Grimsensee» aus den Verhandlungen ausgeklammert (Kap. 1). Deshalb wurden der Umfang

und die Auswahl der gewässerökologischen Ausgleichsmassnahmen ausschliesslich mit den kantonalen Fachstellen besprochen. Die ökologischen Wirkungen dieser Massnahmen sind in Tabelle 4 dargestellt.

Im Einzelnen handelt es sich bei den Massnahmen im Rahmen dieses Ausbauprojekts um:

- **Auen- und Flussrevitalisierung «Obermad»** (Bild 5a–5c). Diese Massnahme befindet sich im oberen Gadmertal beim Zusammenfluss von Wenden- und Steinwasser. Auf einer Fläche von rund 12 ha finden künftig wieder dynamische Prozesse statt (Entfernung bestehender Dämme), die eine grossflächige Entwicklung einer natürlichen Aue ermöglichen, die Diversität an Lebensräumen im und am Gewässer in grossem Mass fördern, einen positiven Einfluss auf die longitudinale und die laterale Vernetzung haben sowie das Gebiet im Raum Obermad landschaftlich sehr stark aufwerten (Service Conseil Zones Alluviales 2010). Mit den verschiedenen ökologischen Verbesserungen wird angestrebt, dass die Aue Obermad künftig in das Inventar «Auen von nationaler Bedeutung» (Thielen et al. 2002, Paccaud et al. 2009) aufgenommen werden kann. Diese Massnahme steht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Erhöhung der Restwasserabgaben an den Fassungen Wenden, Stein (s.u.) und Fuhren (im Rahmen der Restwassersanierung), dem künftigen Nutzungsverzicht des Treichigrabens (Kap. 2.2), der Aufwertung der Schwemmebene Wendenalp (Kap. 2.2), den Revitalisierungen des Schwarzbrunnengrabens (s.u.) und der Aue Fuhren-Süd (Kap. 2.2, Bild 4), der Sanierung von künstlichen Schwellen im Steinwasser (s.u.), der ökologischen Geschiebedotierung (Kap. 2.1), dem Fischlift an der Fassung Fuhren (Kap. 2.1) und der Reservemassnahme Fuhren-Nord (Kap. 2.5).
- **Renaturierung Schwarzbrunnengraben.** Der Unterlauf des Schwarzbrunnengrabens ist heute eingedolt und für Fische durch eine künstliche Schwelle vom Steinwasser abge-

trennt. Mit der Revitalisierung dieses Fischgewässers wird die Verbauung aufgehoben, die Habitatvielfalt stark erhöht und der bestehende Wald wieder an das Gewässer angeschlossen.

- **Auenrevitalisierung Hopflauen.** Im Gebiet Hopflauen ist der bestehende Eschenwald durch einen Damm vom Gadmerwasser getrennt und wird nur bei aussergewöhnlichen Hochwasserereignissen (alle 5–10 Jahre) überflutet. Mit dem Entfernen des Damms und der Reaktivierung eines Altarms wird der bestehende Auenwald wieder an das Gewässer angeschlossen und so eine natürliche Dynamik im gesamten Gewässerraum sichergestellt. Dadurch bilden sich die verschiedenen Zonen einer natürlichen Aue wieder aus und die laterale Vernetzung mit dem Gewässer ist wieder naturnah. Diese Auenaufwertung ist auf die Restwasserabgabe an der Fassung Fuhren und auf den Verzicht der künftigen Nutzung des Tobigerbachs (Kap. 2.1) abgestimmt.
- **Flussrevitalisierung Aare Meiringen.** Unterhalb der Aareschlucht bildet die Aare in ihrem Lauf alternierende Kiesbänke aus. Der in diesem Abschnitt durch Schwall/Sunk geprägte Fluss ist von seinem Umland durch Dämme und Verbauungen abgetrennt. Die KWO beteiligt sich im Rahmen des «Hochwasserschutzprojekts Aare Meiringen bis Brienzersee» an einer geplanten Aufwertung in diesem Abschnitt. Die positiven Auswirkungen des geplanten Beruhigungsbeckens (Kap. 2.2) können bei der Planung dieser Massnahme mitberücksichtigt werden.
- **Erhöhung der Dotierwassermenge an den Fassungen Wenden und Stein.** Die Erhöhung der Restwasserabgaben an den Fassungen Wenden und Stein führen zu einer starken Aufwertung der Aue Obermad und des oberen Gadmerwassers. Insbesondere werden ausreichende Wassermengen für eine hohe aquatische Habitatvielfalt gewährleistet. Da die Fassungen bei Hochwasser geöffnet werden, unterliegen die Restwasserstrecken bereits heute einer natürlichen Dynamik.

Massnahme	Restwasser	Dynamik	Ökomorphologie	Auen	Habitats	Landschaft
Auen- und Flussrevitalisierungen						
<ul style="list-style-type: none"> • Obermad • Schwarzbrunnengraben • Hopflauen • Aare Meiringen 	0	++	++	++	++	++
Erhöhung der Restwasserabgabe an den Fassungen Wenden und Stein	++	0	0	0	+	+
Nutzungsverzicht Sekundärfassung Mattentalp	++	++	0	0	0	+
Sanierung der künstlichen Schwellen im Steinwasser	0	0	0	0	+	0
Dotierung Fassung Trübtenbach	+	0	0	0	+	+

Tabelle 4: Gewässerökologische Wirkung der Aufwertungsmassnahmen im Rahmen des Ausbauprojekts «Vergrösserung Grimselsee».

++ = grosse Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,
 + = mittlere Verbesserung gegenüber heutigem Zustand,
 0 = keine Veränderung von heutigem Zustand.

Tableau 4: Impact écologique des eaux des mesures de revalorisation dans le cadre du projet d'expansion «élargissement du Grimselsee».

• **Aufgabe der Sekundärfassung Mattentalp.** Unterhalb des Mattentalpsees fasst die «Sekundärfassung Mattentalp» sowohl Sickerwasser aus dem Speichersee als auch aus dem Zwischeneinzugsgebiet zufließendes Wasser. Mit dem Nutzungsverzicht auf diese Fassung wird der Oberlauf des Urbachwassers hinsichtlich Restwassermenge, Abflussdynamik und Lebensraum für Wirbellose deutlich aufgewertet.

• **Sanierung der künstlichen Schwellen im Steinwasser.** Mit der Sanierung der künstlichen Schwellen im Unterlauf des Steinwassers wird der durchgehende Lebensraum der Bachforelle im Oberlauf des Gadmerwassers, des unteren Wendenwassers und des unteren Steinwassers deutlich vergrössert. Mit der Restwasserabgabe an der Fassung Stein (s.o.) wird die Wirksamkeit dieser Massnahme sichergestellt.



Bilder 5a bis 5c: Illustration von dynamischen Prozessen in der Aue Obermad mit Fotos vor (Bild 5a; 05.06.2009), während (Bild 5b; 18.06.2009) und nach einem Hochwasser (Bild 5c; 25.06.2009). Mit der Auen- und Flussrevitalisierung Obermad werden diese dynamischen Prozesse grossflächig in dieser künftigen Auenlandschaft angestrebt.

Figures 5a à 5c: Illustration des processus dynamiques dans la plaine alluviale Obermad avec photo avant (fig. 5a; 05.06.2009), pendant (fig. 5b, 18.06.2009) et après la crue (fig. 5c; 25.06.2009). Avec la revitalisation de la zone et du cours d'eau, ces vastes processus dynamiques seront recherchés dans ce paysage alluvial futur.

• **Dotierung Trübtenbach.** Die Dotierung Trübtenbach hat vor allem eine landschaftliche Aufwertung des Gebiets zwischen Trübtenbach und Grimselsee zur Folge. Zusätzlich sollen die Feuchtgebiete in dieser Region von der Restwasserabgabe profitieren.

2.4 Gesamtüberblick, Massnahmenswerpunkte und Synergien

Die in den Kap. 2.1 bis 2.3 beschriebenen Massnahmen bauen grundsätzlich in folgender Art aufeinander auf:

- (1) Die Massnahmen der Restwasser-sanierung fokussieren hauptsächlich auf die Restwasserproblematik im gesamten Einzugsgebiet der KWO und beheben die bestehenden Defizite grösstenteils.
- (2) Im Rahmen der KWO plus Projekte werden vorwiegend Massnahmen umgesetzt, die die aquatischen Lebensräume, die Vernetzungen der Gewässer, die ökologische Dynamik und die Auenlebensräume effizient verbessern sowie das Landschaftsbild deutlich aufwerten. In den Bereichen, wo aufgrund einer künftigen Vergrösserung des Flussraums höhere Restwassermengen angezeigt sind, werden die Dotierungen an den jeweiligen Fassungen angepasst.

Mit diesem Ansatz können einerseits die durch die Wasserkraft verursachten grossen gewässerökologischen Defizite behoben und andererseits die Artenvielfalt

im Oberhasli optimal gefördert werden. Dieser «ökologische» Ansatz war möglich, da im Begleitgruppenprozess die gewässerökologischen Massnahmen für die Restwassersanierung und die KWO plus Ausbauprojekte synchron entwickelt und so gut auf einander abgestimmt wurden.

Im Bild 6 wird die gewässerökologische Verbesserung ausgehend vom heutigen Zustand (ohne Umsetzung von gewässerökologischen Massnahmen) für den künftigen Zustand (nach Realisierung der gewässerökologischen Massnahmen im Rahmen der Restwassersanierung und der drei KWO plus Projekte) illustriert. Die Beurteilung der gewässerökologischen Aufwertung basiert dabei auf der gemeinsam mit den kantonalen Fachstellen und den Umweltschutzorganisationen entwickelten Bewertungsmethode (Kap. 2, Schweizer et al. 2012b). Die in den Kapiteln 2.1 bis 2.3 beschriebenen Massnahmen verteilen sich grösstenteils auf fünf geographische Schwerpunkte (Bild 6):

(1) Im **oberen Gadmertal** führen die Erhöhungen von Restwasserabgaben, Verzicht auf künftige Nutzungen, Auen- und Flussrevitalisierungen, die Geschiebedotierung sowie Massnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit im Raum zwischen Fuhren und Obermad zu sehr grossen ökologischen Aufwertungen. Insgesamt werden damit rund 2 km lange Gewässerabschnitte in einem hohen Mass aufgewertet, da diese künftig permanent durchflutet werden. Zusätzlich werden mehrere Kilometer an Fließgewässern wieder miteinander vernetzt und 12 ha Raum für eine freie Entfaltung von natürlichen Auenprozessen zur Verfügung gestellt. Davon werden insbesondere Bachforellen, Wirbellose und alle Organismen, die vom Lebensraum Flussaue abhängen, profitieren. Ausserdem wird das Geschiebedefizit im Gadmertal behoben.

(2) Beim Massnahmenswerpunkt im **unteren Gadmertal** werden eine Erhöhung der Restwasserabgabe,

ein Verzicht auf eine künftige Nutzung, eine Auenrevitalisierung sowie eine Verbesserung der Fischdurchgängigkeit (im Rahmen des Beruhigungsbeckens, vgl. Kap. 2.2) umgesetzt. Diese Massnahmen zielen vor allem auf eine Förderung der Seeforellen und erhöhen die Artenvielfalt in der Aue Hopflauenen.

(3) Der Rückbau der Fassungen Moosbach und Mossbachquellen, die Erhöhung der Dotierung Engstlenbach sowie die Reaktivierung des Ausflusses des Engstlensees führen zu einer landschaftlichen und gewässerökologischen Aufwertung des **oberen Gentials**. Neben Erholungssuchenden werden vor allem auch die dort ansässigen Bachforellen und die Wirbellosenfauna von diesen Aufwertungen profitieren.

(4) Die Fluss- und Auenrevitalisierungen im **Aareboden** werten die Aare und ihre Seitenflüsse hinsichtlich Ökomorphologie, Dynamik, Geschiebehauhalt, Vernetzung und Habitatvielfalt auf. Insbesondere können damit wertvolle Laichgebiete sowie Lebensräume für die juvenilen Seeforellen geschaffen werden. Unter Umständen können sich diese Massnahmen auch auf den Bestand der Äschen und Groppen positiv auswirken.

(5) Beim fünften Massnahmenswerpunkt werden die Restwassermengen in der Hasliaare und in ihren Zuflüssen Gruben- und Ärlenbach erhöht. Zusätzlich werden die Restwasserabgaben durch Massnahmen zur Verbesserung der Längs- und Quervernetzung in der Aare flankiert.

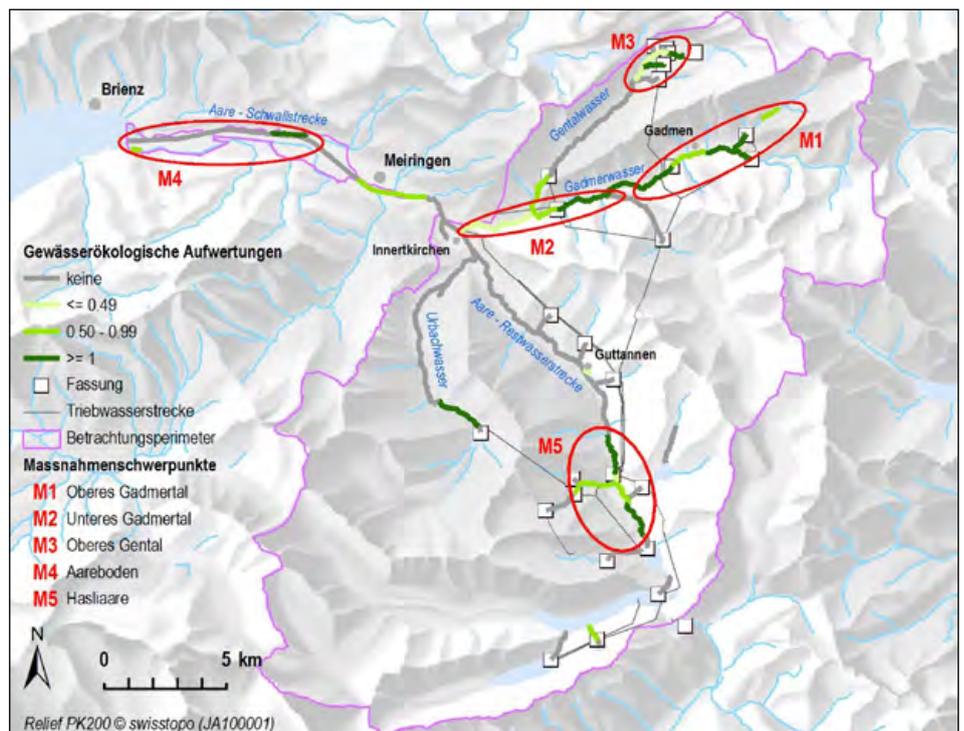


Bild 6: Darstellung der ökologischen Verbesserung im Rahmen der Restwassersanierung und der KWO plus Ausbauprojekte «Tandem», «Grimsel 3» und «Vergrösserung Grimselfsee». Ausgangspunkt ist der heutige Zustand ohne Umsetzung von gewässerökologischen Massnahmen. In allen grün dargestellten Abschnitten werden künftig ökologische Massnahmen erfolgen. Die verschiedenen Grüntöne geben dabei den Grad der Aufwertung an. Dies wird in einer Klassenverbesserung dargestellt analog der gemeinsam mit den Fachstellen und den Umweltschutzorganisationen entwickelten ökologischen Bewertungsmethode (Schweizer et al. 2012b).

Figure 6: Représentation de l'amélioration écologique dans le cadre de l'assainissement des débits résiduels et les projets de développement KWO «Tandem», «Grimsel 3» et «élargissement du Grimselfsee». Le point de départ est l'état actuel sans mises en oeuvre de mesures écologiques des eaux. Dans toutes les sections indiquées en vert, des mesures écologiques seront réalisées à l'avenir. Les différentes nuances de vert indiquent le degré de valorisation. Ceux-ci sont représentés conformément aux méthodes d'évaluation environnementales développées conjointement avec les instituts spécialisés et les organisations environnementales (Schweizer et al. 2012b).

2.5 Reservpool für weitere Massnahmen

Bei der Eingabe der Konzessionsunterlagen für die Ausbauprojekte von KWO plus war die Umsetzbarkeit einiger weniger der in Kap. 2.2 und 2.3 beschriebenen gewässerökologischen Massnahmen noch nicht abschliessend gesichert. Aus diesem Grund wurde im Begleitgruppenprozess vereinbart, weitere ökologische Aufwertungen in einem sog. Massnahmenpool zu erfassen und gleichzeitig mit den anderen Massnahmen weiter auszuarbeiten. Es handelt sich hierbei um mehrere Auen- und Flussrevitalisierungen im Gadmer-, Urbach- und Gental sowie im Aareboden zwischen Meiringen und Brienzensee und um Verbesserungsmassnahmen zur Längsvernetzung im Urbachtal. Die Bereitstellung eines entsprechenden Reserve- oder Massnahmenpools wird vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) sowohl bei Schutz- und Nutzungsplanungen als auch bei anderen Wiederherstellungen und Ersatzmassnahmen im Natur- und Landschaftsschutz empfohlen (Bolliger et al. 2009, Kägi et al. 2002).

2.6 Umsetzung der Massnahmen

Die Restwassersanierung für die von der KWO genutzten Gewässer wurde Ende 2010 vom Amt für Wasser und Abfall (AWA) verfügt. Sofern es zu keinen Verzögerungen aufgrund von Bewilligungsverfahren oder aufgrund aussergewöhnlich lang anhaltender Schlechtwetterbedingungen kommt (der technische Bau bei einigen Dotiervorrichtungen ist wegen der Zugänglichkeit und des Abflussregimes nur in einem engen Zeitfenster im Spätjahr möglich), werden die Massnahmen fristgerecht bis Ende 2012 umgesetzt. Zusätzlich wird die ökologische Wirkung mit einem detaillierten Monitoring (Dauer 10 Jahre) überprüft (Kap. 2.1, Schweizer & Zeh Weissmann 2011).

Der Planungsstand für die gewässerökologischen Aufwertungsmassnahmen im Rahmen der KWO plus-Ausbauprojekte ist bereits sehr weit fortgeschritten. Mit der Umsetzung dieser Massnahmen wird jeweils nach Erhalt der Baubewilligung für das entsprechende Projekt begonnen.

Massnahmetyp	Alle elf zw. 1994 u. 2009 genehmigten SNPs	Alle Massnahmen KWO plus und Restwassersanierung	Restwassersanierung	Tandem + Grimsel 3	Vergrösserung Grimselsee
Mehrdotierung als Art. 31ff Gewässerschutzgesetz	3	2	1	0	1
Nutzungsverzicht oder Fassungsauflage	5	5	1	3	1
Umgebungsgewässer	3	0	0	0	0
Fluss- und Auenrevitalisierungen	8	8	0	4	4
Landschaftliche Aufwertungen	2	1	1	0	0
Verbesserung Durchgängigkeit	6	4	1	2	1
Verbesserung des Geschiebehalt	0	1	1	0	0

Tabelle 5: Anzahl gewässerökologischer Massnahmen der elf zwischen 1994 und 2009 in der Schweiz durchgeführten Schutz- und Nutzungsplanungen (Bolliger et al. 2009) und der Aufwertungen im Rahmen der Restwassersanierung und der KWO plus-Ausbauprojekte.

Tableau 5: Nombre de mesures écologiques en faveur des eaux pour les onze plans de protection et d'affectation effectués en Suisse entre 1994-2009 (Bolliger et al. 2009) et les revalorisations dans le contexte de l'assainissement des débits résiduels et les projets de développement KWO plus.

Dies dürfte bei den Ausbauprojekten «Tandem» und «Grimsel 3» in absehbarer Zeit der Fall sein. Aufgrund von Einsprachen und drohenden Beschwerden ist beim Projekt «Vergrösserung Grimselsee» mit Verzögerungen zu rechnen.

2.7 Grössenordnung der ökologischen Aufwertungen

Bisher wurden in der Schweiz elf Schutz- und Nutzungsplanungen für die Bewilligung von Wasserentnahmen erstellt (Bolliger et al. 2009). Tabelle 5 stellt die Anzahl der gewässerökologischen Massnahmen, die im Oberhasli im Rahmen der Restwassersanierung und der KWO plus Projekte geplant sind (Spalte 3), der Summe der Massnahmen aus diesen elf Schutz- und Nutzungsplanungen (Spalte 2) gegenüber. Auch wenn die in Tabelle 5 aufgeführten Massnahmen und deren Anzahl nicht direkt miteinander vergleichbar sind, zeigt diese Gegenüberstellung trotzdem sehr deutlich auf, in welcher Grössenordnung sich die ökologischen Aufwertungen im Oberhasli bewegen.

3. Diskussion

3.1 Bezug zum revidierten Gewässerschutzgesetz

Die im vorliegenden Artikel beschriebenen Massnahmen gehen in die gleiche Richtung, wie dies der Gesetzgeber mit der Revision des Gewässerschutzgesetzes vorsieht.

An erster Stelle sind die vorgesehenen Fluss- und Auenrevitalisierungen zu nennen, welche die Lebensräume am und im Gewässer aufwerten, die Vernetzung mit dem Umland verbessern und die Landschaft im Oberhasli verschönern.

Aufgrund der hohen Geschiebeeinträge von seitlichen Zuflüssen und Gräben, ist der Geschiebehalt im Oberhasli grösstenteils natürlich. Mit der Geschiebedotierung des Gadmerwassers (im Rahmen der Restwassersanierung, vgl. Kap. 2.1) wird das einzig nennenswerte Geschiebedefizit im Einzugsbereich der KWO behoben.

Die steile Topographie bedingt sehr viele natürliche Abstürze. Deshalb sind die natürlichen Längsvernetzungen durch die bestehenden Wasserfassungen der KWO bis auf die Fassung Führen nicht wesentlich beeinträchtigt. Hier wird im

Rahmen der Restwassersanierung mit einem Fischlift die Längsvernetzung wieder hergestellt.

Bezüglich der künstlichen Pegelschwankungen (Schwall/Sunk) in der Hasliaare hat die KWO bereits die wichtigsten ökologischen Untersuchungen durchführen lassen (Schweizer et al. 2010). Darüber hinaus laufen noch weitere Abklärungen und Forschungsarbeiten. Die bisherigen Untersuchungen (z.B. Limnex 2009 und 2010, Haas & Peter 2009, Technische Universität München 2007, Herzog 2007) haben für die Schwallstrecke unterhalb der Wasserrückgabe in Innertkirchen einen bereits heute ökologisch akzeptablen Zustand bezüglich folgender Aspekte ergeben:

- Die Sohle bleibt bei Schwall stabil,
- aufgrund der Morphologie findet so gut wie kein Stranden von Fischen statt (bisher ist nur ein Fall bekannt),
- die Schwallstrecke ist für die Seeforelle beim Aufstieg zu ihren Laichplätzen passierbar,
- die natürliche Verlaichung der Seeforelle in der Schwallstrecke wird vermutet,
- die Artenvielfalt der Fischfauna ist für diese Gewässer natürlich und
- die Artenvielfalt der aquatischen Insekten ist trotz Schwall/Sunk und seitlicher Beschränkungen und Verbauungen überraschenderweise hoch.

Erwartungsgemäss konnten auch deutliche ökologische Defizite nachgewiesen werden:

- Die Abundanz und die Biomassen der Fischfauna und der aquatischen Insekten sind deutlich reduziert,
- bei Schwall kommt es zu einer signifikanten Verdriftung der Benthosgemeinschaft (aquatische Insekten) und
- kurzfristige Änderungen in der Wassertemperatur und -trübung treten regelmässig auf.

Welchen Anteil der Schwallbetrieb und welchen Anteil der grösstenteils kanalisiertes Gewässerlauf an diesen ökologischen Defiziten haben, wird aktuell detaillierter untersucht.

Mit dem Bau des Beruhigungsbeckens (Kap. 2.2) wird vor allem hinsichtlich der Verdriftung von aquatischen Insekten infolge von Schwall eine deutliche Verbesserung erzielt. Ob der Betrieb des Beruhigungsbeckens künftig die ökologischen Beeinträchtigungen in dem Mass beseitigen kann, wie dies vom Gesetz vorgeschrieben wird, kann aus heutiger Sicht noch nicht abschliessend beurteilt werden.

3.2 Entwicklung des Gesamtkonzepts

Insgesamt sind für eine Verbesserung der gewässerökologischen Situation neben der Anzahl an Aufwertungen vor allem das Abstimmen der einzelnen Massnahmen aufeinander und deren Qualität entscheidend. Bei der Entwicklung des Gesamtkonzepts wurde dies berücksichtigt. Dabei gaben die zahlreichen gewässerökologischen Untersuchungen im Oberhasli (Schweizer et al. 2010) wichtige Hinweise auf qualitativ hochstehende Aufwertungsmassnahmen. Da ein Grossteil der Arbeiten von der Abteilung Gewässerökologie (KWO) durchgeführt und begleitet wurde, konnte zusätzlich auf die lokalen Besonderheiten optimal eingegangen und so möglichst viele Synergien ausgearbeitet werden. Gleichzeitig wurden bei der Entwicklung des Gesamtkonzepts aber auch die betrieblichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt und das Konzept mit Vertretern von kantonalen Ämtern, Umweltschutzorganisationen und externen Experten (z.B. SigmaPlan AG) regelmässig besprochen. Daraus resultierte ein breit abgestütztes und insgesamt gut durchdachtes Gesamtkonzept, das mit einem vertretbaren Aufwand (Kosten und Energieverluste) eine ganzheitliche und sinnvolle Aufwertung der gewässerökologischen Situation im Oberhasli zur Folge hat.

Zudem liefern die KWO plus-Projekte auch einen wichtigen Beitrag für den von der Gesellschaft geplanten Wechsel zu regenerativen Energiequellen, indem sie die Netzstabilität («Tandem») und die Speicherkapazität an überschüssigem Strom («Grimsel 3» und «Vergrösserung Grimselsee») markant erhöhen.

Die Reduktion der Reibungsverluste in den Stollen im Aaretal («Tandem») bewirkt eine deutliche Erhöhung der Energieausbeute. Trotz künftig höherer Restwasserabgaben kann so mit der gleichen Menge an genutztem Wasser insgesamt deutlich mehr Strom erzeugt werden als heute. Aus ökologischer Sicht profitiert die Gesellschaft damit doppelt: Klima- und Gewässerschutz gehen Hand in Hand.

4. Danksagung

Ein grosser Dank gebührt Dr. L. Vetterli (Pro Natura), Dr. M. Meyer (BKfV), U. Eichenberger (Grimselverein), H. Zybach, K. Zumbrunn (beide Fischereiverein Oberhasli), W. Brog (Gemeinde Innertkirchen), H. Habegger (Amt für Wasser und Abfall), Dr. M. Graf (Abteilung für Naturförderung), Dr. M. Zeh (Gewässer- und Bodenschutzlabor), W. Müller (Fischereiinspektorat), N. Hählen (Tiefbauamt), F. Weber (Amt für Gemeinden und Raumordnung), I. Schmidli (vorher Amt für Wasser und Abfall, jetzt Bundesamt für Umwelt) und B. Opeliger (Amt für Wasser und Abfall) für die fachlichen Diskussionen und die damit verbundenen Qualitätssteigerungen bei den ökologischen Aufwertungen. Für die wertvollen Anmerkungen und für das kritische Durchlesen möchten sich die Autoren zudem bei M. Kummer (Bundesamt für Umwelt), A. Keiser (SigmaPlan), K. Jucker (SigmaPlan), C. Mathez (BWU), S. Jenni (Advokatur Jost Stämpfli Messerli Streit Jaun) sowie Dr. H.P. Tscholl, D. Fischlin, R. Borrmann und S. Schläppi (alle KWO) sowie für die Kartenerstellung bei A. Bertiller (SigmaPlan) in aller Form bedanken.

5. Literatur

Bolliger R., Zysset A., Winiker M. (2009): Schutz- und Nutzungsplanung nach Gewässerschutzgesetz. Erfahrungen, Beurteilungskriterien und Erfolgsfaktoren. Umwelt-Wissen Nr. 0931. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.

B+S (2009): Dotierversuche im Einzugsgebiet der KWO. Ermittlung und Beurteilung der landschaftsästhetischen Auswirkungen. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Bayer R).

BWU Mathez (2009): Abflussüberwachung bei verschiedenen KWO-Fassungen im Winterhalbjahr 2008/2009. Bericht im Auftrag der KWO (Autorin Mathez C.).

BWU Mathez (2010): Abflussüberwachung bei verschiedenen KWO-Fassungen im Winterhalbjahr 2009/2010. Bericht im Auftrag der KWO (Autorin Mathez C.).

Emch + Berger (1997): Grimsel-West – UVP 1. Stufe - Projektoptimierung. «Dotierversuche 1994». Bericht im Auftrag der KWO.

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

Herzog (2007): Umweltverträglichkeitsbericht Aufwertung KW Innertkirchen 1, 2. Etappe. Fachbereich Hydraulik der Oberflächengewässer. Bericht im Auftrag der KWO.

Kägi B.; Stalder A., Thommen M. (2002): Wiederherstellung und Ersatz im Natur- und Landschaftsschutz. Hrsg. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Leitfaden Umwelt Nr. 11, Bern.

Limnex (2008): Restwasserführung in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchungen von Hasliaare und Weisser Lütschine. Beurteilung einer zukünftigen Dotierung. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Limnex (2009): Schwall/Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchung von Hasliaare und Lütschine. Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und Szenarien. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Limnex (2010): Schwall/Sunk in der Hasliaare – Anhang. Resultate von zusätzlichen Feldaufnahmen und Auswertungen sowie Zusammenstellung von Rohdaten als Ergänzung zum Bericht von Limnex (2009). Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Paccaud G., Bonnard L., Gsteiger P. und Roulier C. (2009): Inclusion des Zones Alluviales Reconstituées dans l'inventaire fédéral – Einschliessung der neu entstandenen Auen im Bundesinventar – Rapport (Bericht der Auenberatungsstelle). Yverdon-les-Bains.

Service Conseil Zones Alluviales (2010): Aue Obermad. Managementkonzept. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Roulier C. und Paccaud G.).

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., Meyer M., Heuberger N., Brechbühl S. und Ursin M. (2010): Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli. Wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWO plus. «Wasser Energie Luft» 2010 (4): 289–300.

Schweizer S. & Zeh Weissmann H. (2011): Restwassersanierung der genutzten Gewässer im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2011 (1): 25–30.

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

Schweizer S., Zeh Weissmann H., Wagner T. und Brechbühl S. (2012b): Ökologische Bilanzierungsmethode für die Schutz- und Nutzungsplanung im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2012 (1): 18–29

SigmaPlan (2010a): Dotierversuche KWO 2008. Dokumentation und Ergebnisse. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Wagner T. & Zeh Weissmann H.).

SigmaPlan (2010b): Dotierversuche KWO 2008. Fotodokumentation. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Dolder M., Wagner T. & Zeh Weissmann H.).

SigmaPlan (2010c): Gewässerökologische Massnahmen im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus und der

Restwassersanierung nach Art. 80 ff. GSchG. (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

SigmaPlan (2010d): Kraftwerke Oberhasli. Restwasserbericht mit Schutz- und Nutzungsplanung Vergrösserung Grimselsee. Mit einer Gesamtübersicht über sämtliche im Rahmen der Restwassersanierung nach Art. 80 GSchG sowie des Investitionsprogramms KWO plus vorgesehenen gewässerökologischen Massnahmen und einer gewässerökologischen Gesamtbilanz im Anhang. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

SigmaPlan (2011): KWO plus «Aufwertung Kraftwerke Handeck 2 und Innertkirchen 1» (Tandem). Gewässerökologische Massnahmen. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Zeh Weissmann H. & Keiser A.).

Thielen R., Tognola M., Roulier C. und Teuscher F. (2002): 2. Ergänzung des Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt Nr. 341. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Technische Universität München (2007): Beruhigungsbecken Innertkirchen. Versuchsbericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Oberrach im Auftrag der KWO (Autoren Hartlieb A., Sperer A. und Rutschmann P.).

Kontaktadresse:

Steffen Schweizer
Dr. sc. ETHZ
Umweltnaturwissenschaften
Leiter Fachstelle Ökologie KWO
Kraftwerke Oberhasli AG
Grimselstrasse 19
CH-3862 Innertkirchen
Tel.: +41 33 982 20 11
Fax: +41 33 982 20 05
E-Mail: sste@kwo.ch
Internet: www.grimselstrom.ch

Der Begleitgruppenprozess zu den Ausbauprojekten und zur Restwassersanierung im Oberhasli

Steffen Schweizer, Heiko Zeh Weissmann, Max Ursin

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 104. Jahrgang, 2012, Heft 1, CH-5401 Baden

Zusammenfassung

In einem für die Schweiz aussergewöhnlichen partizipativen Prozess finden Vertreter von kantonalen Ämtern, Umweltschutzverbänden, der Politik, der Region und der KWO (Kraftwerke Oberhasli AG) unter Moderation des AWA (Amt für Wasser und Abfall, Kt. Bern) eine einvernehmliche Lösung zu zwei Ausbauprojekten von KWO plus und zur Restwassersanierung.

Keywords

KWO plus, Restwassersanierung, Begleitgruppenprozess

Processus participatif pour les projets de développement et pour l'assainissement des débits résiduels à Oberhasli

Résumé

Au cours d'un processus participatif exceptionnel en Suisse, des représentants des autorités cantonales, des associations de protection de l'environnement, de la politique, de la région et de KWO (Kraftwerke Oberhasli AG), orchestré par AWA (office cantonal pour les eaux et les déchets du canton de Berne), une solution consensuelle a pu être trouvée pour deux projets de développement de KWO plus et pour l'assainissement des débits résiduels.

Mots-clés

KWO plus, assainissement des débits résiduels, processus participatif

Il processo del gruppo d'accompagnamento a riguardo del progetto d'ampliamento e risanamento dei deflussi residuali

Riassunto

In uno per la Svizzera eccezionale processo partecipativo gestito dall'AWA (n.d.t.: ufficio dell'acqua e dei rifiuti del Canton Berna), i rappresentanti di uffici cantonali, delle associazioni per la protezione dell'ambiente, della politica, della regione e delle KWO hanno trovato una soluzione di comune accordo per due progetti d'ampliamento di KWO plus e per il risanamento dei deflussi residuali.

Parole chiave

KWO plus, risanamento dei deflussi residuali, processo del gruppo d'accompagnamento

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 ef-

fectiveness 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 m³ (scenarios IIIa–IIIc). 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 und Vorgeschichte

Der Ausbau der Wasserkraft im Oberhasli ist seit vielen Jahren ein Thema. Ein erstes von der Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) im Jahr 1988 eingereichtes Projekt (Grimsel-West), das eine grosse Staumauer im Grimselsee mit einem Stauvolumen von 450 Mio. m³, neue Wasserfassungen und Kraftwerke umfasst hätte, stiess auf erheblichen Widerstand und wurde Ende der 1990er-Jahre deshalb von der KWO wieder zurückgezogen. In der Folge entwickelte die KWO ein neues Investitionsprogramm (KWO plus), das stattdessen mehrere kleinere Ausbauprojekte beinhaltet und mit deutlich weniger Eingriffen in die Natur verbunden ist. Hauptgegenstand dieses Investitionsprogramms bilden die voneinander unabhängigen Ausbauprojekte (Bild 1a und 1b):

- «Vergrösserung des Grimselsees» (Erhöhung der heutigen Speicherkapazität von 95 Mio. m³ auf 170 Mio. m³)

- **«Tandem»** (Aufwertung der Kraftwerkskette vom Räterichsbodensee bis Innertkirchen mit einer Erhöhung der Energieausbeute um insgesamt 70 GWh/a und einer Leistungssteigerung um 280 MW ohne Nutzung von zusätzlichem Wasser) und
 - **«Grimsel 3»** (Unterirdisches Pumpspeicherwerk zwischen Oberaarsee und Räterichsbodensee mit einer installierten Leistung von 660 MW).
- Jedes dieser drei Projekte liefert einen bedeutenden Beitrag für den von der Gesellschaft geplanten Wechsel zu re-

Ausbauprojekt	Erhöhung der erzeugten Energie mit gleicher Wassermenge	Ausbau der Leistung zur Erhöhung der Netzstabilität	Kurzfristige Speicherung von überschüssiger Energie	Langfristige Speicherung von überschüssiger Energie
Tandem	+	+		
Grimsel 3		+	+	
Vergrößerung Grimselsee	(+)			+

Tabelle 1: Beitrag der KWO plus-Projekte für den geplanten Energiewechsel.
 Anmerkung: Bei einer Erhöhung der Staumauern am Grimselsee ergeben sich im Mittel ein höherer Seespiegel und damit die Ausnutzung einer grösseren Fallhöhe. Dies würde zur Erzeugung von mehr Energie führen, ohne dabei mehr Wasser als heute zu nutzen.
 Tableau 1: Contribution des projets de KWO plus pour la transformation d'énergie prévue. Remarque: une élévation du barrage du Grimselsee engendre en moyenne un niveau du lac plus élevé et donc l'utilisation d'une hauteur de chute supérieure. Cela se traduirait par la production de plus d'énergie sans utiliser plus d'eau qu'aujourd'hui.

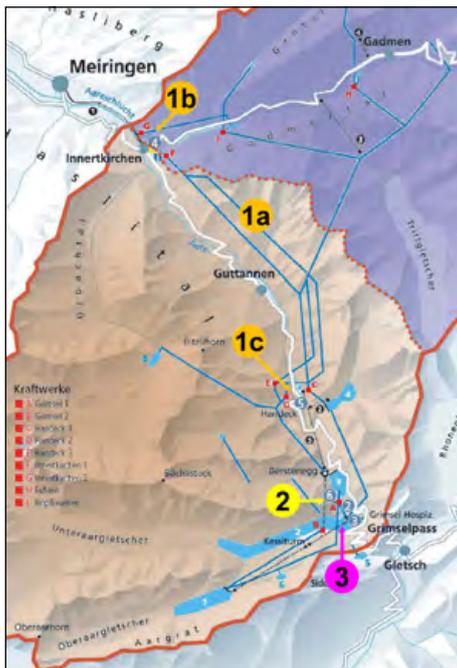


Bild 1a: Das Einzugsgebiet der KWO und die Ausbautvorhaben KWO plus: 1a = Tandem mit Parallelschacht zur Minderung der Reibung, 1b = Tandem mit Aufwertung Kraftwerk Innertkirchen 1, 1c = Tandem mit Aufwertung Kraftwerk Handeck 2, 2 = Neubau Pumpspeicherwerk Grimsel 3, 3 = Vergrößerung Grimselsee. Zusätzlich sind noch die hydrologischen Einzugsgebiete des Aaretals (Grimsel) in Orange und des Gadmertals (Susten) in Lila eingezeichnet.
 Figure 1a: Le bassin versant de KWO et projets d'expansion KWO plus: 1a = Tandem avec puit parallèle pour réduire la friction, 1b = Tandem avec revalorisation de la centrale Innertkirchen 1, 1c = Tandem avec revalorisation de la centrale Handeck 2, 2 = Nouvel aménagement hydraulique à accumulation par pompage Grimsel 3, 3 = Elargissement du Grimselsee. En outre, les bassins versants hydrologiques de la vallée de l'Aar (Grimsel) et de la Gadmertal (Susten) sont dessinées respectivement en orange et en violet.

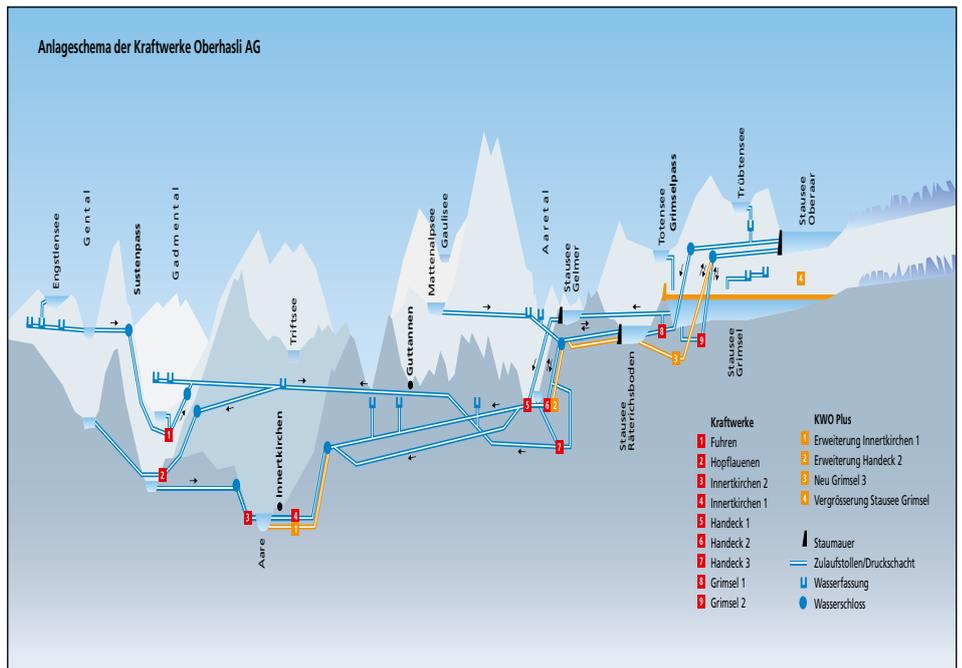


Bild 1b: Die Ausbautvorhaben KWO plus im Querschnitt.
 Figure 1b: Profil transversal des projets d'expansion KWO plus.

duktion von regenerativer Energie auch die Stabilisierung des Stromnetzes sowie eine kurz- und langfristige Speicherung von zeitweise überschüssigem Strom benötigt.

Zu diesen KWO plus-Projekten führten Vertreter der KWO mit verschiedenen Umweltschutzverbänden die sog. «Grimselgespräche», die Mitte des letzten Jahrzehnts ohne Einigung abgebrochen wurden. Im Jahr 2006 gab die KWO das Projekt zur Vergrößerung des Grimselsees in Form eines Bauge-suchs ein. Nach Einsprache der Umweltschutzverbände wurde im Frühling 2009 das Urteil des Verwaltungsgerichts vom Bundesgericht bestätigt: Eine Vergrößerung des Grimselsees könne nur in einem Konzessionsverfahren ab-

gewickelt werden. Der weitere Ausbau der Wasserkraft im Oberhasli schien einmal mehr in die Ferne gerückt und die Fronten noch etwas härter als zuvor.

Sowohl der Kanton als auch die KWO sahen aber weiterhin die grosse gesellschaftliche Bedeutung des Ausbaus der Wasserkraft im Oberhasli. Deshalb wurde im Sommer 2009 unter der Leitung des Kantons ein neuer Anlauf genommen, um mit einem sehr breit abgestützten Begleitgruppenprozess eine einvernehmliche Lösung zu finden.

2. Begleitgruppenprozesses KWO plus

Insgesamt haben sich über 100 Personen aus kantonalen Fachstellen, Bundesämtern, Forschungseinrichtungen,

generativen Energiequellen (Tabelle 1). Um in Zukunft den Strombedarf vermehrt aus erneuerbaren Quellen beziehen zu können, wird neben einer höheren Pro-



Bild 2: Diskussionen der am Begleitgruppenprozess beteiligten Fachleute vor Ort.
Figure 2: Discussions entre les spécialistes des groupes d'accompagnement impliqués.

Umweltbüros, Umweltschutzverbänden sowie aus Politik und Verwaltung an der Konsensfindung beteiligt (Bild 2 und Kap. 5). Für vergleichbare Ausbauprojekte ist diese Grössenordnung der Partizipation einmalig.

2.1 Organisation

Es wurde auf drei Ebenen nach sinnvollen Kompromissen und einem gangbaren Weg gesucht (Bild 3):

- Die **politische Begleitgruppe** mit Vertretern aller interessierten Umweltschutzverbände, der Gemeinden, der politischen Parteien und der KWO hat unter der Moderation der Regierungsrätin Barbara Egger-Jenzer den Begleitgruppenprozess geleitet und konkrete Aufträge an den Ausschuss und an die Fachgruppe erteilt.
- Im **Ausschuss** der politischen Begleitgruppe verhandelten die Vertreter des BKFV (Bernisch Kantonaler Fischerei-Verband), der Pro Natura, des Grimselvereins, der Gemeinde Innerkirchen und der KWO unter der Moderation des Amtsvorstehers vom AWA (Amt für Wasser und Abfall) Heinz Habegger über Umfang, Auswahl und Zuordnung der gewässerökologischen Massnahmen zu den Ausbauprojekten.

- In der **Fachgruppe** haben sich die Vertreter der kantonalen Ämter (Amt für Wasser und Abfall, Fischereiinspektorat, Abteilung für Naturförderung, Gewässer- und Bodenschutzlabor, Tiefbauamt und Amt für Gemeinden und Raumordnung) und der KWO rund zehn Mal getroffen, um über folgende fachliche und methodische Fragen zu diskutieren:
 - ökologische Bewertung von Restwasserabgaben und weiteren Aufwertungsmassnahmen,
 - Priorisierung und Optimierung von gewässerökologischen Massnahmen,
 - juristische Abklärungen.

Die Moderation der Fachgruppe wurde von der KWO übernommen, das Umweltbüro Sigmoplan hat die Arbeiten fachlich unterstützt und das Sekretariat geführt. Beim Erreichen von Meilensteinen wurden sowohl das BAFU (Bundesamt für Umwelt) als auch die ENHK (Eidgenössische Natur- und Heimatkommission) informiert.

2.2 Verhandlungsrahmen

Bereits zu Beginn des Begleitgruppenprozesses wurde festgelegt, dass nur über die beiden Ausbauprojekte «Tandem» und «Grimsel 3» verhandelt würde. Die Vergrösserung des Grimselsees wurde bei den hier beschriebenen Verhandlungen ausgeklammert, da dieses Ausbauprojekt für die Umweltschutzverbände aufgrund der offenen Moorschutzfrage nicht konsensfähig ist. Allerdings wird von allen Beteiligten eine möglichst rasche Klärung dieser Frage durch die Gerichte begrüsst.

nen Verhandlungen ausgeklammert, da dieses Ausbauprojekt für die Umweltschutzverbände aufgrund der offenen Moorschutzfrage nicht konsensfähig ist. Allerdings wird von allen Beteiligten eine möglichst rasche Klärung dieser Frage durch die Gerichte begrüsst.



Bild 3: Organisation Projektbegleitung KWO plus.
Figure 3: Organisation de l'accompagnement du projet KWO plus.

Während des Verhandlungsverlaufs wurde auch die anstehende Restwasseranierung im Oberhasli (Schweizer & Zeh Weissmann 2011) als Verhandlungsgegenstand mit aufgenommen (Kap. 2.4).

2.3 Verhandlungsgrundlagen

Das Bundesamt für Umwelt hat eine Methode zur Bewertung von gewässerökologischen Massnahmen entwickelt und empfiehlt diese bei Schutz- und Nutzungsplanungen (Basler & Partner 2005). Da diese Methodik vor allem für kleinere Einzugsgebiete ausgearbeitet wurde, mussten Anpassungen der Methodik auf die Situation im Oberhasli vorgenommen werden (Schweizer et al. 2012a, Sigmoplan 2010b). Dies

erfolgte gemeinsam durch die KWO, die kantonalen Fachstellen, das Umweltbüro Sigmaphan und die Umweltschutzverbände. Diese ökologische Bewertungsmethode war die Grundlage für eine im höchsten Masse transparente Vorgehensweise sowie für einen sehr sachlich geführten Dialog über Umfang und Art der gewässerökologischen Aufwertungen im Einzugsgebiet der KWO.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil im Verhandlungsprozess waren die zahlreichen und sehr fundierten gewässerökologischen Untersuchungen im Oberhasli (Schweizer et al. 2010). Anerkannte Umweltbüros und verschiedene Hochschulen führten die Untersuchungen nach aktuellem Wissensstand durch. Dabei zeigte sich, dass aufgrund vieler seitlicher Zuflüsse bereits heute ein Grossteil der von der KWO genutzten Gewässerabschnitte in einem verhältnismässig guten ökologischen Zustand ist. Erwartungsgemäss konnten aber auch die heute bestehenden Defizite aufgezeigt werden, die vor allem direkt unterhalb bestimmter Fassungen oder in Versickerungsstrecken liegen. Diese Defizitanalyse sowie umfangreiche Dotierversuche bildeten die Grundlage für die Entwicklung von wirkungsvollen Aufwertungsmassnahmen (Sigmaphan 2010b und 2010c).

Neben einer transparenten Ökobilanzierung und fundierten Untersuchungen war die Einführung von ökologischen Zielniveaus ein wesentliches Element für einen positiven Verlauf der Gespräche (Schweizer & Zeh Weissmann 2011). Für die verschiedenen Restwasserstrecken wurden ökologische Ziele festgelegt: z.B. ausreichende Restwasserführung im Lebensraum der Bachforelle oder Wahrnehmbarkeit eines Flussabschnitts als Landschaftselement.

Ob die jeweils festgelegten ökologischen Ziele erreicht werden, wird in einem Monitoring fünf und zehn Jahre nach Inbetriebnahme der Dotiereinrichtungen überprüft. Das Monitoringprogramm wurde gemeinsam mit den Fachstellen und den beteiligten Umweltschutzorganisationen entwickelt. Bei Nichterreichen eines Ziels können weitergehende Massnahmen gefordert werden.

2.4 Verhandlungsverlauf und ökologische Bilanzierung

Die Diskussionen und Verhandlungen in den einzelnen Gremien verliefen stets sachlich, transparent und lösungsorientiert. Nach anfänglichen Grundsatzdiskussionen wurde das Verhandlungsklima von Sitzung zu Sitzung zunehmend konstruktiv und das gegenseitige Vertrauen konnte mit jedem weiteren Treffen wachsen. Dies ist vor allem auf die in Kapitel 2.3 angeführten Verhandlungsgrundlagen zurückzuführen, aber auch auf die Bereitschaft der KWO, sämtliche Untersuchungsergebnisse offenzulegen. Auf dieser Basis wurden nun ökologisch wirkungsvolle Ausgleichsmassnahmen gemeinsam mit den beteiligten Umweltbüros und Forschungseinrichtungen, den kantonalen Fachstellen sowie den Umweltschutzverbänden ausgearbeitet.

Bild 5 zeigt den Verhandlungsverlauf ausgehend von 2008 (Ausgangszustand ohne gewässerökologische Aufwertungen) bis zur Einigung im Juni 2010. Die ökologischen Verbesserungen sind in Ökopunkten (Schweizer et al. 2012a) dargestellt. Je höher die Anzahl von Ökopunkten ist, umso grösser ist der gewässerökologische Wert. Die Ökopunkte werden dabei wie folgt berechnet: Für alle Gewässerabschnitte wird die Differenz zwischen der Bewertung des Ist-Zustands und des Referenzzustands ermittelt, der nach den Mindestrestwasservorgaben des Gewässerschutzgesetzes im Falle einer Neukonzessionierung (Art. 31–33 GSchG ohne Schutz- und Nutzungsplanung) erreicht werden müsste. Schneidet der Ist-Zustand schlechter ab als der Referenzzustand, so wird die Differenz in negativen Ökopunkten ausgedrückt. Die Summe aller negativen Ökopunkte ergibt dann das Niveau, das mit Dotierungen und weiteren aquatischen Ausgleichsmassnahmen kompensiert werden muss, um eine positive ökologische Bilanz zu erzielen.

Hier sei angemerkt, dass die Mindestrestwasservorgaben des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) für Neukonzessionierungen grundsätzlich auf zwei Arten erfüllt werden können: Entweder wird an jeder einzelnen Fassung die vorgeschriebene Mindestrestwassermenge abgegeben (Art. 31–33 GSchG) oder es

wird eine Schutz- und Nutzungsplanung (SNP, Art. 32 Bst. c GSchG) erstellt, die teilweise tiefere Restwassermengen vorsieht und Ausgleich mit geeigneten Massnahmen (z.B. Fluss- und Auenrevitalisierungen, Ausdolungen) schafft.

Für das Niveau einer Neukonzessionierung der gesamten Kraftwerksanlagen der KWO (Aare- und Gadmertal, vgl. Bild 1a und Bild 5) werden rund 26 Ökopunkte benötigt, davon 18 Ökopunkte für das Niveau Neukonzessionierung im Aaretal und 8 Ökopunkte für dasjenige im Gadmertal. Die KWO plus Ausbauprojekte wirken sich aus gewässerökologischer Sicht allerdings ausschliesslich im Aaretal aus. Deshalb hat man sich im Ausschuss dahingehend verständigt, dass der Umfang der Aufwertungsmassnahmen im Rahmen der Restwassersanierung und der Ausbauprojekte maximal dem Niveau einer Neukonzessionierung des Aaretals (18 Ökopunkte) entsprechen müsse.

Bereits im Jahr 2009 einigten sich das AWA und die KWO auf ein Massnahmenpaket zur Gewässersanierung (Bild 5). Da kurz darauf der Begleitgruppenprozess zu KWO plus begann, wurde mit der Verfügung von diesem Massnahmenpaket noch zugewartet. Im Laufe der Verhandlungen (Januar 2010) gab die KWO dann ein erstes Verhandlungsangebot für alle drei KWO plus Ausbauprojekte inklusive des mit dem AWA vereinbarten Massnahmenpakets für die Gewässersanierung ab. Die angebotenen Massnahmen erreichten dabei das benötigte Niveau an Ökopunkten, um das gesamte gewässerökologische Defizit im Aaretal zu kompensieren (Bild 5).

Im anschliessenden Dialog schlugen die Umweltschutzverbände vor, die Restwasserproblematik im Konzessionsgebiet der KWO im Rahmen der Gewässersanierung umfassend zu regeln und das bereits bestehende Konzept für diese Sanierung entsprechend anzupassen. Die KWO erklärte sich zu diesem Schritt unter folgenden Voraussetzungen bereit:

- (1) Sämtliche ökologischen Verbesserungen im Rahmen der Gewässersanierung werden in den Verhandlungen über die Massnahmen für die

Projekte «Tandem» und «Grimsel 3» berücksichtigt, um das gewässerökologische Defizit im Aaretal zu reduzieren,

- (2) mit der Gewässersanierung wird die Restwasserproblematik im gesamten Einzugsgebiet grösstenteils als gelöst betrachtet.

Im Gegenzug wurde für jede Restwasserabgabe ein ökologisches Zielniveau vereinbart (Kap. 2.3). Damit haben die Umweltschutzverbände die Sicherheit,

- (1) dass die hochstehenden ökologischen Ziele der Restwassersanierung auch erfüllt werden und
- (2) dass die Gewässersanierung im Oberhasli fristgerecht umgesetzt wird.

Die Bilder 4a und 4b zeigen exemplarisch die Verbesserung der Restwassersituation im Rahmen der Gewässersanierung.

Dieser Verhandlungsschritt hatte ausserdem zur Folge, dass die gewässerökologischen Massnahmen zu den Ausbauprojekten «Tandem» und «Grimsel 3» nun vor allem auf die Aufwertung von Lebensräumen und damit auf eine Erhöhung der Biodiversität zielen, wie dies z.B. mit Fluss- und Auenrevitalisierungen oder mit Massnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit erreicht wird. Mit dieser neuen Stossrichtung wurde es

möglich, aus ökologischer Sicht weitere äusserst interessante Massnahmen mit einem verhältnismässigen Aufwand zu entwickeln und gleichzeitig die gesellschaftlich relevanten klima- und energiepolitischen Aspekte zu berücksichtigen. Dies vergrösserte den Handlungsspielraum bei den anschliessenden Verhandlungsrunden deutlich.

Im Mai 2010 gab die KWO ein neues Verhandlungsangebot ab, bei dem die ökologische Qualität der Massnahmen im Rahmen der Gewässersanierung und der beiden Ausbauprojekte «Tandem» und «Grimsel 3» deutlich angehoben wurde (Bild 5). Mit insgesamt rund 18 Ökopunkten erreichten die gewässerökologischen Massnahmen den Umfang, der für eine Neukonzessionierung des Aaretals nötig wäre (s.o.), allerdings nur äusserst knapp.

Da bei einer SNP aber eine deutliche positive ökologische Bilanz nachgewiesen werden muss, erklärte sich die KWO im Juni 2010 bereit, drei weitere Aufwertungen mit einem Wert von insgesamt zwei Ökopunkten im Rahmen von Gewässersanierung, «Tandem» und «Grimsel 3» umzusetzen (Bild 5). Dieses neue Angebot umfasst nun rund 20 Ökopunkte. Um den Umfang für das Niveau einer Neukonzessionierung des Aaretals mit einer deutlich positiven Bilanz zu erreichen, sind nun die Mass-

nahmen im Rahmen einer Vergrösserung des Grimselsees nicht mehr nötig.

Somit konnten mit diesem Angebot die Grundforderungen der Umweltschutzverbände erfüllt werden und nach einem Jahr mit 10 intensiven Verhandlungsrunden sowie zahlreicher bilateraler Gespräche ein von allen Seiten tragbarer Konsens gefunden werden. Dabei konnten die ökologischen Aufwertungen fachlich fundiert und aus ökologischer Sicht äusserst sinnvoll gestaltet werden und gleichzeitig die gesellschaftlichen Anforderungen zur Klima- und Energiepolitik erfüllt werden (Tabelle 1). Mit diesem intelligenten und ausgewogenen Konsens werden künftig die Gewässer im Oberhasli ökologisch deutlich aufgewertet und es kann gleichzeitig erheblich mehr Energie im Grimselgebiet erzeugt werden.

Die Umsetzung der zusätzlichen, in Zusammenhang mit der «Vergrösserung des Grimselsees» geplanten Ausgleichsmassnahmen, würde dazu führen, dass auch das gewässerökologische Defizit im Gadmertal kompensiert werden könnte. Die KWO würde in diesem Fall bereits weit vor Ablauf ihrer Konzession sämtliche gewässerökologischen Anforderungen für eine Neukonzessionierung ihrer Anlagen erfüllen (Bild 5). Dieser Umstand könnte bei einer allfälligen Wiederaufnahme der Gespräche



Bild 4a: Heutige Situation in der Aare unterhalb der Fassung Handeck ohne Restwasserdotierung.
Figure 4a: Situation actuelle dans l'Aar en aval de la prise Handeck sans dotation de débit résiduel.



Bild 4b: Situation in der Aare unterhalb der Fassung Handeck nach Umsetzung der Gewässersanierung (ab 01.01.2013) mit einer sommerlichen Dotierwassermenge von 300 l/s.
Figure 4b: Situation dans l'Aar en aval de la prise Handeck après mise en oeuvre de l'assainissement des eaux (dès 01.01.2013) avec un débit de dotation estival de 300 l/s.

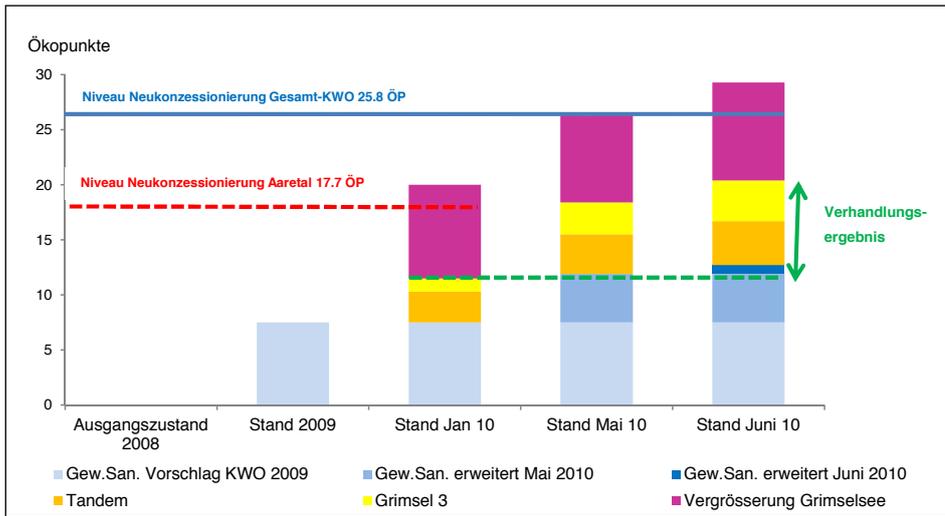


Bild 5: Verhandlungsverlauf im Ausschuss, dargestellt in Ökopunkten (Kap. 2.4) – je mehr Ökopunkte, umso wertvoller die ökologische Bilanz. Als Orientierung: um die gewässerökologischen Defizite im gesamten Konzessionsgebiet der KWO zu kompensieren, sind 26 Ökopunkte nötig; für die Kompensation des gewässerökologischen Defizits im Aaretal sind 18 Ökopunkte erforderlich. Der Stand Juni entspricht dem endgültigen Verhandlungsergebnis.

Figure 5: Déroulement des négociations en comité, présenté en écopoints (chapitre 2.4) – plus il y a des écopoints, plus le bilan écologique est réjouissant. A titre indicatif: afin de compenser les déficits écologiques des eaux sur l'ensemble de la zone attribuée à KWO, 26 écopoints sont nécessaires; pour compenser les déficits écologiques des dans la vallée de l'Aar, 18 écopoints sont nécessaires. Le mois de juin correspond au résultat final des négociations.

über die umstrittene Seevergrößerung eine solide Basis bilden.

2.5 Verhandlungsergebnisse

Da gleichzeitig über Massnahmen zur Restwassersanierung und zu den beiden unbestrittenen KWO plus-Projekten diskutiert wurde, konnten sämtliche Massnahmen aufeinander abgestimmt und möglichst viele Synergien genutzt werden (z.B. Regelung der Restwasserabgaben bei einer Flussrevitalisierung). Insgesamt kann diese ganzheitliche Lösung damit einen wesentlich höheren ökologischen Wert als die Summe der Einzelmassnahmen generieren (Schweizer et al. 2012a und 2012b). Mit den KWO plus-Projekten wird trotz künftig höherer Restwassermengen die künftige Produktion an klimaneutralem Strom deutlich erhöht.

Restwassersanierung

Im 4. Quartal 2010 wurde die Restwassersanierung (GSchG Art. 80 ff.) ohne Einsprachen verfügt (Schweizer & Zeh Weissmann 2011). Insgesamt umfasst die Sanierung

- 11 Restwasserabgaben
- 1 Massnahme zur Fischgängigkeit an einer bestehenden Fassung
- 1 Nutzungsverzicht
- 1 Geschiebedotierung

Zusätzlich zu den verfügbaren Massnahmen werden in Zusammenarbeit mit dem lokalen Fischereiverein Reusenbefischungen an der Fassung Hopflauen durchgeführt, um die Anzahl verdrifteter Fische ins Kraftwerkssystem zu ermitteln und gegebenenfalls Massnahmen zu ergreifen. Ausserdem ist noch das Engagement der KWO bei der Aufwertung von Fischaufzuchtgewässern zu nennen.

Die hier beschriebenen Massnahmen werden die grossen gewässerökologischen Defizite im Oberhasli beheben und sind auf die weiteren Aufwertungen im Rahmen von KWO plus abgestimmt. Die KWO wird damit das grösste Kraftwerkssystem der Schweiz sein, das seine genutzten Gewässer nach Art. 80 ff. GSchG saniert.

«Tandem» und «Grimsel 3»

Gemeinsam mit den o.g. Massnahmen zur Restwassersanierung kompensieren die folgenden ökologischen Aufwertungen im Rahmen der Ausbauprojekte «Tandem» und «Grimsel 3» das gewässerökologische Defizit im Aaretal (vgl. Bild 5, Stand Juni 2011):

- 1 Fassungs Aufgabe
- 2 künftige Nutzungsverzichte

- 1 Erhöhung der Restwassermenge zur Förderung der Seeforelle
- 4 Fluss- und Auenrevitalisierungen
- 2 Massnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit für Fische und Wirbellose

Der eingeschlagene Weg – mittels direkter Gespräche und Verhandlungen nach einer tragfähigen Lösung zu suchen – konnte positiv beschritten werden: Gegen die beiden im Frühjahr 2011 öffentlich aufgelegten Projekte wurden von den Umweltschutzverbänden keine Einsprachen eingereicht.

«Vergrößerung Grimselsee»

Mit den Massnahmen, die im Rahmen der «Vergrößerung des Grimselsees» geplant sind, könnte zusätzlich auch das gewässerökologische Defizit im Gadmertal kompensiert werden, so dass die KWO bereits weit vor Ablauf ihrer Konzession sämtliche gewässerökologischen Anforderungen für eine Neukonzessionierung ihrer Anlagen erfüllen würde. Dafür sind folgende ökologischen Aufwertungen vorgesehen:

- 1 Fassungs Aufgabe
- 1 Restwassergabe an einer weiteren Fassung
- 2 Erhöhungen der Restwassermengen zur Förderung der Aue Obermad (Gadmertal)
- 4 Fluss- und Auenrevitalisierungen, sowie
- mehrere Massnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit für Fische und Wirbellose.

3. Fazit – Schlüsselfaktoren für den Verhandlungserfolg

Dass es trotz schwieriger Vorgeschichte zu einer Einigung in den Verhandlungen zur Restwassersanierung, «Tandem» und «Grimsel 3» gekommen ist, kann auf folgende Punkte zurückgeführt werden:

- fundierte gewässerökologische Untersuchungen (Schweizer et al. 2010, Kap. 2.3)
- transparente und objektive Ökobilanzierung (Schweizer et al. 2012a, Sigmaplan 2010b, Kap.2.3 und 2.4)
- Fokus auf eine möglichst grosse ökologische Aufwertung durch effiziente Massnahmen (Schweizer et al. 2012b, Sigmaplan 2010c, Kap. 2.3)

- Einführung ökologischer Zielniveaus (Schweizer & Zeh Weissmann 2011, Kap. 2.3)
- Einbezug aller Betroffenen mit grösstmöglicher Transparenz (Kap. 2.1); sämtliche gewässerökologische Studien wurden offengelegt, die Berichte zur Konzessionseingabe wurden auf freiwilliger Basis ein halbes Jahr vor der öffentlichen Auflage an alle Umweltschutzverbände verteilt
- offene Haltung und Verhandlungsbereitschaft aller Beteiligten

Bei den direkten Verhandlungen haben nicht alle Einsprache berechtigten Umweltschutzverbände teilgenommen. Die Vertreter von Pro Natura, BKFV und Grimselverein konnten allerdings diesen nicht direkt beteiligten Verbänden überzeugend darlegen, dass aus sachlicher und ökologischer Sicht das Verhandlungsergebnis gut geheissen werden kann. All dies ist in einer Vielzahl von Gesprächen und mit einem insgesamt sehr grossen Einsatz der Mitwirkenden gelungen.

4. Ausblick

Die KWO hat Ende 2010 dem Kanton eine detaillierte Planung zur technischen und zeitlichen Umsetzung der Restwassersanierung (nach Art. 80 GSchG) eingereicht. Sofern es in den hierfür erforderlichen Bewilligungsverfahren zu keinen Verzögerungen kommt und keine aussergewöhnlich lang anhaltend schlechten Witterungsbedingungen herrschen (der technische Bau bei einigen Dotiervorrichtungen ist wegen der Zugänglichkeit und des Abflussregimes nur in einem engen Zeitfenster im Spätjahr möglich), werden die Massnahmen der Restwassersanierung im Jahr 2012 fristgerecht umgesetzt sein.

Das Erreichen der ökologischen Zielniveaus wird durch eine mehrjährige Erfolgskontrolle überprüft. Sowohl beim Festlegen der zu messenden Indikatoren als auch bei deren Bewertung und Erhebung wird der eingeschlagene Weg der Partizipation fortgesetzt. In Zusammenarbeit mit den kantonalen Fachstellen und den Umweltschutzverbänden werden das Konzept und die konkrete Erfolgskontrolle ausgearbeitet. Das Monitoring kann dann in fünf bis zehn Jahren einen grossen Wissensgewinn generie-

ren und sowohl methodische als auch konkrete Antworten auf die bedeutende Frage geben: «Welche Restwassermengen werden im Oberhasli benötigt, um ein bestimmtes ökologisches Ziel zu erreichen?» Bei einer Anpassung an die jeweils vorliegenden gewässerspezifischen Eigenheiten kann die hier ausgearbeitete Methodik grundsätzlich auch an anderen alpinen Restwasserstrecken angewendet werden.

Mit den Massnahmen im Rahmen der Gewässersanierung sowie der Projekte «Tandem» und «Grimsel 3» werden die neuen Anforderungen des Gewässerschutzgesetzes zu den Aspekten Geschlechtsbehalt und Durchgängigkeit erfüllt. Bezüglich der Sanierung von Schwall/Sunk plant die KWO im Rahmen des Ausbauprojekts «Tandem» bei der Wasserrückgabe in Innertkirchen ein Beruhigungsbecken (Schweizer et al. 2008). Die wichtigsten hydrologischen, hydraulischen und biologischen Abklärungen liegen für die Hasliaare zu dieser Problematik bereits vor (z.B. Schweizer et al. 2009 und 2010, LCH 2010, Haas & Peter 2009, Limnex 2009 und 2010, Meyer 2010). Darüber hinausgehend sind noch weitere Abklärungen und Forschungsarbeiten aktuell in Bearbeitung (z.B. Bieri et al. 2010, Ribi et al. 2010). Ausserdem versucht die KWO, ein neues Forschungsprojekt zur Bewertung von Sanierungsmassnahmen bzgl. Schwall/Sunk zu lancieren. Ziel dieses Forschungsprojekts ist es, die dringlichsten Fragen zur Umsetzung des neuen Gewässerschutzgesetzes zu dieser Thematik aufzugreifen und bestehende Wissenslücken zu füllen. Aufgrund der guten Datengrundlage, der verschiedenen Flussmorphologien in der Schwallstrecke (Buhnen, natürliche Aareschlucht, alternierende Kiesbänke, Kanal) und der «Exklusivität» der KWO als Schwallzeuger eignet sich die Hasliaare sehr gut als Pilotprojekt für die Umsetzung der neuen Schwallbestimmungen. Die KWO ist bestrebt, bei diesem Thema eine Vorreiterrolle zu übernehmen.

Das AWA wird über die Konzessionsänderung für das Projekt «Tandem» und der Grosse Rat des Kantons Bern über die erforderlichen Konzessionsanpassungen und -ergänzungen für die Pro-

jekte «Grimsel 3» und «Vergrösserung Grimselsee» entscheiden.

Die Gespräche mit den kantonalen Ämtern und den Umweltschutzverbänden werden weiter geführt, um auftretende Fragen in Bezug auf die Baugesuchunterlagen klären zu können.

5. Mitglieder Begleitgruppenprozess

5.1 Mitglieder Fachgruppe

Die Fachgruppe hat sich aus folgenden Personen gebildet: Dr. M. Graf (Abteilung für Naturförderung), Dr. M. Zeh (Gewässer- und Bodenschutzlabor), W. Müller (Fischereinspektorat), N. Hählen (Tiefbauamt), F. Weber (Amt für Gemeinden und Raumordnung), I. Schmidli (Amt für Wasser und Abfall), T. Wagner (Sigmaplan), H. Zeh Weissmann (Sigmaplan), H. Ursin (KWO), Dr. S. Schweizer (KWO).

5.2 Mitglieder Ausschuss

Der Ausschuss bestand aus: W. Brog (Präsident Gemeinde Innertkirchen), I. Schmidli (Amt für Wasser und Abfall), H. Habegger (Amt für Wasser und Abfall), Dr. L. Vetterli (Pro Natura), U. Eichenberger (Grimselverein), Dr. M. Meyer (Bernisch Kantonaler Fischerei-Verband), Dr. G. Biasutti (KWO), bis Sommer 2010 Dr. S. Mützenberg (KWO), ab Sommer 2010 D. Fischlin (KWO), bis Sommer 2010 M. Ursin (KWO), Dr. S. Schweizer (KWO).

5.3 Mitglieder politische Begleitgruppe

Aufgrund der grossen Mitgliederzahl (über 30 Personen) in der politischen Begleitgruppe wird hier auf eine namentliche Erwähnung der einsitzenden Personen verzichtet. Folgende Institutionen waren vertreten: Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion, Amt für Wasser und Abfall, Grossräte der Parteien Grüne, SP, EDU, FDP, SVP, BDP, Gemeindepräsidenten und Gemeinderäte von Innertkirchen, Gaden, Guttannen, Regierungsrat Oberhasli, Bernisch kantonaler Fischereiverband, Fischereiverein Oberhasli, Grimselverein, Pro Natura, AQUA VIVA, Schweizerische Greina-Stiftung, Stiftung Landschaftsschutz Schweiz, WWF und KWO.

6. Danksagung

Ein grosser Dank gebührt Dr. L. Vetterli (Pro Natura), Dr. M. Meyer (BKFV), U. Eichenberger (Grimselverein), H. Zybach, K. Zumbrunn (beide Fischereiverein Oberhasli), W. Brog (Gemeinde Innertkirchen), H. Habegger (Amt für Wasser und Abfall), Dr. M. Graf (Abteilung für Naturförderung), Dr. M. Zeh (Gewässer- und Bodenschutzlabor), W. Müller (Fischereinspektorat), N. Hählen (Tiefbauamt), F. Weber (Amt für Gemeinden und Raumordnung), I. Schmidli (Amt für Wasser und Abfall), B. Oppediguer, T. Wagner (Sigmaplan) für die fachlichen Diskussionen und die damit verbundenen Qualitätssteigerungen der ökologischen Ausgleichsmassnahmen. Für die wertvollen Anmerkungen und für das kritische Durchlesen möchten sich die Autoren zudem bei A. Keiser (Sigmaplan), C. Mathez (BWU), S. Jenni (Advokatur Jost Stämpfli Messerli Streit Jaun) und Dr. H.P. Tscholl, D. Fischlin, M. Meyer, R. Borrmann (alle KWO) in aller Form bedanken.

7. Literatur

Basler E. & Partner (2005): Ausnahmen von den Mindestrestwassermengen im Rahmen einer Schutz- und Nutzungsplanung (Art. 32 Bst. c GSchG). Bericht des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Bieri M., Schleiss A. und Frankhauser A. (2010): Modelling and simulation of floods in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. River Flow: 1421–1428, Braunschweig, Deutschland, 8.–10. September 2010.

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

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

Limnex (2009): Schwall/Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Unter-

suchung von Hasliaare und Lütschine. Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und Szenarien. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Limnex (2010): Schwall/Sunk in der Hasliaare – Anhang. Resultate von zusätzlichen Feldaufnahmen und Auswertungen sowie Zusammenstellung von Rohdaten als Ergänzung zum Bericht von Limnex (2009). Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Meyer M. (2010): Möglichkeiten der Habitatoptimierung für die Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) im Einzugsgebiet des Brienersees (Berner Oberland, Schweiz). Diplomarbeit an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

Ribi J.-M., Boillat J.-L. und Schleiss A. (2010): Fish behaviour during hydropeaking in a Channel equipped with a lateral shelter. Proceedings of the 8th International Symposium on Ecohydraulics (ISE 2010): 675-682. COEX, Seoul, Korea, 12.–16. September 2010.

Schweizer S., Neuner J., Ursin M., Tscholl H. und Meyer M. (2008): Ein intelligent gesteuertes Beruhigungsbecken zur Reduktion von künstlichen Pegel-schwankungen 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. Wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWO plus. «Wasser Energie Luft» 2010 (4): 289–300.

Schweizer S. & Zeh Weissmann H. (2011): Restwassersanierung der genutzten Gewässer im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2011 (1): 25–30.

Schweizer S., Zeh Weissmann H., Wagner T. und Brechbühl S. (2012a): Ökologische Bilanzierungsmethode für die Schutz- und Nutzungsplanung im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2012 (1): 18–29

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.

Sigmaplan (2010a): Kraftwerke Oberhasli. Restwasserbericht mit Schutz- und Nutzungsplanung Vergrösserung Grimselsee. Mit einer Gesamtübersicht über sämtliche im Rahmen der Restwassersanierung nach Art. 80 GSchG sowie des Investitionsprogramms KWO plus vorgesehenen gewässerökologischen Massnahmen und einer gewässerökologischen Gesamtbilanz im Anhang. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

Sigmaplan (2010b): Bilanzierungsmethode für die Schutz- und Nutzungsplanung Vergrösserung Grimselsee und die Gesamtbilanz über sämtliche im Rahmen der Restwassersanierung nach Art. 80 GSchG und des Investitionsprogramms KWO plus vorgesehenen gewässerökologischen Massnahmen. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

Sigmaplan (2010c): Gewässerökologische Massnahmen im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus und der Restwassersanierung nach Art. 80 ff. GSchG (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

Kontaktadresse

Steffen Schweizer
Dr. sc. ETHZ
Umweltnaturwissenschaften
Leiter Fachstelle Ökologie KWO
Kraftwerke Oberhasli AG
Grimselstrasse 19
CH-3862 Innertkirchen
Tel.: +41 33 982 20 11
Fax: +41 33 982 20 05
E-Mail: sste@kwo.ch
Internet: www.grimselstrom.ch

Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli als wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWOplus

Steffen Schweizer, Matthias Meyer, Nick Heuberger, Sandra Brechbühl, Max Ursin

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 102. Jahrgang, 2010, Heft 4, CH-5401 Baden

Keywords

KWOplus, Gewässerökologie, Bewertungssysteme

Nombreuses recherches limnologiques à Oberhasli comme soutien important du processus de suivi participatif de KWOplus

Mots-clés

KWOplus, écologie des eaux, systèmes d'évaluation

Molte analisi ecologiche delle acque nella regione dell'Oberhasli quale importante fondamento del processo partecipativo d'accompagnamento di KWOplus

Parole chiave

KWOplus, ecologia delle acque, sistemi di valutazione

1. Ausgangslage und kurzer geographischer Beschrieb des Oberhasli

Die KWO ist seit Ende der 1990er Jahren bestrebt, die Nutzung des Wasserkraftpotenzials im Oberhasli weiter auszubauen bzw. zu optimieren. Ein Kernstück der Ausbaupläne betrifft die intensivere Nutzung des Grimselsees – ein mit einer sehr langen Vorgeschichte belastetes Projekt, welches auch Auswirkungen auf die Wahrnehmung der Öffentlichkeit und der Umweltschutzver-

bände für weitere eher unkritische Ausbauprojekte (z.B. «Tandem»: Ausbau der Kraftwerkskette Handeck – Innertkirchen oder «Grimsel 3»: Pumpspeicherwerk zwischen Oberaarsee und Räterichsbodensee) hat, die unter dem Namen von KWOplus zusammengefasst werden. Damit die KWO dem gesellschaftlichen Auftrag für einen Ausbau der Nutzung von regenerativen Energien gerecht werden kann und gleichzeitig ein sinnvoller Kompromiss zwischen Nutzen und Schutz der Gewässer im Oberhasli möglich ist, wurde im Sommer 2009 von der Bernischen Energiedirektorin B. Egger-Jenzer ein runder Tisch mit drei Ebenen ins Leben gerufen. Das Amt für Wasser und Abfall (AWA) hat dabei die Koordination zwischen den verschiedenen Ebenen sowie der politischen Begleitgruppe übernommen. Dieser politischen Ebene gehören Vertreter der Umweltschutzverbände, der Gemeinden, der Politik sowie der KWO an. Auf der fachlichen Ebene treffen sich die Vertreter der kantonalen Ämter und der KWO, um gewässerökologische und methodische Fragen zu diskutieren. Im Ausschuss, der dritten Ebene, verhandeln unter der Leitung des AWAs die Vertreter von Pro Natura, des Bernisch Kantonalen Fischereivereins (BKfV) und des Grimselvereins direkt mit der KWO über den Umfang und die Zuordnung von ökologischen Ausgleichsmassnahmen.

Eine weitere Rahmenbedingung ist, dass sämtliche Schweizerische Kraftwerke aufgrund des Gewässerschutzgesetzes (GSchG Art. 80 ff.) dazu verpflichtet sind, bis 2012 die von ihnen genutzten Gewässer zu sanieren.

Diese Ausgangslage veranlasste die KWO zu umfassenden gewässerökologischen Untersuchungen – in einem für die Schweiz bisher einzigartigen Umfang (Abb. 1). Neben hydrologischen und hydraulischen Analysen zu den Themen Restwasser, Schwall/

Sunk, Geschiebehaushalt, Hochwassersicherheit, Kolmation (Verfüllung der Poren in der Bachsohle mit Feinmaterial), Habitate und Wasserqualität wurden auch sämtliche biologischen Kriterien wie die Ökologie von Fischen, Wirbellosen, Wasserpflanzen und Auen sowie die Vernetzungen und die Funktionalität der Gewässer im Oberhasli untersucht. Ausserdem wurde der Einfluss der Gewässer auf die landschaftliche Wahrnehmung bestimmt. Bei diesen zahlreichen Untersuchungen hat es z.T. überraschende Ergebnisse und unerwartete Erkenntnisse gegeben.

Generell bilden die getätigten Untersuchungen die notwendige Grundlage für einen angestrebten und ausgewogenen Kompromiss von Nutzen und Schutz der Gewässer. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen konnte so in der o.g. Begleitgruppe stets fachlich, konstruktiv, lösungsorientiert und transparent diskutiert werden, was den Annäherungsprozess bisher sehr beschleunigt hat.

Das Einzugsgebiet der KWO liegt im östlichen Berner Oberland in der Region von Grimsel und Susten (Abb. 1). Insgesamt wird in den zwei Haupttälern (Aare- und Gadmental) sowie in den zwei bedeutenden Seitentälern (Urbach- und Gental) an insgesamt 27 Fassungen Wasser für die Energieerzeugung entnommen. Die Einzugsgebietsfläche oberhalb von Innertkirchen beträgt rund 450 km², wovon etwa 350 km² für die Wasserkraft genutzt werden.

Die Aare entspringt dem Unteraargletscher auf knapp 2000 m ü.M. und speist mit ihrem Wasser den Grimselsee (1909 m ü.M.). Danach verläuft sie als Restwasserstrecke bis zur Wasserrückgabe in Innertkirchen (620 m ü.M.) und dann als Schwallstrecke bis zu ihrer Mündung in den Brienersee auf 564 m ü.M.. Die Schwallstrecke unterhalb der Wasserrückgabe in Innertkirchen weist verschiedene Morphologietypen auf: Buhnen zwischen der Wasserrückgabe

in Innertkirchen und der Aareschlucht (0,7 km), natürliche Morphologie in der Aareschlucht (1,5 km), alternierende Kiesbänke im Raum Meiringen (1,5 km), begradigter Kanal zwischen Meiringen und Brienzensee (12 km). Dagegen sind die Fließgewässer oberhalb von Innertkirchen grösstenteils morphologisch natürlich bis naturnah. Nur sehr vereinzelt gibt es hier kurze Abschnitte, die stark verbaut oder mit künstlichen und nicht fischgängigen Schwellen stabilisiert sind.

Das hydrologische Abflussregime schwankt je nach Höhenlage zwischen glazial (von Gletscher geprägt) und nival-alpin (von der Schneeschmelze geprägt) – der höchste Punkt des oberen Aareinzugsgebiets (Finsteraarhorn) liegt auf 4274 m ü.M. Der Gletscheranteil des Einzugsgebiets liegt beim Pegel der Landeshydrologie in Brienzwiler bei 21%. Im Allgemeinen ist die Wasserqualität der Oberflächengewässer im Oberhasli sehr gut.

2. Gewässerökologische Untersuchungen und Ergebnisse

Für eine umfassende Analyse der gewässerökologischen Situation eines Fließgewässers müssen hydrologische, hydraulische, chemische und biologische Aspekte beachtet werden. Die Berücksichtigung dieser Aspekte ist im Gewässerschutzgesetz (GSchG) sowohl für die Gewässersanierung (Art. 80 ff.) als auch für Neuregelungen der Konzessionsbedingungen (Art. 29ff) verankert. Zusätzlich wird auch die Beachtung von landschaftlichen Gesichtspunkten gefordert. Um alle gewässerökologisch relevanten Fragen bezüglich Ausbauvorhaben und der Gewässersanierung sachlich diskutieren und lösen zu können, hat die KWO in den letzten Jahren zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen an allen relevanten Flussabschnitten durchführen lassen. Dies geschah und geschieht in Zusammenarbeit mit anerkannten Umweltbüros und Experten sowie mit der finanziellen Beteiligung an den Forschungsprojekten «Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft – Innovative Massnahmen zur Reduzierung der Schwall/Sunk-Problematik» (KTI-Forschungsprojekt Nr. 9676), «Alpwa-

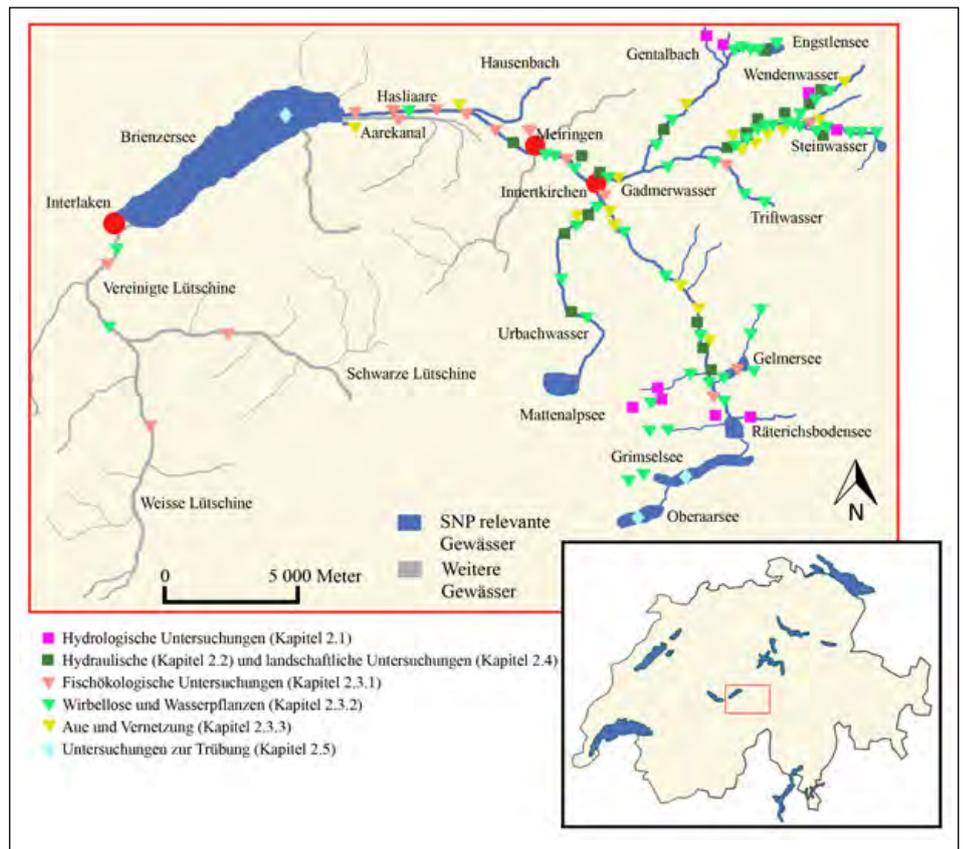


Bild 1: Gewässerökologische Untersuchungen initiiert durch die KWO. SNP = Schutz- und Nutzungsplan, der für das Konzessionsgesuch für eine Vergrösserung des Grimselsees ausgearbeitet wurde. Das Konzessionsgesuch wurde im September 2010 eingereicht.

Fig. 1: Recherches limnologiques initiées par KWO. SNP = plan de protection et d'utilisation (SNP = Schutz- und Nutzungsplan), élaborés pour la demande de concession pour un agrandissement du Grimselsee. La demande de concession a été présentée en septembre 2010.

terscarce» (www.alpwaterscarce.eu) und Unterstützung des Swiss Electric Research Forschungsprojekts «HydroNe» (www.ccem.ch/hydronet). Die genannten Forschungsprojekte werden unter anderem von der Eawag, EPFL, ETHZ, FH Fribourg und FH Lausanne geführt.

2.1 Hydrologische Untersuchungen und Ergebnisse

Für die Festlegung von sowohl gesetzlich als auch gewässerökologisch sinnvollen Dotierwassermengen – sei es im Rahmen der Gewässersanierung (GSchG Art. 80ff.) oder im Rahmen einer Neukonzessionierung (GSchG Art. 29ff.) – bedarf es u.a. einer ausreichend genauen Kenntnis der Niedrigwasserverhältnisse (Q_{347}) an einer bestimmten Fassung sowie möglichen Versickerungseigenschaften in der Restwasserstrecke. An insgesamt acht Fassungen gibt es diesbezüglich noch offene Fragen, die in z.T. sehr aufwendigen Verfahren von den Büros BWU und BIG quantitativ

oder semiquantitativ angegangen und gelöst werden (BIG 2009, BWU Mathez 2009a, 2009b, 2010). Zusätzlich wurden auch zwei Bäche hydrologisch untersucht, die aktuell in den Räterichsbodensee münden und sich prinzipiell für eine Dotierung eignen würden. Eine Umleitung eines dieser Bäche ermöglicht künftig, dass die Aare wie bisher ganzjährig klares Wasser führt. Verglichen zum heutigen Zustand würde dagegen eine Dotierung mit trübem Stauseewasser die gewässerökologische Situation in der Aare verschlechtern (Kap. 2.3.1 und 2.3.2). Beide Bäche versiegen zeitweise im Hochwinter, führen aber in der restlichen Jahreszeit beachtliche Wassermengen. Da die heutige gewässerökologische Situation in der Aare unterhalb vom Räterichsbodensee bereits relativ gut ist (Kap. 2.3.1 und 2.3.2), konnte so in der Begleitgruppe ein sachlich vernünftiger Kompromiss für die Dotierung ab dem Räterichsbodensee mit einem dieser Bäche gefunden werden.

Um die aktuellen Auswirkungen von künstlichen Pegelschwankungen in der Schwallstrecke zu bestimmen, aber auch um die Effekte von dem geplanten Beruhigungsbecken (Schweizer et al 2008) zum Dämpfen der Pegelschwankungen zu simulieren, wurden in Zusammenarbeit mit dem Büro Limnex AG aufwendige Driftversuche durchgeführt (Abb. 2) (Linxex 2009). Dabei wurde die Wasserrückgabe in die Aare beim ersten Versuchstag im März 2008 innerhalb von fünf Minuten von 8 m³/s auf 62 m³/s erhöht (heute maximal möglicher Anstieg), während beim zweiten Versuchstag (einen Monat später) die gleiche Erhöhung sich auf 30 Minuten ausdehnte (Simulation des geplanten Beruhigungsbeckens) und den Organismen so eine viel längere Reaktionszeit ermöglichte (das Beruhigungsbecken kann künftig die Pegelanstiegs- und Rückgangsraten sowie die Schwall- und Sunkraten halbieren). Mit im Fluss aufgestellten Netzen und mit Tauchpumpen wurden die in der Hasliaare treibenden (driftenden) wirbellosen Organismen (v.a. Insektenlarven) für jedes Szenario und für zwei verschiedene Flussmorphologien (Kanal und alternierende Kiesbänke) gemessen. Bei diesen Driftversuchen zeigte sich, dass mit dem geplanten Beruhigungsbecken die maximale Konzentration von driftenden Organismen (Driftdichten) beim Schwallanstieg um mehr als die Hälfte reduziert werden kann. In der Kiesbankstrecke wird diese maximale Driftdichte gegenüber dem Kanal zudem nochmals deutlich vermindert, was auf die naturnähere Morphologie zurückzuführen sein dürfte. Nach dem ersten Schwallanstieg ging die Wirbellosen-Drift in allen Versuchen rasch wieder zurück, blieb aber während des Schwalldurchganges weiterhin über der natürlichen Grunddrift (Linxex 2009). Bei den anorganischen Partikeln in der Drift (Sand, Schwebstoffe) wurde die Konzentration beim Schwallanstieg weder durch die Simulation des Beruhigungsbeckens noch durch die Morphologie so stark beeinflusst, wie dies bei den Wirbellosen der Fall war (Linxex 2010). Eine Kombination aus geplantem Beruhigungsbecken und morphologischer Auf-

wertung der Hasliaare (Absenken der Vorländer zur Ausbildung von alternierenden Kiesbänken) könnte somit die Verdriftungsproblematik entschärfen, indem ein übermässiges Abtreiben von Wirbellosen auf der Flusssohle durch die Schwälle («Katastrophendrift») wohl weitgehend verhindert würde (Linxex 2009). Natürliche Driftverhältnisse wären damit aber noch nicht erreicht, sind in Schwallstrecken normalerweise aber auch nicht zu erreichen. Inwiefern das geplante Beruhigungsbecken den ab 2011 neu geltenden Forderungen des Gewässerschutzgesetzes und der Gewässerschutzverordnung bzgl. Schwall/Sunk nachkommt, muss noch geklärt werden.

Zusätzlich konnte in einer hydraulischen Untersuchung gezeigt werden, dass die Buhnen in Innertkirchen die Schwallwellen verzögern und den Abflussanstieg abflachen (LCH 2010, Meile 2008, Linxex 2009). Dies ist bei einer künftigen Steuerung des Beruhigungsbeckens zu berücksichtigen: Eventuell ist anstelle der Dämpfung des Schwallanstiegs die Erzeugung eines Vorschwalls zur Vorwarnung der aquatischen Organismen aus ökologischer Sicht vorteilhafter.

Im Rahmen des von der KWO mitfinanzierten KTI-Forschungsprojekts wurde an der EPFL ein hydrologisch-hydraulisches Modell entwickelt, das sämtliche KWO-Einrichtungen und die wichtigsten Gewässer abbildet. Damit können neben innerbetrieblichen Möglichkeiten zur Reduktion von Schwall/Sunk auch Klimaszenarien (Veränderung von Niederschlag, Gletscherrückgang, Trockenperioden ...) und Hochwassersimulationen (Steuerung der Stauseen im Hochwasserfall) gerechnet werden (Bieri & Schleiss 2009, Bieri et al 2010). Erste Modellrechnungen zeigen, dass durch den Rückhalt in den KWO-Speicherseen der Spitzenabfluss während dem Hochwasser von 2005 in Brienzwiler von 590 (Speicherseen 100% gefüllt) auf 520 m³/s (Seestände 2005) entschärft werden konnte (LCH 2009). Diese Modellrechnung wurde auch in der Begleitgruppe des «Hochwasserkonzepts Aare Meiringen bis Brienzensee» diskutiert und momentan sind Abklärungen zur aktiven Hochwasserbewirtschaftung

durch präventiven Turbinierbetrieb im Gange. Dies zeigt, wie vielseitig das Modell eingesetzt werden kann.

Die Methode zur Beurteilung des Natürlichkeitsgrades des Abflussregimes HYDMOD-F (in Entwicklung stehendes Modul Hydrologie des Modul-Stufen-Konzeptes, Pfandler et al. 2007) wurde für alle Restwasserstrecken (Heuberger & Schweizer 2010) und für die Schwallstrecke (Heuberger & Schweizer 2009) getestet. Dazu fand ein Austausch über die gemachten Erfahrungen mit dem BAFU statt. Das BAFU ist aktuell mit der Überarbeitung von HYDMOD-F für die definitive Publikation dieser Methode im Frühjahr 2011 (Pfandler et al 2011) befasst. Die sehr grosse Anzahl an umfassenden gewässerökologischen Untersuchungen macht das Oberhasli zu einem optimalen Testgebiet für neue Bewertungssysteme.

2.2 Hydraulische Untersuchungen und Ergebnisse

2.2.1 Geschiebe

Der Geschiebehaushalt eines Gewässers spielt sowohl für die ökologische Situation als auch für die Hochwassersicherheit eine entscheidende Rolle. Zum einen gewährleistet ein naturnaher Geschiebehaushalt eine für das Ökosystem notwendige Gewässerdynamik, da damit immer wieder Pionierstandorte für Spezialisten geschaffen werden. Zum anderen garantiert ein naturnaher Geschiebehaushalt eine gewisse Strukturvielfalt, die den Lebensraum für viele aquatische Organismen bildet, wie z.B. Lückenräume für Wirbellose oder Laichplätze für Fische. Der Geschiebehaushalt beeinflusst direkt die Höhenlage der Flusssohle und somit die Situation bei Hochwasser: Bei einer Eintiefung der Sohle können Unterspülungen von Uferbefestigungen auftreten, während bei einer Auflandung der Abflussquerschnitt verringert wird.

Die KWO und das Tiefbauamt des Kantons Bern lassen seit mehreren Jahren den Geschiebehaushalt von Gaderwasser (Hunziker, Zarn & Partner 2008, 2009) und der Aare (z.B. Hunziker, Zarn & Partner 2007) untersuchen. Aufgrund verschiedener Geschiebe-



Bild 2: Driftversuche in der Aare im März / April 2008 (Limnex 2009). Links: Messung in unzugänglicher Kanalstrecke mittels Lastwagenkran, Tauchpumpe, Schläuchen, Netz und Bottich; rechts: Messung der Drift mit fixiertem Netz in der Kiesbankstrecke. Fotos Peter Baumann, Limnex AG.

Fig 2: Tentatives de drift dans l'Aar en mars/avril 2008 (Limnex 2009). À gauche: mesure dans le tronçon du canal inaccessible en camion-grue, pompe submersible, tuyaux, filet et cuve; à droite: mesure du drift avec filet fixé dans le tronçon des bancs de gravier. Photos Peter Baumann, Limnex AG.

sammler besteht am Gadmerwasser ein Geschiebedefizit, welches in den letzten Jahrzehnten dazu geführt hat, dass sich das Gewässer eingetieft hat und die Strukturvielfalt beeinträchtigt ist. Zusätzlich besteht ein für dieses Gewässer untypisches Defizit an kleinen und mittleren Korngrößen, die für die Naturverlaichung von Bachforellen nötig sind. Die Analyse des Geschiebehaushalts ergab, dass eine Geschiebedotierung von gut 1000 m³ pro Jahr unterhalb des bestehenden Sammlers Obermad zu keinen aus Hochwassersicht gefährlichen Auflandungen führen dürfte. Diese Geschiebedotierung ist Bestandteil der Gewässersanierung und wird bereits seit 2008 in Vorleistung freiwillig ausgeführt (Abb. 3). Die ersten drei Kilometer unterhalb der Zugabestelle zeigen bereits nach drei Jahren eine markante Zunahme an potenziellen Laichplätzen (aktuelles Monitoring und Beobachtungen von Schweizer S., Meyer M. und Fischereiverein Oberhasli). Ein umfassendes biologisches und hydraulisches Monitoring soll in den kommenden Jahren die optimale Geschiebemenge definieren, die die grösstmögliche Verbesserung für Wirbellose und Fische mit sich bringt, aber gleichzeitig auch einen angemessenen Schutz vor Überflutungen garantiert.

Um den Einfluss des Schwallbetriebs auf die Sohle der Aare zu untersuchen, wurden hydraulische Modell-

untersuchungen und Berechnungen an der Technischen Universität München (2007) durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Sohle bei Schwallabflüssen nicht bewegt oder aufgerissen wird. Diese Sohlenstabilität bei fast täglich auftretendem Schwall ist für alle aquatischen Organismen lebenswichtig. Pro Jahr treten in der Aare ein bis zwei natürliche Hochwasserereignisse auf, die die Sohle aufreissen. Diese Störungen sind aber aus ökologischer Sicht nötig, damit sich eine natürliche Dynamik ausbilden kann und die Poren der Sohle von Feinmaterial wieder befreit werden (Dekolmation).

2.2.2 Hochwasserdynamik

Im von den KWO mitfinanzierten Forschungsprojekt «Alp Water Scarce» untersucht die Eawag mittels verschiedener Parameter strukturelle (Habitatvielfalt = Vielfalt an Lebensräumen) und funktionelle (Respiration) Aspekte in Abhängigkeit von der Hydrologie in der Aue Sandey im Urbachtal, einer Aue von nationaler Bedeutung. Aufgrund des Stausees Mattenalp (etwa 5 km oberhalb von Sandey) ist die obere Hälfte des ursprünglichen Einzugsgebiets dieser Aue abgeschnitten. In der Regel fällt in diesem Gebiet der Niederschlag allerdings als Schnee, bzw. bei Regen wird dieser von den Gletschern wie ein Schwamm zuerst zurückgehalten und ist somit nicht direkt abflusswirksam. Zu-

dem gelangen Niederschläge unterhalb des Stausees direkt ins System. Daher ist die Aue von einem eingeschränkt natürlichen Abfluss geprägt, der aber die für alpine Systeme typische Expansions- und Kontraktionsdynamik des Gewässernetzes gewährleistet. Hierdurch werden bei Starkregenereignissen weite Teile der Aue überflutet, fallen anschliessend aber wieder trocken. Dies sind ideale Voraussetzungen, um Indikatoren hinsichtlich zukünftiger Wasserknappheit im Alpenraum im Rahmen des obengenannten Projektes zu testen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die hydrologische Dynamik ausreicht, um eine auentypische Habitatvielfalt zu gewährleisten. Allerdings haben historische Luftbildanalysen gezeigt, dass Anzahl und Fläche der Habitate wesentlich geringer sind als vor dem Bau des Sees. Einen wesentlichen Beitrag hierzu leisten aber die insbesondere in den letzten 20–30 Jahren geschütteten Dämme, die damit als ökologisch fragwürdig eingestuft werden müssen.

Da bei grösseren Hochwasserereignissen die meisten Fassungsschütze geöffnet werden und somit der gesamte Abfluss in die Restwasserstrecke gelangt, ist die Hochwasserdynamik in den meisten Restwasserabschnitten intakt. Zusätzlich wird die Dynamik noch durch die steile Topographie und die häufigen Starkregenereignisse im Oberhasli unterstützt.



Bild 3: Geschiebedotierung 2009. Links: Laster bringt Geschiebe unterhalb des heutigen Geschiebesammlers ein, rechts: Mit Geschiebe dotierte Sohle des Gadmerwassers direkt unterhalb des Geschiebesammlers – bereits einen Monat später hat ein kleineres Hochwasser das deponierte Material vollständig abgetragen.

Fig. 3: Dotation de charriage 2009. À gauche: un camion apporte des sédiments en aval du dépotoir à alluvions. À droite: lit de la Gadmerwasser avec sédiments directement en aval dépotoir à alluvions – un mois plus tard une petite crue a complètement éliminé le matériel déposé.

2.2.3 Hydraulische Habitate

Da die von der KWO genutzten Fliessgewässer fast ausschliesslich in einer natürlich bis naturnahen Morphologie verlaufen, hängt die Habitatvielfalt hauptsächlich von der Restwasserführung ab. Bei den 1994 und 2008 durchgeführten Dotierversuchen wurden sowohl landschaftliche Kriterien (Kap. 2.4) untersucht als auch benetzte Breite, mittlere und maximale Fliessgeschwindigkeit und Wassertiefe in Abhängigkeit von der Dotierwassermenge aufgenommen. Dies bildet eine wichtige Grundlage bei der Diskussion der festzulegenden Dotierwassermengen im Rahmen der Gewässersanierung und der geplanten Ausbauten. Neben der Habitatvielfalt wurde dabei der Fokus auf maximale Tiefen (Durchgängigkeit für Fische) und Geschwindigkeiten (für strömungsliebende Wirbellose, z.B. Lidmücken) gelegt.

Im Rahmen des von der KWO mitfinanzierten Forschungsprojekts «Nachhaltige Nutzung der Wasserkraft – innovative Massnahmen zur Reduzierung der Schwall/Sunk-Problematik» wurde zudem die Schwallstrecke an mehreren Abschnitten per Boot vermessen. Die gewonnenen Daten dienen der Erstellung eines detaillierten hydraulischen Modells, das die Verteilung von Fliessgeschwindigkeit und Abflusstiefe in Abhängigkeit des Abflusses generiert.

Diese Modellaussagen geben wichtige Erkenntnisse für die Wanderungsbedingungen der Seeforellen. Erste hydraulische Voruntersuchungen und Modellierungen wurden bereits 2007 durchgeführt (Herzog 2007).

Ausserdem wurde 2008 im Urbachtal eine Verrohrungskartierung durchgeführt, die mögliche Aufwertungsmassnahmen im Rahmen einer Schutz- und Nutzungsplanung aufzeigen konnte (Meyer & Heuberger 2008b).

2.3 Biologische Untersuchungen und Ergebnisse

Für eine gewässerökologische Gesamtbeurteilung sind neben den hydraulischen und hydrologischen Aspekten vor allem die biologischen Gesichtspunkte aussagekräftig. Neben Aussagen zu Fischen, Wirbellosen, Wasserpflanzen und Auen spielen zudem die Vernetzung (longitudinal, lateral und vertikal), die Dynamik und die verschiedenen ökologischen Funktionen eine sehr entscheidende Rolle.

Die KWO hat sowohl in den Restwasserstrecken als auch in der Schwallstrecke umfangreiche biologische Untersuchungen durchführen lassen, die z.T. überraschende Ergebnisse aufzeigen.

2.3.1 Fische

In der Restwasserstrecke oberhalb der Wasserrückgabe wurden mittels Elek-

trobefischung die Abundanz, die Biomasse und die Artenvielfalt der Fischfauna aufgenommen (Haas & Peter 2009). Neben den heimischen Arten Groppe, Äsche, Trüsche, Egli, Felchen, Bach- und Seeforelle (während der Laichzeit) kommen in den oberhasler Gewässern auch standortfremde Bach- und Seesaiblinge, Regenbogenforellen und kanadische Seeforellen vor (WFN 2000). Das Vorkommen der Fische ist in vielen Flussabschnitten und Seen auf künstlichen Besatz zurückzuführen. Aus ökologischer Sicht ist vor allem die Frage nach einer erfolgreichen Reproduktion entscheidend, bei der die natürliche Verlaichung funktionieren und verschiedene Habitate für alle Lebensstadien der Fische vorhanden sein müssen (zum Aspekt Durchgängigkeit siehe Kap. 2.3.4). Das Umweltbüro Büsser führte an ausgewählten Laichgruben im Herbst 2009 Kartierungen und im Frühling 2010 Probenahmen durch, die eine erfolgreiche Reproduktion von Bachforellen nachweisen (Büsser 2010) – damit konnte der Fischereiverein Oberhasli neue Erkenntnisse hinsichtlich des Schlupfzeitpunkts gewinnen. Auch in der Aare auf rund 1600 m ü.M. ist bereits 1 km unterhalb des Räterichsbodensees die intakte Fortpflanzung von Bachforellen dokumentiert. Um dies auch weiterhin zu gewährleisten, ist eine Dotierung unterhalb des Stausees mit klarem

Wasser während der Wintermonate zu bevorzugen (bei einer winterlichen Dotierung mit trübem Seewasser wird eine verstärkte Kolmatierung der Flusssohle erwartet, die die Frischwasserzufuhr der Fischeier gefährden würde). Innerhalb des KTI-Forschungsprojekts wird von der Eawag der Einfluss von Morphologie und künstlichen Pegelschwankungen auf die Fischfauna, unter besonderer Berücksichtigung der Seeforelle, untersucht. Die auf der roten Liste als stark gefährdet geführte Art (BAFU 2007) wandert ab September vom Brienersee in die Gewässer des Oberhasli auf, um dort zu verlaichen (Meyer 2010). Während den ersten Lebensjahren steigen die juvenilen Seeforellen dann in den Brienersee ab (Bagliniere & Maisse 1991), wo sie im Lauf von etwa 7 Jahren Grössen von bis zu knapp 1 m erreichen können (Schulz 1995, Abb. 4). Fangstatistiken der Laichfänge des hiesigen Fischereivereins (AquaTerra 2007) und Untersuchungen in diesem Forschungsprojekt zeigen, dass die Aufwanderung der Seeforellen trotz ungünstiger Morphologie und künstlichen Pegelschwankungen funktioniert. Es wird vermutet, dass die Fische während geringer Wasserführung (Sunkphase) verstärkt aufwandern

und sich hinter grossen Blöcken und vor allem in seitlichen Zuflüssen ausruhen (AquaTerra 2007). Voruntersuchungen mit semiquantitativer Elektrofischung haben in der Schwallstrecke der Aare neben Groppen, Bachsaiblingen, Bach- und Seeforellen auch noch die Trüsche nachgewiesen (Haas & Peter 2009). Auffallend ist die deutliche Zunahme von Abundanz und Biomasse der Fische im Bereich der Einmündungen von Seitenbächen (Haas & Peter 2009). Eine Diplomarbeit des o.g. Forschungsprojekts hat sich mit verschiedenen konkreten Verbesserungsmöglichkeiten für die bedrohte Seeforelle im Oberhasli auseinandergesetzt und mögliche Aufwertungsmassnahmen untersucht (Meyer 2010). Ausserdem wird an der FH Fribourg in Labor- und Feldversuchen eine optimale Geometrie für die Auffindung von Uferausbuchtungen (zum Ausruhen der Fische während höheren Abflüssen) erforscht (Ribi et al. 2010a und 2010b). Neben dem geplanten Beruhigungsbecken in Innertkirchen (Schweizer et al 2008 und Kap. 2.1) und einer möglichen morphologischen Aufwertung der Kanalstrecke scheint vor allem die bessere Anbindung und teilweise Renaturierung der seitlichen Zuflüsse in die Aare die effektivsten realisierbaren Massnah-

men für die Förderung der Seeforelle im Oberhasli zu sein (Meyer 2010). Aufgrund der Morphologie des Gerinnes ist ein Stranden von Fischen bisher nicht beobachtet worden (Zumbrunn 2010 mdl.).

Die KWO unterhält eine partnerschaftliche Beziehung zum Fischereiverein Oberhasli. So werden regelmässig die Gewässer gemeinsam begangen und mögliche Ausgleichsmassnahmen und Dotierungen im Rahmen der Gewässersanierung und der Ausbauvorhaben von KWOplus diskutiert. Zudem wurde der Neubau der Brutanstalt in Meiringen finanziell von der KWO unterstützt. Damit wird ermöglicht, dass sowohl Hasliaare als auch Urbachwasser mit autochthonen Seeforellen besetzt werden können.

2.3.2 Wirbellose und Wasserpflanzen (Benthos)

Zusätzlich zur Fischfauna spielen auch die Wirbellosen und die Wasserpflanzen bei der Beurteilung der gewässerökologischen Situation eine sehr wichtige Rolle. Sie bilden die untersten Ebenen der Nahrungspyramide, sind verantwortlich für den Abbau von organischem Material und somit für die Selbstreinigung der Gewässer. Für eine



Bild 4: Links: Abstreifen eines Seeforellenweibchens in der Brutanstalt Meiringen zur künstlichen Aufzucht von Seeforellen, rechts: Wiedereinsetzen der Seeforelle in die Aare.

Fig. 4: À gauche: essuyage d'une truite femelle dans le couvoir de Meiringen pour l'élevage artificiel de la truite d'eau douce, à droite: restitution de la truite dans l'Aar.

genaue Beurteilung werden Artenvielfalt, Biomassen, Abundanzen und Bewuchsdichten bestimmt. Die von den Büros Limnex AG und AquaTerra durchgeführten Untersuchungen umfassen im Einzugsgebiet der KWO rund 60 Stellen mit bis zu vier Probenahmen pro Stelle. Dabei führten die schon vollständig ausgewerteten Erhebungen in der Restwasserstrecke und der Schwallstrecke der Hasliaare zu teilweise überraschenden Ergebnissen (AquaTerra 2007; Limnex 2008, 2009, 2010).

Um den Einfluss von trübem Wasser auf die Lebensgemeinschaft der wirbellosen Organismen (Benthos) abschätzen zu können, wurden biologische Proben in der Restwasserstrecke der Aare unterhalb des Räterichsbodensees entnommen (vgl. 2.3.1). Als Referenzstrecke wurde dazu auf dieselbe Weise und zu vergleichbaren Zeiten die ungenutzte und daher während der Schnee- und Gletscherschmelze sehr trübe Weisse Lütchine untersucht. Die wegen der Wasserkraftnutzung ganzjährig recht klare Aare zeigte dabei im Sommer eine etwa fünffach höhere Häufigkeit und Biomasse sowie eine rund doppelt so grosse Artenvielfalt an wirbellosen Sohlenbewohnern (Makroinvertebraten). Natürlicherweise, d.h. ohne den Entzug des kalten und trüben Gletschewassers durch die KWO, wäre im Sommer auch die Aare viel unproduktiver als heute. Im Winter herrschen zwischen den beiden Gewässern demgegenüber viel ausgeglichene Verhältnisse. Bei genauerer Betrachtung erwies sich die Anzahl an extrem strömungsbedürftigen Organismen in der Restwasserstrecke der Aare gegenüber der Weissen Lütchine reduziert, und in zwei der am meisten auf hohe Fließgeschwindigkeiten angewiesenen Invertebraten-Gruppen wurde eine veränderte Artenzusammensetzung festgestellt (Linxex 2008). Bei den Probenahmen wurde an verschiedenen Stellen in der Restwasserstrecke der Aare auch die sehr seltene fädige Rotalge *Paralemanea torulosa* festgestellt (Abb. 6). Es handelt sich dabei um den ersten Nachweis dieser Art für die Schweiz, weshalb die Bestimmung durch ausgewiesene Spezialisten für die Rotalgen durchgeführt und

abgesichert wurde. Neben *Paralemanea torulosa* wurde in der Aare zudem auch die verwandte, aber häufigere Art *Lemanea fluviatilis* gefunden. Deren Häufigkeit geht nach Pfister (2003) in Restwasserstrecken meistens stark zurück, ausser wenn diese ein wasserreiches Resteinzugsgebiet und eine entsprechend «ausreichende natürliche Dotierung» aufweisen. In der Restwasserstrecke der Hasliaare werden diese Bedingungen offenbar schon heute erfüllt (Linxex 2010).

Eine Dotierung der Aare mit trübem Wasser aus dem Räterichsbodensee hätte zweifellos auch Auswirkungen auf den Algenbewuchs und könnte die festgestellten Rotalgen im schlechteren Fall zum Verschwinden bringen.

Auch die gewässerökologischen Verhältnisse in der Schwallstrecke der Hasliaare wurden eingehend untersucht. Neben den Driftmessungen (Kap. 2.1) wurden in den morphologisch unterschiedlichen Abschnitten Benthosproben genommen (Linxex 2009, 2010). Dabei wurden selbst in der kanalisierten Strecke 35 taxonomische Einheiten (Arten) von Makroinvertebraten unterschieden, was trotz der klaren Defizite in Struktur und Hydrologie auf eine vergleichsweise hohe Artenvielfalt hinweist. In der morphologisch vielfältigeren Kiesbankstrecke waren bei der angewandten Bestimmungstiefe sogar 45 verschiedene Taxa vertreten (Abb. 5). Im Gegensatz dazu blieb die Abundanz (Häufigkeit) und die Biomasse der Wirbellosen in allen unter-

suchten Abschnitten der Schwallstrecke gering, und die Biomasse lag überall z.T. deutlich unter den Sollwerten (z.B. nach Dückelmann 2001) für natürliche Gewässer. Dass sich der Schwallbetrieb aus Wasserkraftwerken in erster Linie auf die Quantität, aber weniger auf die Qualität des Makrozoobenthos auswirkt, entspricht auch den Erfahrungen aus anderen Schwallstrecken (Baumann & Klaus 2003).

Im September 2009 wurden ausserdem gewässerökologische Untersuchungen im Engstlensee durchgeführt. Dieses auch «als der schönste schweizerische Bergsee» bekannte Gewässer wird von der KWO seit 1962 bewirtschaftet. Aus verschiedenen Seetiefen wurden Proben der wirbellosen Fauna entnommen. Darin waren u.a. eine seltene und nur wenige mm grosse Erbsenmuschelart (*Pisidium conventus*) vertreten. Diese Art ist nur von wenigen Standorten bekannt, darunter Brienzer- und Thunersee sowie in hochgelegenen Seen des Engadins (Turner et al 1998). Im Engstlensee waren die Pisidien schon 1960, also kurz vor Beginn der Bewirtschaftung des Sees über die gesamte Seetiefe vertreten (Grimas & Nilsson 1962). Neben den Erbsenmuscheln besteht das Makrozoobenthos im See hauptsächlich aus Würmern und Larven von Zuckmücken, die beide 2009 ähnliche Häufigkeiten wie 1960 aufwiesen.

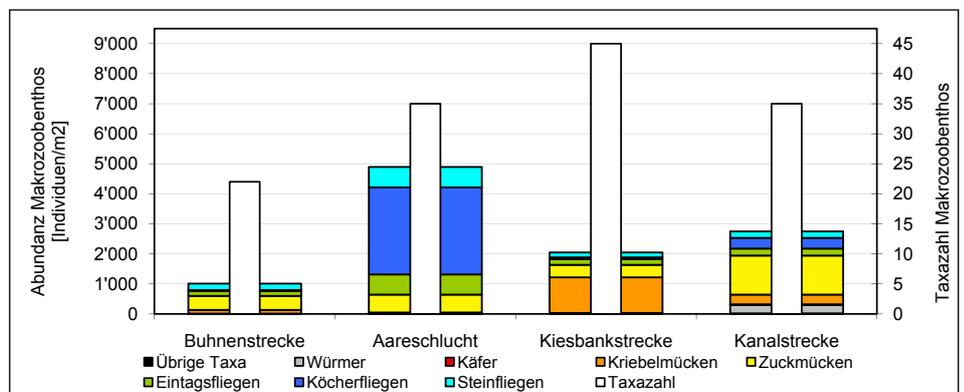


Bild 5: Artenvielfalt (Taxazahl), Abundanzen und Biomassen der Wirbellosen in der Schwallstrecke. Die Probenahmen wurden im März 2008 und März 2010 von der Firma Limnex AG durchgeführt und anschliessend ausgewertet (Linxex 2008).
 Fig. 5: Biodiversité (nombre de taxons), abondances et biomasses des invertébrés dans le tronçon à éclusée. Les échantillons ont été effectués en mars 2008 et mars 2010 par l'entreprise Limnex AG et analysé ultérieurement (Linxex 2008).



Bild 6: Die Rotalge *Paralemanea torulosa* (Foto Peter Baumann, Limnex AG).
 Fig. 6: L'algue rouge *Paralemanea torulosa* (photo Peter Baumann, Limnex AG).

2.3.3 Auen, Vernetzung der Gewässer, Durchgängigkeit und Funktionalität von Gewässern

Auen werden von regelmässigen Überflutungen geformt und geprägt. Sie können mit zunehmender Entfernung zum Fließgewässer grob in Pionierstandorte, Weich- und Hartholzaue unterteilt werden. Aufgrund landwirtschaftlicher Nutzungen im Gewässerraum, der Nutzung der Wasserkraft sowie Gewässerverbauungen (z.B. Schildkröten, Schwellen) und Geschieberückhalt fehlt vielerorts die natürliche Abfolge der Auen im Oberhasli.

Im Auftrag der KWO wurde von der Auenberatungsstelle in Yverdon die Aue Obermad nach der Multikriterien-Analyse (offizielle Methode vom BAFU zur Beurteilung von Auen, Paccaud et al. 2009, Thielen et al. 2002) bewertet und in Zusammenarbeit mit dem Büro Hunziker & Zarn verschiedene Fluss- und Auenrevitalisierungen als Aus-

gleichmassnahmen für KWOplus auf Stufe Vorprojekt ausgearbeitet (Service Conseil Zones Alluviales 2010). Aktuell erfolgen weitere vertiefte ökologische und hochwasserrelevante Abklärungen sowie Verhandlungen mit den Landeigentümern.

Wie in Kap. 2.2.2 bereits erwähnt, untersucht die Eawag die strukturelle Zusammensetzung und ökologische Funktionalität in Verbindung mit der hydrologischen Dynamik in der Aue Sandey (Bodmer et al 2010, Döring 2010). Hieraus wurde ein weiteres Eawag Forschungsprojekt entwickelt, das sich der vertikalen hydrologischen Vernetzung der Aue (z.B. Austausch von Oberflächen- und Grundwasser, Fließwege im Untergrund) und der Grundwasserfauna widmet, um die oben genannten Aspekte in der vertikalen Dimension zu erweitern. Beiden Projekten sind momentan zwei Diplomarbeiten und drei Praktika angeschlossen.

Im Jahr 2008 wurden in ausgewählten Abschnitten des Urbachwassers, der Aare und des Gentalwassers sämtliche künstlichen und natürlichen Abstürze kartiert, um die Durchgängigkeit in den Gewässern zu untersuchen (Meyer et al. 2008a). Aufgrund der Topographie treten sehr viele natürliche Abstürze auf, allerdings finden sich an einigen Stellen auch künstliche Barrieren, die teilweise längere Gewässerabschnitte voneinander trennen oder für Fische nur flussabwärts zu überwinden sind. Die KWO hat bereits in den 1990er Jahren mit einer Blockrampe freiwillig eine künstliche Schwelle im Gadmerwasser fisch- und wirbellosengängig gemacht. Weitere Blockrampen und ein Fischpass sind jeweils bei künstlichen Barrieren im Rahmen der Gewässersanierung und der Ausbauprojekte von KWOplus geplant (Kap. 4).

2.4 Landschaftliche Untersuchungen und Ergebnisse

Aufgrund der touristischen Bedeutung des Grimselgebiets aber auch wegen klarer Bestimmungen im GSchG bzgl. Neuregelung der Konzessionsbedingungen wurden von den Büros B+S und Sigmaplan zudem an sämtlichen Restwasserstrecken landschaftliche Erhebungen durchgeführt (B+S 2009, Sigmaplan 2010b und 2010c). Bei den wichtigsten Talgewässern konnten im Rahmen der Dotierversuche 1994 und 2008 mit akustischen Messungen (Rauschen) sowie mit einer umfangreichen Fotodokumentation die landschaftliche Wirkung in Abhängigkeit der Abflussmenge abgeschätzt werden.

Auf diese Weise wurde versucht, möglichst sachliche Argumente für eine Einschätzung der landschaftlichen Wirkung des Abflusses heranziehen zu können. Allerdings ist die landschaftliche Wirkung immer mit einer gewissen Subjektivität verbunden.

Beispielsweise hat die Fotodokumentation der Dotierversuche bei der Bestimmung der Restwassermenge für den landschaftlich bedeutsamen Handeggfall die Entscheidungsfindung sachlich unterstützt (Abb. 7). Die Fotodokumentation der Dotierversuche zeigt, dass wegen eines Einschnitts beim Überfall

die benetzte Breite des Handeckfalls bei einer Dotation von 500 l/s sich nicht sehr vergrössert. Bei der Frage, inwieweit diese Dotierung einen grösseren optischen Zugewinn mit sich bringt, gehen die Meinungen der Beteiligten auseinander.

2.5 Pumpspeicherung und Trübung in KWO-Stauseen und Brienersee

Im Rahmen des Forschungsprojekts «HydroNET» werden von der Eawag und der EPFL seit 2008 Trübstoff-, Wassertemperatur- und Sedimentmessungen im Oberaarsee und im Grimsensee sowie im Ein- und Auslauf der Zentralen durchgeführt. Ausserdem werden Wassertiefen und tiefenabhängige Fließgeschwindigkeiten erhoben, um daraus ein 2-dimensionales Strömungsmodell zu entwickeln. Die bisher durchgeführten Analysen zeigen, dass die Pumpspeicherung zwar einen Einfluss auf die Strömungsbedingungen vor der Fassung im Grimsensee, jedoch keinen Einfluss auf die Korngrößenverteilung der Trübstoffe des Seewassers hat (Bonalumi et al. 2010, Müller & Schleiss 2009, Müller et al. 2010).

Bereits 2006 konnte in einem Expertengremium von Eawag, Fischereinspektorat und Bernerischem Fischereiverband festgestellt werden, dass die Wassernutzung der KWO (Änderung des Abfluss- und Trüberegimes der Aare) keinen signifikanten Einfluss auf die Felchenpopulation im Brienersee hat (Finger 2006). Deren abnehmende Grösse und Gesamtbioasse ist fast ausschliesslich auf die reduzierte Nährstoffzufuhr, hauptsächlich infolge des Betriebs von Abwasserreinigungsanlagen, zurückzuführen (BVE 2006). Der BKFV hat seinerzeit in einer Medienmitteilung gefordert, dass geprüft werden sollte, inwieweit die im Grimsensee durch Sedimentation zurückgehaltenen Nährstoffe anderweitig dem Brienersee zugeführt werden könnten. Im oben genannten Expertengremium konnte allerdings nachgewiesen werden, dass der Nährstoffeintrag auch heute noch über dem ursprünglichen Wert liegt (BVE 2006). Weitergehende Studien haben gezeigt, dass eine Vergrösserung des Grimsel-



Bild 7: Handeckfall – oben: ohne zusätzliche Dotierung vom Räterichsbodensee, unten: mit Dotierung (500 l/s) von trübem Wasser aus dem Räterichsbodensee (Herbst 2008).

Fig. 7: Handeck – ci-dessus: sans dotation supplémentaire du Räterichsbodensee, ci-dessous: avec dotation (500 l / s) d'eau venant du Räterichsbodensee (automne 2008).

sees nur geringfügige Auswirkungen auf das Ökosystem des Brienersees haben dürfte (Limnex 2006, Finger 2007).

3. Von der KWO mitentwickelte Bewertungssysteme

3.1 Bewertung aller Restwasserstrecken und der Schwallstrecke mit SNP-Bewertungsmethode

Das Verwaltungsgericht des Kantons Bern hat in einem vom Bundesgericht

bestätigten Urteil aus dem Jahr 2008 entschieden, dass die Erhöhung der Staumauern des Grimselsees um 23 m eine Anpassung und Ergänzung der Gesamtkonzession der KWO erfordert. Daraufhin hat sich die KWO entschieden, in diesem Zusammenhang eine Schutz- und Nutzungsplanung (SNP) nach Art. 32c (GSchG) auszuarbeiten. Da bei einer solchen Planung Dotierwassermengen mit verschiedenen gewässerökologischen Aufwertungsmassnahmen (z.B. Auen- und Flussrevitalisierungen, Blockrampen, Ausdolungen, Nutzungsverzichte) gegeneinander aufgewogen werden müssen, bedarf es einer ökologisch nachvollziehbaren, transparenten und praktikablen Bewertungsmethode. Die vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) für eine SNP empfohlene Methode von Ernst Basler und Partner (Basler & Partner 2005) wurde eher für kleinere Gebiete mit wenigen zu bewertenden Flussabschnitten entwickelt. Allerdings ist der für die SNP KWOplus bestimmte Perimeter mit rund 500 km² (inklusive Aareboden zwischen Meiringen und Brienersee, Abb. 1) wesentlich grösser als alle bisher in der Schweiz behandelten SNP-Perimeter. Insgesamt enthält der SNP-Perimeter von KWOplus 62 zu bewertende homogene Flussabschnitte. Deshalb ist die vom BAFU empfohlene Bewertungsmethode hier nicht praktikabel und bedarf einer Anpassung. In enger Zusammenarbeit mit dem Büro Sigmaplan wurde auf die spezifischen Bedingungen im Oberhasli eingegangen und es wurden nur deutlich sensitive Indikatoren verwendet (Sigmaplan 2010d). Mit insgesamt sechs Indikatoren und elf Unterindikatoren (Tab. 1a) konnte die offizielle BAFU-Methode an die Situation im Oberhasli angepasst werden. Zur Gewichtung der einzelnen Abschnitte wurden insgesamt vier Aspekte berücksichtigt (Tab. 1b). Die einzelnen Indikatoren, Unterindikatoren und Abschnittsgewichtungen wurden ausführlich im Rahmen des Begleitprozesses mit folgenden kantonalen Ämtern diskutiert und gemeinsam wurden die einzelnen Gewichtungsfaktoren festgelegt: Amt für Wasser und Abfall (AWA), Abteilung für Naturförderung (ANF), Fischereinspektorat (FI), Obergeringenieur-

kreis 1 (OIK), Amt für Gemeinden und Raumordnung (AGR) und das Gewässer- und Bodenschutzlabor (GBL). Das BAFO wurde regelmässig über den Stand der Diskussionen unterrichtet. Dadurch konnte eine absolut transparente, nachvollziehbare, umfassende und praktikable Bewertungsmethode entwickelt werden, die es erlaubt, Mehrnutzungen (Abgabe von geringeren Dotierwassermengen als diejenigen, die bei einer Neukonzessionierung ohne SNP nötig wären) mit verschiedenen Ausgleichsmassnahmen (z.B. Fluss- und Auenrevitalisierungen, Erhöhung der Dotierwassermenge an einer anderen Fassung, Fischpässe) anhand von sog. Ökopunkten so weit möglich objektiv vergleichen zu können (Sigmaplan 2010d).

Diese Bewertungsmethode eignet sich prinzipiell für jede Schutz- und Nutzungsplanung nach GSchG, aber auch für die Ausarbeitung von Strategien zur Wasserkraftnutzung auf kantonaler oder auf Bundesebene. Allerdings bedarf es in jedem neuen Anwendungsfall bestimmter Anpassungen und Ergänzungen. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass bei Verhandlungen vor allem der frühzeitige Einbezug aller Beteiligten und die Klärung aller gewässerökologisch relevanten Fragen meist ausschlaggebend sind. Und letztlich muss das sog. «Bauchgefühl» aller Beteiligten stimmen, dass die verhandelten Ausgleichsmassnahmen auch die Mehrnutzung mehr als kompensieren können.

3.2 Bewertung Schwall/Sunk

Die Thematik Schwall/Sunk ist für die KWO nicht nur wegen dem geplanten Beruhigungsbecken in Innertkirchen (UVP-Ausgleichsmassnahme für «Tandem», vgl. Kap. 1, Schweizer et al. 2008) sondern auch wegen der bevorstehenden Änderung des GSchG von zentraler und aktueller Bedeutung. Da das Schwall/Sunk-Verhältnis nicht auf die spezifischen Eigenschaften (z.B. Lebensgemeinschaften, Morphologie und weitere) in einer Schwallstrecke eingeht, ist es als alleiniges Bewertungskriterium ökologisch gesehen nicht aussagekräftig (Schweizer et al. 2009). Aus den Erfahrungen bei den in der Aare durchgeführten Driftversuchen (Kap. 2.1) sowie

Indikator	Unterindikator	Gewichtungsfaktor
1 Restwasser		20%
2 Hochwasserdynamik & Geschiebe	2a Abflusssdynamik & Fassungstyp	5%
	2b Uferverbauung	5%
3 Ökomorphologie		10%
4 Auen	4a Länge der Aue	5%
	4b Breite der Aue	10%
5 Habitats	5a Durchgängigkeit	5%
	5b Maximale Tiefe	10%
	5c Benetzte Breite	5%
	5d Maximale Fließgeschwindigkeit	5%
6 Landschaft	6a Gewässervielfalt	10%
	6b Eigenart	5%
	6c Ursprünglichkeit	5%

Tabelle 1a: Für die SNP KWOplus verwendeten und mit den involvierten Fachstellen abgestimmten Indikatoren und Unterindikatoren sowie deren Gewichtungen für die Gesamtbewertung (Sigmaplan 2010d)
 Tab. 1a: Indicateurs et sous-indicateurs convenus utilisés pour le SNP KWO plus, ainsi que leurs pondérations pour l'évaluation générale, coordonnés avec les spécialistes impliqués (Sigmaplan 2010d).

Abschnittsgewichtung nach	Gewichtung
Abschnittslänge	30%
Mittlerer Abfluss des Abschnitts	30%
Ökologische Bedeutung des Abschnitts	30%
Landschaftliche Bedeutung des Abschnitts	10%

Tabelle 1b: Für die SNP KWOplus verwendeten und mit den Fachstellen abgestimmten Abschnittsgewichtungen (Sigmaplan 2010d)
 Tab. 1b: Pondération des tronçons utilisés pour le SNP KWO plus, coordonnés avec les spécialistes impliqués (Sigmaplan 2010d).

in Diskussion mit verschiedenen Experten der Eawag und der Limnex AG konnte ein Bewertungsmodell entwickelt werden, das sich allein an den in Schwallstrecken möglichen ökologischen Defiziten orientiert und ausschliesslich auf leicht bestimm- und messbaren hydraulischen und hydrologischen Kenngrössen basiert (Schweizer et al. 2009). Die in dieser Bewertungsmethode abgeleiteten Erkenntnisse sollen bei der Planung und bei der künftigen Steuerung des Beruhigungsbeckens berücksichtigt werden. Verschiedene Kraftwerksbetreiber haben bereits ihr Interesse an diesen gewonnenen Erkenntnissen für eine praktikable und ökologisch nachvollziehbare Bewertungsmethode gezeigt, um diese mit noch einigen offenen Fragen be-

haftete Thematik sachlich und proaktiv angehen zu können.

4. Partizipation der Ämter, Umweltschutzverbände und politischen Vertreter

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, gibt es an der Grimsel eine sehr lange Vorgeschichte, weshalb sämtliche Ausbauvorhaben der KWO äusserst kritisch verfolgt werden. Um aber trotzdem dem gesellschaftlichen Auftrag für einen Ausbau der regenerativen Energien gerecht werden zu können, hat sich die KWO entschlossen, alle ökologisch relevanten Fragen sachlich und transparent anzugehen, um proaktiv Lösungen zu finden. Seit Juli 2009 wird im Rahmen des Begleitprozesses (Kap. 1) ein sehr enger

Kontakt mit allen betroffenen Fachstellen, mit den politischen Vertretern und den Gemeinden sowie mit allen interessierten Umweltschutzverbänden gepflegt. So haben alle Beteiligten jederzeit Einsicht in sämtliche Untersuchungsergebnisse und werden bei jedem einzelnen Schritt (von der Defiziterhebung über die Diskussion von Lösungsansätzen bis zur endgültigen Planung und Bewertung aller Massnahmen) involviert. Der Einbezug aller Beteiligten garantiert eine möglichst hohe Qualität der Ausgleichsmassnahmen.

In direkten Verhandlungen mit Pro Natura, dem Bernerischen Fischerei Verband und dem Grimselverein werden seit einem guten Jahr alle ökologisch relevanten Fragen bezüglich der Ausbauprojekte «Tandem» und «Grimsel 3» sowie der Gewässersanierung ausführlich diskutiert. In diesem Ausschuss werden in einer konstruktiven Art und Weise gemeinsam Lösungen erörtert und verhandelt. Die in den vorigen Kapiteln beschriebenen gewässerökologischen Untersuchungen bieten bei den Diskussionen und Verhandlungen die entscheidende Basis für:

- Transparenz
- sachliche Diskussionen
- angenehmes Verhandlungsklima
- Einigung bei verschiedenen Grundsatzfragen
- das Erkennen und Bewerten der ökologischen Defizite
- die mit allen Beteiligten gemeinsame Entwicklung und Bewertung von Ausgleichsmassnahmen

Bei den gewässerökologischen Ausgleichsmassnahmen handelt es sich um Restwasserdotierungen, Nutzungsverzichte, Auen- und Flussrevitalisierungen, Massnahmen zur Verbesserung der Durchgängigkeit, landschaftliche Massnahmen, Verbesserungen des Geschiebehaushalts, Ausdolungen und einem Beruhigungsbecken zur Dämpfung der künstlichen Pegelschwankungen (Schweizer et al 2008). Es wird versucht, die einzelnen Massnahmen so aufeinander abzustimmen, dass möglichst viele Synergien erzeugt werden und so das Ganze einen wesentlich grösseren ökologischen Gewinn als die

Summe der einzelnen Massnahmen erreicht. Bei einem Grossteil der Massnahmen ist die Realisierung bereits heute geklärt, bei den übrigen sind die Untersuchungen bereits auf Stufe Vorprojekt, und es finden aktuell konkrete Gespräche mit den Landeigentümern statt.

Ein wichtiges Hilfsmittel bei den konkreten Verhandlungen ist das Einführen von sogenannten ökologischen Qualitätsniveaus, d.h. das z.B. neben einer bestimmten Restwassermenge auch ökologische Zielvorgaben verhandelt werden, die in einem mehrjährigen Monitoring überprüft werden. Bei Nichterreichen der formulierten Ziele können weitergehende Massnahmen gefordert werden (z.B. Erhöhung der Restwassermenge).

5. Diskussion und Ausblick

Die KWO erreicht mit all den in den hier beschriebenen und durchgeführten gewässerökologischen Untersuchungen ein neues, für ein schweizerisches Wasserkraftwerk bisher unerreichtes Niveau an ökologischer Genauigkeit (SigmaPlan 2010a) – dies ist nicht zuletzt auf die Beharrlichkeit der Umweltschutzverbände zurückzuführen. Dass es die KWO mit diesen Untersuchungen auch wirklich ernst meint, zeigen sowohl die enge Zusammenarbeit mit allen betroffenen Fachstellen und Umweltschutzverbänden (Abb. 8) als auch die Summe der Ausgleichsmassnahmen für KWOplus, die in den im September 2010 eingereichten Konzessionsgesuchen aufgeführt sind. Ein in den Verhandlungen wichtiger Vertrauensbeweis ist, dass die KWO sämtliche Untersuchungsberichte sowohl den Ämtern als auch den Umweltschutzorganisationen zugänglich gemacht hat. Ausserdem haben die Umweltschutzverbände gleichzeitig mit den Ämtern sämtliche Konzessionsgesuchsunterlagen für die KWOplus-Ausbauprojekte erhalten. In der Regel und von Gesetzes wegen bekommen die Umweltschutzverbände erst ab der öffentlichen Auflage die Gelegenheit, die Gesuche zu prüfen.

Die Vielzahl der Untersuchungen (Kap. 2) sowie die entwickelte Bewertungsmethode (Kap. 3.1) (SigmaPlan 2010d) und der Einbezug von sog.

ökologischen Qualitätsniveaus (Kap. 4) ermöglichen es, mit allen Beteiligten sachlich zu diskutieren und so einen möglichst ausgewogenen Kompromiss zwischen Nutzen und Schutz der oberhasler Gewässer zu suchen. Damit ist zum ersten Mal seit der letzten konzessionsrelevanten Kraftwerkserweiterung (1980) wieder eine Einigung zwischen den verschiedenen Interessensvertretern für zwei gesellschaftlich sehr bedeutende Ausbauprojekte («Tandem» und «Grimsel 3») an der Grimsel zum Greifen nah.

Mit all den hier beschriebenen Untersuchungen gehört das Oberhasli mittlerweile zu den am besten gewässerökologisch untersuchten Gebieten in der Schweiz. Damit bieten die sehr guten und z.T. sehr detailliert untersuchten Gewässer im Oberhasli eine hervorragende Grundlage für weitere Forschungsprojekte und für das Testen gewässerökologischer Bewertungsmethoden. Derzeit wird darüber diskutiert, ob ein Forschungsprogramm weitergeführt wird und es ist es durchaus wahrscheinlich, dass das ein oder andere neue Forschungsprogramm hinzukommt.

Durch die Zusammenarbeit mit allen betroffenen Fachstellen, allen interessierten Umweltschutzverbänden, mit einer Vielzahl von externen Büros und Experten (Abb. 8) sowie den wichtigsten schweizerischen Forschungsinstituten ist eine aus gewässerökologischer Sicht optimale Planung und Realisierung der Ausgleichsmassnahmen gewährleistet. Auch können die enge Zusammenarbeit und die Beteiligung sämtlicher Interessensgruppen als Vorbild für grössere wasserbauliche Projekte dienen und die in dem Beteiligungsprozess gewonnenen Erfahrungen können so bei anderen Grossprojekten bereits in der Planung mit einfließen.

Abschliessend möchten sich die Autoren bei allen Beteiligten und vor allem bei den ehrenamtlich Tätigen für die aufgewendete Zeit, für den grossen Wissensaustausch und für die konstruktive Haltung bedanken.

6. Danksagung

Ein grosses Dankeschön an folgende Personen, die am Begleitprozess betei-

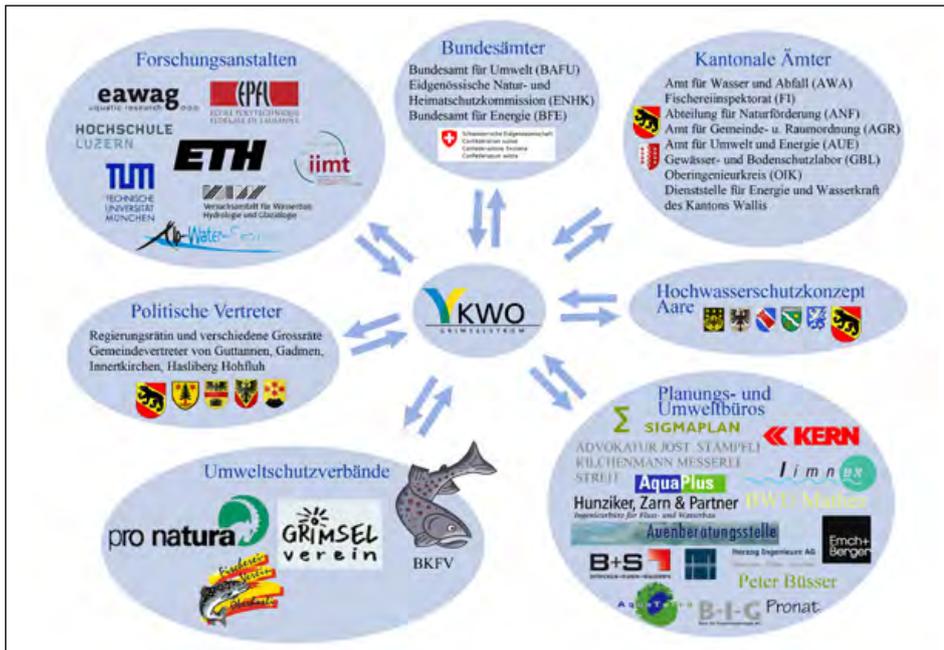


Bild 8: Im Begleitprozess beteiligte Institutionen, Verbände, Büros und Personen. Der politischen Begleitgruppe gehören ausserdem die Organisationen Green Peace, Aqua Viva, WWF, Greinastiftung und Stiftung Landschaftsschutz Schweiz an.

Fig. 8: Institutions, organisations, bureaux et individus impliqués dans le processus de suivi. Les groupes de suivi politique appartiennent également aux organisations Greenpeace, Aquaviva, WWF, Fondation Greina et la Fondation suisse pour la protection du paysage.

ligt sind und/oder das Manuskript kritisch durchgelesen haben.

Peter Baumann (Limnex AG), Marc Baumgartner (BAFU), René Bayer (B+S), Martin Bieri (EPFL), Dr. Peter Büsser (Umweltbüro Büsser), Dr. Michael Döhning (Eawag), Matteo Bonalumi (Eawag), Dr. David Finger (Eawag, jetzt Infras), Daniel Fischlin (KWO), Martin Flück (FI), Urs Eichenberger (Grimselverein/Metron), Beat Gilgen (Kern), Dr. Markus Graf (ANF), Heinz Habegger (AWA), Reto Haas (Eawag, jetzt Grunter), Nils Hählen (OIK), Beatrice Herzog (Herzog Ingenieure), Simon Jenni (Advokatur Jost Stämpfli Kilchenmann Messerli Streit), Heinz Kasper (Emch + Berger), Manfred Kummer (BAFU), Dr. Verena Lubini (AquaTerra), Catherine Mathez (BWU), Claude Meier (AquaTerra), Dr. Markus Meyer (BKFV), Michael Müller (EPFL), Willy Müller (FI), Dr. Andreas Niedermayr (Hunziker, Zarn & Partner), Dr. Johann Neuner (KWO, jetzt Tiwag), Lea Odermatt (BIG), Bernard Oppeliger (AWA), Emilie Person (Eawag), Dr. Armin Peter (Eawag), Dr. Martin Pfändler (BAFU), Wilhelm Regez (KWO), Jean-Marc Ribí (FH Fribourg), Dr. Chris-

topher Robinson (Eawag), Dr. Christian Roulier (Auenberatungsstelle), Dr. Anton Schleiss (EPFL), Irène Schmidli (AWA), Dr. Heinz Tscholl (KWO), Dr. Luca Vetterli (Pro Natura), Kurt Wächter (Limnex AG), Thomas Wagner (SigmaPlan), Frank Weber (AGR), Dr. Alfred Johny Wüest (Eawag), Dr. Markus Zeh (GBL), Heiko Zeh Weissmann (SigmaPlan).

7. Literatur

AquaTerra (2007): Umweltverträglichkeitsbericht Kraftwerk Innertkirchen 1, Aufwertung 2te Etappe. Fachbereich Gewässerökologie. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren: Lubini V. & Meier C.).
 BAFU (2007): Rote Liste Fische und Rundmäuler. Rote Liste der gefährdeten Arten der Schweiz. Ausgabe 2007, Bundesamt für Umwelt, Bern.
 Bagliniere J.-L. & Maisse G. (1991): Biology and ecology of the brown and sea trout. Chichester: Springer-Verlag.
 Basler E. & Partner (2005): Ausnahmen von den Mindestrestwassermengen im Rahmen einer Schutz- und Nutzungsplanung (Art. 32 Bst. c GSchG). Bericht

des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Baumann P. & Klaus I. (2003): Gewässerökologische Auswirkungen des Schwallbetriebes. Mitteilungen zur Fischerei Nr. 75, herausgegeben vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Bieri, M. & Schleiss, A.J. (2009): Innovative Massnahmen zur Reduzierung negativer Einflüsse von komplexen Wasserkraftanlagen auf Flusssysteme. 11. Treffen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Wasserbauinstituten, 26.–29. August 2009, Lausanne, Schweiz, Seiten 115-120, ISSN 1661-1179.

Bieri, M., Schleiss, A., Frankhauser, A. (2010): Modelling and simulation of floods in alpine catchments equipped with complex hydropower schemes. River Flow: 1421–1428, Braunschweig, Deutschland, 8.–10. September 2010.

BIG (2009): Abfluss Engstlensee: Tracerversuche und Abflussmessungen. Hydrogeologischer Bericht Nr. 08088. Bericht im Auftrag der KWO (Autorin Odermatt L.).

Bodmer P., Döring M., von Fumetti S., Robinson C.T. und Nagel P. (2010): Habitat Heterogeneity, Respiration and Microbial Dynamics: The Alpine Sandey Floodplain in the Urbachtal. Latsis Symposium 2010, Lausanne.

Bonalumi M., Anselmetti F.S., Kaegi R. und Wüest A. (2010): Particle dynamics in high-Alpine proglacial reservoirs modified by pump-storage operation. Eingereicht bei Water Resources Research.

B+S (2009): Dotierversuche im Einzugsgebiet der KWO. Ermittlung und Beurteilung der landschaftsästhetischen Auswirkungen. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Bayer R).

Büsser P. (2010): Naturverlaidung der Bachforellen in Stein- und Triftwasser. Untersuchungen zur Ei-Entwicklung in Winter und Frühjahr 2009/2010. Bericht im Auftrag der KWO.

BVE (2006): Brienzersee: Ein Ökosystem unter der Lupe. Resultate des Forschungsprojekts zum Rückgang des

Planktons und der Felchenerträge. Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern.

BWU Mathez (2009a): Abflussüberwachung bei verschiedenen KWO-Fassungen im Winterhalbjahr 2008/2009. Bericht im Auftrag der KWO (Autorin Mathez C.).

BWU Mathez (2009b): Versickerungsmessungen beim Teuflaubach und Henglibach im Gental vom 11.9.2009. Bericht im Auftrag der KWO (Autorin Mathez C.).

BWU Mathez (2010): Abflussüberwachung bei verschiedenen KWO-Fassungen im Winterhalbjahr 2009/2010. Bericht im Auftrag der KWO (Autorin Mathez C.).

Döring (2010): Landscape transformation of an Alpine Floodplain influenced by water abstraction: Historical analysis from aerial images. Tagung Alpwater Scarce, Megeve, Frankreich, September 2010.

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

Finger D.C. (2006): Effects of hydro-power operation and oligotrophication on internal processes in Lake Brienz. Diss. ETH No. 16827.

Finger D.C. (2007): Auswirkungen des Grimselsee-Ausbaus auf den Schwebstoffhaushalt und auf die Primärproduktion des Brienzensees. Vorhersage der Veränderungen im Ökosystem Brienzensee anhand von numerischen Modellen. Bericht im Auftrag der KWO.

Grimas U. & Nilsson N.-A. (1962): Nahrungsfauna und Kanadische Seeforelle in Berner Gebirgsseen. Schweiz. Z. Hydrol. 24: 49–75.

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

Herzog (2007): Umweltverträglichkeitsbericht Aufwertung KW Innertkirchen 1, 2. Etappe. Fachbereich Hydraulik der Oberflächengewässer. Bericht im Auftrag der KWO.

Heuberger N. & Schweizer S. (2009): Technischer Bericht: Test der aktuellen Version von HYDMOD-F bezüglich Schwall/Sunk. KWO-Bericht.

Heuberger N. & Schweizer S. (2010): Technischer Bericht: Test der aktuellen Version von HYDMOD-F bezüglich Restwasserbewertung. KWO-Bericht (noch in Bearbeitung).

Hunziker, Zarn & Partner (2007): Geschiebestudie Aare Innertkirchen. Aufarbeitungsproblematik infolge des Murgangs Rotloui in Guttannen. Bericht im Auftrag des Tiefbauamts des Kantons Bern (Autor Schilling M.).

Hunziker, Zarn & Partner (2008): Geschiebetransport Gadmerwasser nach einer Reduktion der Bewirtschaftung des Kiessammlers Obermad. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Niedermayr A.).

Hunziker, Zarn & Partner (2009): Geschiebepflicht Gadmerwasser, Zwischenbericht. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Niedermayr A.).

LCH (2009): Hochwasser 2005. Hydrologisch-hydraulische Simulation unter Berücksichtigung verschiedener Füllgrade der Speicherseen der KWO. EPFL-LCH, Lausanne, Rapport LCH Nr. 13/2009, 18 Seiten. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Bieri M.).

LCH (2010): Abschätzung der dämpfenden Wirkung von grossmassstäblichen Uferauflagen auf Schwall- und Sunkerscheinungen in der Hasliaare. EPFL-LCH, Lausanne, Rapport LCH Nr. 25/2010, 12 Seiten. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Bieri M.).

Limnex (2006): Auswirkungen eines höher gestauten Grimselsees auf das Ökosystem des unterliegenden Brienzensees. Bilanz der Modellrechnungen zu Nährstoff- und Schwebstoffhaushalt sowie zu Lichtklima und Primärproduktion. Weiterführende Schlussfolgerungen zur Entwicklung von Phyto- und Zooplankton sowie von Felchenbestand

und –fang. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Limnex (2008): Restwasserführung in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchungen von Hasliaare und Weisser Lutschine. Beurteilung einer zukünftigen Dotierung. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Limnex (2009): Schwall/Sunk in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchung von Hasliaare und Lutschine. Beurteilung der Schwall-Auswirkungen in je zwei Strecken und Szenarien. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Limnex (2010): Schwall/Sunk in der Hasliaare – Anhang. Resultate von zusätzlichen Feldaufnahmen und Auswertungen sowie Zusammenstellung von Rohdaten als Ergänzung zum Bericht von Limnex (2009). Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Meile, T. (2008): Influence of macro-roughness of walls on steady and unsteady flow in a channel. Communication du Laboratoire de Constructions Hydrauliques n°36, EPFL, Ed. A. Schleiss, Lausanne.

Meyer M., Heuberger N. und Nägeli-Grelík M. (2008a): Absturzkartierung. Aare, Gadmerwasser, Gentalwasser. KWO-Bericht.

Meyer M. & Heuberger N. (2008b): Verrohrungskartierung der Urbachquellen. KWO-Bericht.

Meyer M. (2010): Möglichkeiten der Habitatoptimierung für die Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) im Einzugsgebiet des Brienzensees (Berner Oberland, Schweiz). Diplomarbeit an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe.

Müller, M. & Schleiss, A. (2009): Monitoring und Vorhersage der Sedimentation in Pumpspeicherwerken. 11. Treffen junger Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an Wasserbauinstituten 26.-29. August 2009, Lausanne, Schweiz: 115–120, ISSN 1661-1179.

Müller M., De Cesare G. und Schleiss A. (2010): Influence of pumped storage operation on flow conditions near intake/outlet structures: in situ measure-

ment using ADCP. River Flow 1139–1145, Braunschweig, Deutschland, 8.–10. September 2010, ISBN 978-3-939230-00-7.

Paccaud G., Bonnard L., Gsteiger P. und Roulier C. (2009): Inclusion des zones alluviales reconstituées dans l'inventaire fédéral – Einschliessung der neu entstandenen Auen im Bundes-Inventar – Rapport (Bericht der Auenberatungsstelle). Yverdon-les-Bains. 20 pp.

Pfaundler M., Dübendorfer C., Pfammatler R. und Zysset A. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime. Umwelt-Vollzug. Entwurf vom Oktober 2007. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern 104 S.

Pfaundler M., Dübendorfer C., und Zysset A. (2011): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Hydrologie – Abflussregime Stufe F (flächendeckend). Umwelt-Vollzug. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (noch in Bearbeitung).

Pfister P. (2003): Einfluss von Wasserentzug auf die Verbreitung und Häufigkeit der Rotalge *Lemanea fluviatilis*. Abstrakt. Ökologie und Wasserkraftnutzung, Tagungsband der internationalen Fachtagung in Innsbruck. Natur in Tirol, Band 12: Seite 287.

Ribi J.-M., Boillat J.-L. und Schleiss A. (2010a): Fish behaviour during hydropeaking in a channel equipped with a lateral shelter. Proceedings of the 8th International Symposium on Ecohydraulics (ISE 2010): 675-682. COEX, Seoul, Korea, 12.–16. September 2010.

Ribi J.-M., Boillat J.-L. und Schleiss A. (2010b): Flow exchange between a channel and a rectangular embayment equipped with a diverting structure. River Flow: 665–671, Braunschweig, Deutschland, 8.–10. September 2010, ISBN 978-3-939230-00-7.

Schulz U. (1995): Untersuchungen zur Ökologie der Seeforelle (*Salmo trutta f. lacustris*) im Bodensee. Dissertation Universität Konstanz, Hartung-Gorre Verlag.

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

telligent gesteuertes Beruhigungsbecken zur Reduktion von künstlichen Pegel-schwankungen 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.

Service Conseil Zones Alluviales (2010): Aue Obermad. Managementkonzept. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Roulier C. und Paccaud G.).

SigmaPlan (2010a): Kraftwerke Oberhasli. Restwasserbericht mit Schutz- und Nutzungsplanung Vergrösserung Grimselsee. Mit einer Gesamtübersicht über sämtliche im Rahmen der Restwasser-sanierung nach Art. 80 GSchG sowie des Investitionsprogramms KWOpus vorgesehenen gewässerökologischen Massnahmen und einer gewässerökologischen Gesamtbilanz im Anhang. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

SigmaPlan (2010b): Dotierversuche KWO 2008. Dokumentation und Ergebnisse. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Wagner T. & Zeh Weissmann H.).

SigmaPlan (2010c): Dotierversuche KWO 2008. Fotodokumentation. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Dolder M., Wagner T. & Zeh Weissmann H.).

SigmaPlan (2010d): Bilanzierungsmethode für die Schutz- und Nutzungsplanung Vergrösserung Grimselsee und die Gesamtbilanz über sämtliche im Rahmen der Restwassersanierung nach Art. 80 GSchG und des Investitionsprogramms KWOpus vorgesehenen gewässerökologischen Massnahmen. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T.).

Technische Universität München (2007): Beruhigungsbecken Innertkirchen. Versuchsbericht des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Obernach im Auftrag der KWO (Autoren Hartlieb A., Sperer A. und Rutschmann P.).

Thielen R., Tognola M., Roulier C. und Teuscher F. (2002): 2. Ergänzung des

Bundesinventars der Auengebiete von nationaler Bedeutung. Technischer Bericht. Schriftenreihe Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern. 143 Seiten.

Turner H., Kuiper J.G.J., Thew N., Bernasconi R., Rüetschi J., Wüthrich M. und Gosteli M. (1998): Atlas der Mollusken der Schweiz und Liechtensteins. Fauna Helvetica 2, herausgegeben vom Centre suisse de cartographie de la faune, Neuchatel.

WFN (2000): Fische und Krebse des Kantons Bern. Studie im Auftrag des Fischereinspektorats Kanton Bern.

Zumbrunn K. (2010): Mündliche Bestätigung des Sekretärs vom Fischereiverein Oberhasli, dass bisher kein Stranden von Fischen in der Aare zwischen Innertkirchen und Brienersee beobachtet wurde.

Kontaktadresse:

Steffen Schweizer
Dr. sc. ETHZ
Umweltnaturwissenschaften
Leiter Fachstelle Ökologie KWO
Kraftwerke Oberhasli AG
Grimselstrasse 19
CH-3862 Innertkirchen
Tel.: +41 33 982 20 11
Fax: +41 33 982 20 05
E-Mail: sste@kwo.ch
Internet: www.grimselstrom.ch

Die KWO saniert die von ihr genutzten Gewässer

Steffen Schweizer, Heiko Zeh Weissmann

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 103. Jahrgang, 2011, Heft 1, CH-5401 Baden 25

Zusammenfassung

In einem partizipativen Prozess finden Vertreter von Pro Natura, BKFV, Grimselverein und der KWO unter der Moderation des AWA eine einvernehmliche Lösung.

Keywords

KWO plus, Partizipationsprozess, Gewässerökologie

Assainissement d'un cours d'eau exploité par KWO

Résumé

Solution consensuelle au cours d'un processus participatif avec des représentants de Pro Natura, BKFV, Association du Grimsel et KWO, modéré par AWA.

Mots-clés

KWO plus, processus participatif, écologie des eaux

Le KWO rinaturano i corsi d'acqua da esse sfruttati

Riassunto

Grazie a un processo partecipativo gestito dall'AWA i rappresentanti di Pro Natura, BKFV, Grimselverein e delle KWO trovano una soluzione di comune accordo.

Parole chiave

KWO plus, processo partecipativo, ecologia delle acque

1. Einleitung

Die Revision des eidgenössischen Gewässerschutzgesetzes (GSchG) schreibt seit 1991 in den Artikeln 80ff die Sanierung der Restwasserstrecken bei bestehenden Wasserkraftkonzessionen vor. Im Jahr 2003 wurde die Sanierungs-

frist von ursprünglich 15 Jahren auf 20 Jahre bis 2012 verlängert (Uhlmann & Wehrli 2007a). Ziel der Gesetzesrevision ist es, dass wieder angemessene Restwassermengen in den schweizerischen Gewässern fließen.

Uhlmann & Wehrli (2007b) haben zusammengefasst wie die Gewässersanierung in den einzelnen Kantonen bis Juli 2006 umgesetzt worden ist.

Im Kanton Bern wurden bisher drei Restwassersanierungen verfügt, wovon bereits zwei vollständig umgesetzt sind. Ausserdem wurden in den letzten Jahren neue Konzessionen oder Nutzungsbewilligungen für die Gewässersysteme Önz und Emme erteilt. Weitere Sanierungen und Neukonzessionierungen sind aktuell in Bearbeitung. Bei diesen Umsetzungen des GSchG hat sich die gesamthafte Betrachtung ganzer Gewässersysteme bewährt, da so Konzessionäre und Nutzer von alten Rechten nach einer gemeinsamen und konsensfähigen Lösungen suchen können. Selbstverständlich benötigt dieser Prozess entsprechend Zeit.

2. Alle Akteure auf dem langen Weg bis zur Sanierungsverfügung mitgenommen

Die KWO (Kraftwerke Oberhasli AG) ist bereits seit über 5 Jahren bestrebt, die von ihr genutzten Gewässer nach GSchG Art. 80ff zu sanieren. Im Jahr 2006 wurde von den Umwelt- und Ingenieurbüros Herzog und Aquaterra ein Sanierungskonzept mit Dotierungen sowie Massnahmen zur Längsvernetzung, Gewässerrevitalisierung sowie einer Fassungsaufgabe ausgearbeitet und dem Kanton Bern vorgelegt (Aquaplus 2005, Herzog & AquaTerra 2006). Die Fachstellen haben unter der Federführung des Wasserwirtschaftsamtes des Kantons Bern (heute Amt für Wasser und Abfall, AWA) das Konzept zurückgewiesen und einen Gegenvorschlag vom Umweltbüro SigmaPlan erstellen lassen (SigmaPlan 2008). In der Zwischenzeit wurden verschiedene gewässerökologische Untersuchungen wie z.B. Dotierversuche und biologische Untersuchungen

der Oberhasler Gewässer (Schweizer et al 2010) durchgeführt und ergaben wichtige und neue Erkenntnisse. Darauf aufbauend und auch die Stellungnahmen der verschiedenen kantonalen Ämter berücksichtigend, hat die KWO einen weiteren Vorschlag 2009 (KWO 2009) ausgearbeitet und dem AWA vorgestellt.

Als dann bereits im darauf folgenden Sommer der Begleitprozess zu den Ausbauprojekten von KWO plus mit Vertretern der kantonalen Fachstellen, der Umweltschutzverbände, der Gemeinden sowie den politischen Vertretern und der KWO begonnen hatte (Schweizer et al. 2010), wurde die Gewässersanierung auch Teil dieser breit abgestützten Partizipation. Im Rahmen dieses Begleitprozesses wurde ein Ausschuss unter der Moderation des AWA mit Vertretern der Pro Natura, des Bernisch Kantonalen Fischereiverbands (BKFV), des Grimselvereins, der Gemeinden und der KWO eingerichtet. Nach anfänglichen Grundsatzdiskussionen verständigten sich die Mitglieder dieses Gremiums darauf, neben juristischen und technischen Fragen vor allem auch über ökologische Inhalte zu diskutieren und zu verhandeln. Zusätzlich zu den ökologischen Ausgleichsmassnahmen der Kraftwerksprojekte «Tandem» (Ausbau der Kraftwerkskette Handeck-Innertkirchen) und «Grimsel 3» (Pumpspeicherwerk zwischen Oberaarsee und Räterichsbodensee) wurde in diesem Gremium auch über die gewässerökologischen Massnahmen zur Gewässersanierung gesprochen und direkt verhandelt. Die gleichzeitige Ausarbeitung von gewässerökologischen Ausgleichsmassnahmen sowohl für die Kraftwerksprojekte als auch für die Gewässersanierung garantiert, dass möglichst viele Synergien genutzt werden können und so das Gesamtergebnis einer Öko-Logik folgt.

Alle gewässerökologischen Aufwertungsmassnahmen wurden vorgängig in der Fachgruppe von Vertretern der kantonalen Fachstellen, dem Umweltbüro SigmaPlan und der KWO bezüglich ökologischer Wirksamkeit, Machbar-

keit, Zusätzlichkeit (Anrechenbarkeit einer Massnahme) und Prioritätensetzung beurteilt.

Der Schlüsselfaktor bei den Verhandlungen im Ausschuss war die Einführung von ökologischen Qualitätsniveaus, d.h. dass neben einer bestimmten Restwassermenge auch ökologische Zielvorgaben je Gewässer gemeinsam festgelegt wurden. Diese werden in einem mehrjährigen Monitoring überprüft. Bei Nichterreichen der formulierten Ziele können weitergehende Massnahmen gefordert werden (z.B. Erhöhung der Restwassermenge). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen festgelegten Qualitätsniveaus.

Nach mehreren Verhandlungsrunden im Ausschussgremium konnte schliesslich im dritten Quartal 2010 eine Einigung bezüglich der Gewässersanierung erzielt werden, die noch weitergehende gewässerökologische Verbesserungen zum Vorschlag der KWO aus dem Jahr 2009 (KWO 2009) vorsieht. Das AWA hat im vierten Quartal 2010 den Schlussbericht erstellt und die Sanierung verfügt.

3. Die Massnahmen der Gewässersanierung

3.1 Heutiger Zustand

Das Einzugsgebiet der KWO liegt im östlichen Berner Oberland in der Region von Grimsel und Susten. Insgesamt wird in den zwei Haupttälern Aare- und Gadmmental sowie in den zwei bedeutenden Seitentälern Urbach- und Gental an 27 Fassungen Wasser für die Energieerzeugung entnommen. Die Einzugsgebietsfläche oberhalb von Innertkirchen beträgt rund 450 km², wovon etwa 350 km² für die Wasserkraft genutzt werden.

In zahlreichen gewässerökologischen Untersuchungen wurde der heutige Zustand der KWO-Restwasserstrecken sehr genau dokumentiert (Schweizer et al 2010) und sowohl das ökologische Defizit als auch das ökologische Potenzial der von der KWO beeinflussten Gewässer abgeschätzt. Dabei zeigte sich, dass grössere gewässerökologische Defizite vor allem direkt unterhalb einiger Fassungen und in natürlichen Versickerungsstrecken anzutreffen sind. Dagegen führen die steile Topographie und die im KWO-Einzugsgebiet gene-

Ökologische Stufen	Beschreibung des Zielniveaus
Q _{Benetzung}	Durchgehende Benetzung auf der ganzen Restwasserstrecke, die ausreicht, um eine minimale Benthosfauna ganzjährig am Leben zu erhalten. Es wird garantiert, dass das Gewässer zu keiner Zeit im Jahr trocken fällt und damit auch im Winter eine biologische Grundproduktion gewährleistet ist.
Q _{Benthos}	Die Restwassermenge garantiert eine gebirgsbachtypische Benthosfauna . Dafür bedarf es insbesondere Strömungsverhältnisse, die das Aufkommen von typischen Arten und Lebensgemeinschaften in Anlehnung an den unbeeinflussten Zustand ermöglichen. Vor allem für rheophile Arten wie z.B. Lidmücken sind maximale Fliessgeschwindigkeiten > 0.7 m/s nötig.
Q _{Bachforelle}	Erfüllen der Lebensraumfunktionen für die Bachforelle auf der Restwasserstrecke. Insbesondere sind die Kolke ausreichend durchströmt und die Nahrungszufuhr durch Benthosdrift gewährleistet. Eine für die freie Fischwanderung ausreichende Wassertiefe (rund 20 cm) wird garantiert.
Q _{Landschaft}	Saisonale Differenzierung von Restwasserabflüssen in Anlehnung an ein natürliches Abflussregime. Dabei wird angestrebt, dass das Gewässer als Landschaftselement wahrgenommen wird (abschnittsweise Strömungsvielfalt, weiss schäumendes Wasser und ein wahrnehmbares Rauschen).

Tabelle 1: Die ökologischen Qualitätsniveaus der KWO Gewässersanierung (Q_X = Restwassermenge um Ziel X zu erreichen). Bemerkung: Mit dem Ausbauprojekt Tandem sind weitergehende Aufwertungsmassnahmen zur Förderung der Seeforelle verknüpft – dafür ist ein weiteres ökologisches Zielniveau Q_{Seeforelle} vereinbart worden.

Tableau 1: Le niveau de qualité écologique de l'assainissement des eaux de KWO (Q_X = quantité résiduelle d'eau pour atteindre la cible X). Remarque: avec le projet d'expansion Tandem, de nouvelles mesures de valorisation afin de promouvoir la truite d'eau douce sont liées – ainsi un autre niveau de cible écologique Q_{Seeforelle} a été convenu.

rell sehr hohen Niederschlagsmengen und -intensitäten bereits nach relativ kurzen Strecken unterhalb der meisten Fassungen wieder zu ansehnlichen Restwasserabflüssen und zu einer bzgl. ökologischen Gesichtspunkten funktionierenden Hochwasserdynamik.

Aufgrund der Fassung der Gletscherabflüsse in den Speichern Oberaar-, Grimsel-, Gelmer- und Räterichsbodensee führt die Restwasserstrecke der Hasliaare ganzjährig klares Wasser. So hat sich in den letzten Jahrzehnten ein neuer Gleichgewichtszustand mit neuen ökologischen Werten in der Restwasserstrecke eingestellt. Die ganzjährige klare Wasserführung ermöglicht im Sommer eine deutlich höhere Produktion (sowohl Algen als auch Wirbellose und Fische) und Artenvielfalt der Wirbellosen verglichen mit einem durch Gletscherschmelze geprägtem Gewässer, das im Sommerhalbjahr trübes Wasser führt. Als Referenzgewässer dafür wurde die von der Wasserkraft ungenutzte Lutschine ausgewählt (Limnex 2008, Schweizer et al. 2010). Auch der Erstnachweis einer seltenen Rotalgenart (*Paralemanea torulosa*) (Limnex 2008) und die funktionierende Fortpflanzung der Bachforellen sprechen dafür, den heutigen Zustand der Aare zu erhalten. Dieser Sachverhalt wurde sowohl im Ausschuss als auch in der Fachgruppe

(Kap. 2) ausführlich diskutiert. In beiden Gremien wurde ein Erhalt der heutigen Situation als schutzwürdig erachtet und somit eine Dotierung mit klarem Wasser ausdrücklich empfohlen.

Im Urbachtal ist vor allem die Aue Sandey, eine Aue von nationaler Bedeutung, von hohem ökologischem Wert. Der Stausee Mattentalp (etwa 5 km oberhalb von Sandey) trennt den oberen Teil des ursprünglichen Einzugsgebiets von dieser Aue ab. Aufgrund des grossen Zwischeneinzugsgebiets ist die Aue aber von einem naturnahen Abfluss geprägt, der die für alpine Systeme typische Expansions- und Kontraktionsdynamik des Gewässernetzes sowie einen naturnahen Geschiebetrieb gewährleistet. Oberhalb und direkt unterhalb von Sandey verläuft das Urbachwasser meist in einem steilen eingeschnittenen Tal, ohne grössere Landschaftswirkung und ohne grösseres ökologisches Potenzial. Erst vor der Mündung in die Aare hat das Urbachwasser aufgrund der natürlichen Seeforellenverlaidung wieder eine sehr hohe ökologische Bedeutung.

Sowohl im Gadmmental als auch im Gental haben die durchgeführten ökologischen Untersuchungen ein sehr hohes Verbesserungspotenzial bezüglich der Aspekte

- Restwasserführung (v.a. bei Versickerungsstrecken)

- Geschiebehaushalt
- Längsvernetzung (Durchgängigkeit)
- Laterale Vernetzung (Auen)
- Landschaft ergeben.

3.2 Ableiten der effizientesten Massnahmen

Die detaillierte Dokumentation des Ist-Zustands (vgl. Kap. 3.1) hat den Vertretern in der Fachgruppe und im Ausschuss erlaubt, die effektivsten Massnahmen abzuleiten. Ausserdem konnten aus den Dotierversuchen von 1994 und 2008 (Emch + Berger 1996, Sigmaplan 2010a und 2010b) fundierte und detaillierte Erkenntnisse bezüglich den hydraulischen Bedingungen (Abflusstiefen, Fliessgeschwindigkeiten, benetzte Breiten) und der landschaftlichen Wirkung der Gewässer bei unterschiedlichen Dotierwassermengen gewonnen werden. Diese Erkenntnisse sind bei der Festlegung geeigneter Restwassermengen äusserst wertvoll gewesen.

Da im Ausschuss über gewässerökologische Massnahmen im Rahmen der Gewässersanierung und der Ausbauprojekte «Tandem» und «Grimsel 3» als Gesamtpaket diskutiert und verhandelt wurde, konnte so eine Öko-Logik verfolgt werden, die folgender Grundidee einer Schutz- und Nutzungsplanung (SNP) für das Oberhasli folgt:

«Aare- und Urbachtal mit grossem Energiegewinnungspotenzial nutzen – Gadmen- und Gental mit grossem ökologischem Aufwertungspotenzial schützen».

Ausserdem wurde im Gremium beschlossen, dass im Rahmen der Gewässersanierung neben Restwasserdotierungen auch Massnahmen zur Verbesserung des Geschiebehaushalts, der Durchgängigkeit und der Landschaft (Dotation Engstlenseeausfluss) umgesetzt werden. Zusätzlich wurden mit dem Fischereiverein Oberhasli weitere Massnahmen zur Förderung der heimischen Fischfauna hinsichtlich Verdriftung in das Kraftwerkssystem und bezüglich potenziellen Aufwertungsmassnahmen von zwei kleinen Aufzuchtgewässern vereinbart.

Während in Tabelle 2 alle Massnahmen kurz beschrieben sind, zeigt Bild 1 die geographische Verteilung der Massnahmen und die Fotos (Bild 2a, 2b, 2c) zeig-

Massnahme	Tal	Dotierung	Ökologisches Zielniveau	Wichtigste ökologische Verbesserungen	Energieverlust [GWh/a]
RW-Dotierung Räterichsbodensee mit klarem Wasser	A	Bis max. 250 l/s ⁺ (400 l/s)	Winter Q _{Benetzung} Sommer Q _{Landschaft}	Erhalt der heutigen Situation mit ganzjährig klarer Wasserführung. Gewässerökologische und landschaftliche Aufwertung.	3.5
RW-Dotierung Handeck	A	100-300 l/s (435 l/s)	Q _{Landschaft}	Gewässerökologische und landschaftliche Aufwertung.	9.1
RW-Dotierung Grubenbach	A	15 l/s (15 l/s)	Q _{Benthos}	Gewässerökologische Aufwertung und erhöhte Benthosdrift in das Fischgewässer Arlenbach.	0.5
RW-Dotierung Mattalpsee (ab sog. Sekundärfassung 250 m unterhalb des Mattalpsees)	U	25-50 l/s (200 l/s)	Q _{Benthos}	Gewässerökologische Aufwertung des Oberlaufs des Urbachwassers.	2.7
RW-Dotierung Steinwasser	Ga	60 l/s (130 l/s)	Q _{Benthos} ◊	Ganzjährige Benetzung des Steinwassers führt zu einer sehr grossen gewässerökologischen und landschaftlichen Aufwertung und Längsvernetzung des Gewässersystems. Erhöhte Benthosdrift in das Gadmerwasser.	0.9
RW-Dotierung Wendenwasser	Ga	60 l/s (65 l/s)	Q _{Benthos} ◊	Ganzjährige Benetzung des Wendenwassers führt zu einer sehr grossen gewässerökologischen und landschaftlichen Aufwertung und Längsvernetzung des Gewässersystems. Erhöhte Benthosdrift in das Gadmerwasser.	0.8
RW-Dotierung Fuhren	Ga	150-300 l/s (250 l/s)	Q _{Bachforelle}	Sehr grosse gewässerökologische und landschaftliche Aufwertung.	4.3
RW-Dotierung Hopflauenen	Ga	250 l/s (370 l/s)	Q _{Bachforelle}	Grosse gewässerökologische Aufwertung, v.a. im Unterlauf.	4.7
RW-Dotierung Engstlensee	Ge	200 l/s ⁺⁺ Jun-Okt (-)	Q _{Landschaft}	Sehr grosse landschaftliche und kleinere gewässerökologische Aufwertung.	- †
RW-Dotierung Engstlenbach	Ge	25-100 l/s (25 l/s)	Q _{Bachforelle} ◊◊	Grosse gewässerökologische Aufwertung und erhöhte Benthosdrift ins Gentalwasser.	2.1
RW-Dotierung Leimboden	Ge	25-50 l/s (150 l/s)	Q _{Benthos}	Gewässerökologische und landschaftliche Aufwertung.	1.7
Dotierung der Fassung Trift mit dem Tobigerbach, der direkt unterhalb der Fassung in das Triftwasser mündet **	Ga	-	-	Sicherstellen der bereits heute guten gewässerökologischen Situation und der weiterhin klaren Wasserführung (vergleichbare Situation wie in der Aare Kap. 3.1).	3.2 ††
Bau Fischpass an Fassung Fuhren	Ga	-	-	Längsvernetzung von je rund 2 km Fliesstrecke für Bachforellen.	-
Ökologische Geschiebedotierung Obermad	Ga	-	-	Verbesserung des Geschiebehaushalts unter Berücksichtigung des Hochwasserschutzes, grosse Aufwertung der Gewässersohle bezüglich Laichplätzen und Lebensraumbedingungen für das Makrozoobenthos.	-

Tabelle 2: Vom AWA im vierten Quartal 2010 verfügte Massnahmen der KWO-Gewässersanierung. Erklärungen:

RW= Restwasser, A = Aaretal, U = Urbachtal, Ga = Gadmental, Ge = Gental.
 In der Spalte «Dotierung» geben die Werte in Klammern die Dotierwassermenge an, die bei einer Neukonzessionierung nach Art. 31 bis 33 GSchG ohne Schutz- und Nutzungsplanung nötig wäre (bestimmt von Sigmaplan 2010c).
 *Dotierung mit klarem Wasser aus Hangkanal (gefasster Zufluss in den Räterichsbodensee).
 ** Der Tobigerbach führt ganzjährig klares Wasser (vergleichbare Situation wie in der Aare Kap. 3.1). Er garantiert so ein naturnahes Abflussregime auf tieferem Niveau in der Restwasserstrecke.
 + Natürlicher Abfluss bis maximal 250 l/s.
 ++ Da der Engstlensee aus Lawinenschutzgründen im Winter abgesenkt wird, der winterliche Zufluss sehr gering ist und da es sich hier vorwiegend um eine landschaftliche Aufwertung handelt, ist die Dotierung auf die Sommermonate beschränkt.
 ◊ ab Zusammenfluss von Wenden- und Steinwasser gilt das Zielniveau Q_{Bachforelle}.
 ◊◊ Zielniveau Q_{Bachforelle} gilt ab Schütziboden (etwa 1.5 km unterhalb der Fassung Engstlenbach).
 † kein Energieverlust, da das Wasser des Engstlensees erst ab der Fassung Engstlenbach für die Stromproduktion genutzt wird.
 †† Bei einer Nutzung des Tobigerbachs nach Art. 31 bis 33 GSchG könnte eine Energie von rund 3.2 GWh/a erzeugt werden.
 Tableau 2: Mesures d'assainissement de KWO mises à disposition par AWA au 4ème trimestre 2010.

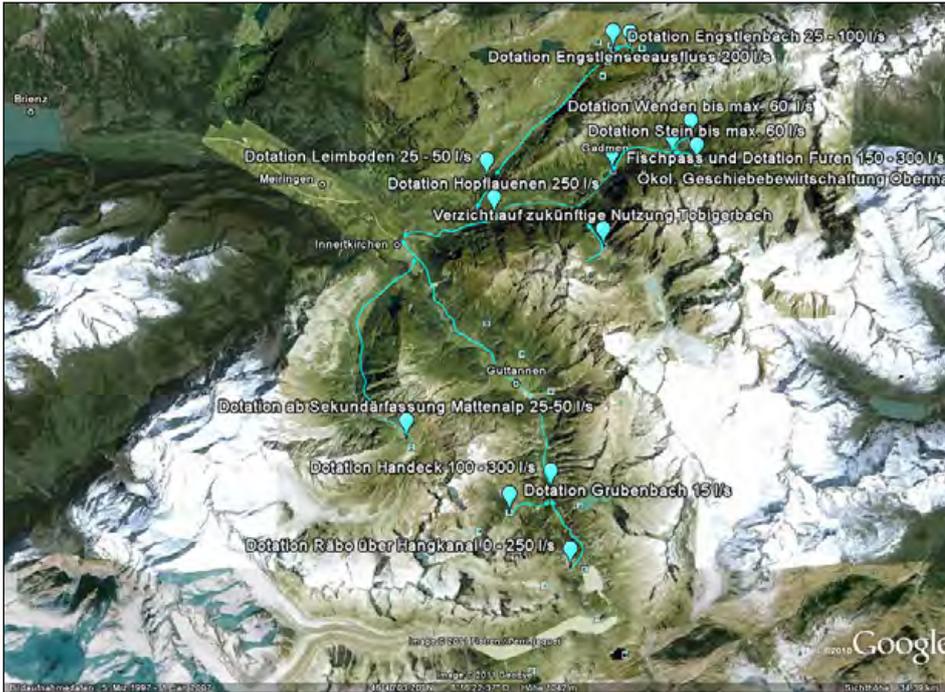


Bild 1: Die gewässerökologischen Massnahmen im Rahmen der KWO-Gewässersanierung. Die blauen Pfeile geben die Restwasserstrecken mit Dotierungen an.
 Fig. 1: Les mesures de l'écologie des eaux dans le cadre de l'assainissement KWO. Les flèches bleues indiquent le débit résiduel avec les dotations.

gen die künftige Situation in den zwei Hauptgewässern des Oberhasli und die Reaktivierung des Ausflusses aus dem Engstlensee.

4. Diskussion der Massnahmen, des Verfahrens und des Kontextes der KWO-Gewässersanierung

Wie in den vorigen Kapiteln bereits beschrieben, wurden die ökologischen

Defizite und Aufwertungspotenziale ausführlich untersucht (Schweizer et al. 2010). Zudem garantiert die gleichzeitige Ausarbeitung und Festlegung von Massnahmen sowohl für die Gewässersanierung als auch für die geplanten Kraftwerksprojekte von KWO plus das bestmögliche Ausarbeiten und Abstimmen aller gewässerökologischen Verbesserungen. Somit können möglichst viele Synergien wahrgenommen wer-

den, was dazu führt, dass der ökologische Wert der KWO-Gewässersanierung deutlich grösser ist als die Summe aller Einzelmassnahmen.

4.1 Ökologische Verbesserungen

Mit den in Tabelle 2 beschriebenen Massnahmen werden relevante gewässerökologische Defizite behoben und für die Gewässerabschnitte mit den grössten Verbesserungspotenzialen sinnvolle und angemessene Aufwertungsmassnahmen festgelegt. In Bild 3a und 3b ist der heutige Zustand der Restwassersituation und der Zustand nach Umsetzung der KWO-Gewässersanierung im Oberhasli dargestellt – jeweils angegeben als Anteil an dem Abfluss, der für eine Neukonzessionierung nach Art. 31 bis 33 GSchG ohne Schutz- und Nutzungsplanung nötig wäre (Q_{Art.31-33}). Die Festlegung des Q_{Art.31-33} wurde vom Umweltbüro Sigmaplan unter Berücksichtigung der Artikel 31 bis 33 bestimmt (Sigmaplan 2010c). Die hier dargestellte Klasseneinteilung lehnt sich an die ökologische Bewertungsmethode von Basler E. & Partner (2005) an, die vom BAFU für Schutz- und Nutzungsplanungen empfohlen wird.

Abschnitte mit geringem ökologischem Potenzial

Bei den steilen Schluchtstrecken der Aare unterhalb von Grimsel- und Räterichsbodensee, des Oberaarbachs, des Gelmerbachs, des obersten Teils des Urbachwassers und des Ärlenbachs wird



Bild 2a: Künftige Restwassersituation in der Aare unterhalb der Fassung Handeck (Dotierversuche Herbst 2008 mit einer Dotierwassermenge von rund 200 l/s).
 Fig. 2a: Situation des débits résiduels futurs dans l'Aar en aval de la prise de Handeck (essai de dotation en automne 2008, avec une quantité d'environ 200 l/s).



Bild 2b: Gadmerwasser im Winter 2010 mit einer geschätzten Dotierwassermenge von 150 l/s. Im oberen Bildrand ist das Wehr der Fassung Furen zu erkennen.
 Fig. 2b: Gadmerwasser en hiver 2010 avec une quantité de dotation estimée de 150 l/s. En haut de l'image, on aperçoit l'ouvrage de prise.



Bild 2c: Künftige Reaktivierung des Ausflusses aus dem Engstlensee.
Fig. 2c: Réactivation futur de l'effluent de l'Engstlensee.

aufgrund des geringen ökologischen Potenzials auf eine Restwassersanierung verzichtet (Bild 3b). Sie verbleiben in einem stark beeinträchtigten (11-40% von $Q_{Art. 31-33}$) oder naturfernen Zustand (<10% von $Q_{Art. 31-33}$).

Die Restwasserstrecken unterhalb des Trübensees, der Bächlibachfassung, des Grubengletschers, des Rotloubachs, Hostettbachs und Teuflaubachs, Wunderbrunnens und Henglibachs sind überwiegend steile Nichtfischgewässer mit natürlicherweise geringer Wassereführung und daher einem geringen Aufwertungspotenzial. Deshalb werden sie aufgrund ihrer grösseren Zwischeneinzugsgebiete und/oder aufgrund tieferen $Q_{Art. 31-33}$ «nur» als beeinträchtigt (41–70% von $Q_{Art. 31-33}$) bewertet. Auch hier sind keine Massnahmen im Rahmen der Gewässersanierung vorgesehen (Bild 3b).

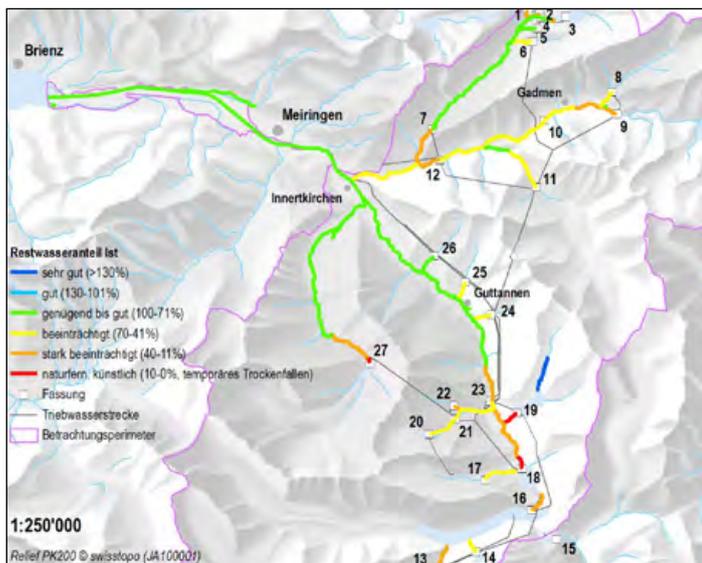


Bild 3a: Restwasseranteil für den heutigen Zustand. Angegeben als Anteil am $Q_{Art. 31}$ bis 33 (der Abfluss, der nach Art. 31 bis 33 GSchG ohne Schutz- und Nutzungsplanung bei einer Neukonzessionierung gefordert werden würde – Bestimmung Sigmaplan (2010c)). Aufgrund des hohen Zwischenabflusses erreichen bereits heute bestimmte Restwasserabschnitte über 70% des $Q_{Art. 31}$ bis 33.

1 – 27 Angabe der Fassungsnamen: 1 = Henglibach, 2 = Wunderbrunnen, 3 = Engstlensee, 4 = Engstlenbach, 5 = Moosbach, 6 = Teuflau, 7 = Leimboden, 8 = Wenden, 9 = Stein, 10 = Fuhren, 11 = Trift, 12 = Hopflauenen, 13 = Oberaarsee, 14 = Trübtenbach, 15 = Totensee (Konzession läuft aus, Abklärungen für eine Verlängerung sind mit den Kanton Wallis aktuell in Gang), 16 = Grimsensee, 17 = Bächli, 18 = Räterichsbodensee, 19 = Gelmensee, 20 = Grubengletscher, 21 = Grubenbach, 22 = Ärlenbach, 23 = Handeck, 24 = Rotloui, 25 = Hostett, 26 = Bänzlaui, 27 = Mattenalpsee.

Fig. 3a: Part du débit résiduel à l'état actuel. Exprimée en pourcentage de $Q_{Art. 31}$ à 33 (le débit nécessaire en vertu de l'article 31 à 33 LEaux sans plan de protection, ni plan d'utilisation pour une nouvelle concession. Détermination Sigmaplan (2010c)). En raison de l'écoulement intermédiaire élevé, certains tronçons à débit résiduel atteignent déjà plus de 70% de $Q_{Art. 31-33}$.

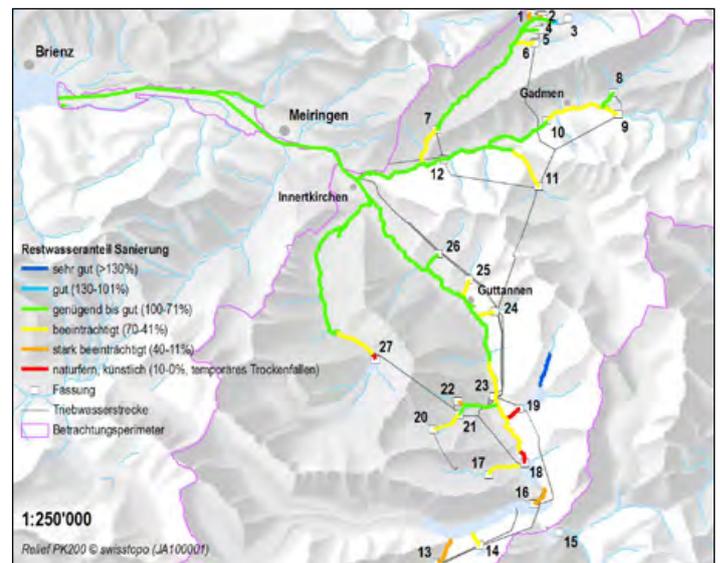


Bild 3b: Restwasseranteil für die KWO-Gewässersanierung. Angegeben als Anteil am $Q_{Art. 31}$ bis 33 (der Abfluss, der nach Art. 31 bis 33 GSchG ohne Schutz- und Nutzungsplanung bei einer Neukonzessionierung gefordert werden würde – Bestimmung Sigmaplan (2010c)). Erklärungen zu den Nummern 1–27 siehe Bildbeschriftung 3a.

Fig. 3b: Part du débit résiduel pour l'assainissement des eaux de KWO. Exprimée en pourcentage de $Q_{Art. 31}$ à 33 (le débit nécessaire en vertu de l'article 31 à 33 LEaux sans plan de protection, ni plan d'utilisation pour une nouvelle concession. Détermination Sigmaplan (2010c)). En raison de l'écoulement intermédiaire élevé, certains tronçons à débit résiduel atteignent déjà plus de 70% de $Q_{Art. 31-33}$.

Abschnitte mit mittlerem bis hohem ökologischem Potenzial

Die «natürliche» Dotierung mit klarem Wasser vom Tobigerbach (vgl. Tab. 2) sichert den heutigen guten und erhaltenswerten Zustand des Triftwassers (vergleichbar mit der Situation in der Aare, siehe Kap. 3.1). Direkt unterhalb der Fassung verläuft das Triftwasser als steiles Nichtfischgewässer in einer Schlucht. Fischökologische Untersuchungen konnten für das untere Triftwasser die natürliche Reproduktion der Bachforelle nachweisen (Büsser 2011) und damit den heute bereits guten Zustand des Gewässers belegen.

An allen übrigen Gewässerabschnitten erfolgt mit Dotierungen im Rahmen der Gewässersanierung eine Verbesserung der Restwasserverhältnisse (Bild 3b). Dabei wird Q_{Art. 31-33} auf einem Grossteil der Restwasserstrecken der Talflüsse Aare, Urbachwasser, Gadmerwasser und Gentalwasser annähernd bis vollständig erreicht, ebenso in den Seitengewässern Grubenbach, Ärlenbach, Bänzlaubach, Wendenwasser, Moosbach und Engstlenbach.

Die Restwasserdotierungen (Tab. 2) werden insbesondere die heutige Situation in Stein- und Wendenwasser sehr stark verbessern und für eine ganzjährige Wasserführung in den Versickerungsstrecken führen und somit rund 1 km Fliessgewässer wieder neu erschaffen. Dabei werden die Strecken von Stein- und Wendenwasser an das Gadmerwasser angeschlossen und zukünftig mit ihrer ganzjährigen Produktivität einen natürlichen Eintrag von Fischnährtieren in das Gadmerwasser erzeugen. Dies wird einen wertvollen Beitrag zur Nahrungszufuhr für die Bachforellen im Gadmerwasser leisten.

Generell wird die Restwassersituation im Gaden- und Gental bezüglich Gewässerökologie und Landschaft deutlich verbessert und auf einem Grossteil der Strecken das Niveau von Q_{Art. 31-33} erreicht oder zumindest angenähert. Die Dotierungen im Aare- und Urbachtal werden die bestehenden ökologischen Defizite direkt unterhalb des Räterichbodensees und der Fassung Handeck deutlich vermindern.

Ausserdem wird der geplante Fischpass an der Fassung Führen jeweils zwei Fliessstrecken des Gadmerwassers von je rund 2 km Länge wieder miteinander vernetzen.

Schliesslich kommt noch die seit 2008 in Vorleistung betriebene ökologische Geschiebemanagement des Gadmerwassers hinzu, die bereits nach 3 Jahren zu grossen Aufwertungen der Gewässersohle bezüglich Laichplätzen für Bachforellen und Lebensraumbedingungen für das Makrozoobenthos führt (aktuelles Monitoring und Beobachtungen von Schweizer S., Meyer M. (beide KWO), und Fischereiverein Oberhasli, Oktober 2010). Der Geschiebesammler in Obermad wird seit dem Bau der Sustenstrasse bewirtschaftet und dient heute dem Schutz der Unterlieger. Durchschnittlich werden pro Jahr 4000 m³ Geschiebe entnommen, wobei seit 2008 rund 1000 m³ pro Jahr dem Gadmerwasser direkt unterhalb des Sammlers wieder zugeführt werden. Eine Erhöhung auf 2000 m³ pro Jahr wird für die nächsten Jahre angestrebt, sofern das begleitende Monitoring dies erlaubt.

Insgesamt werden mit den Massnahmen zur Gewässersanierung viele von der KWO genutzten Gewässer mit mittlerem bis hohem Potenzial wieder in einen ökologisch guten Zustand überführt. Die in der Verfügung berücksichtigten Qualitätsniveaus (Tab. 1 und 2) garantieren das Erreichen dieser ökologischen Ziele.

4.2 Erarbeitungsprozess und Kontext der KWO-Gewässersanierung

Die KWO wird mit den in Tabelle 2 beschriebenen Massnahmen das bislang grösste Kraftwerkssystem der Schweiz sein, das seine genutzten Gewässer nach Art. 80ff GSchG saniert. Darüber hinaus ist der partizipative Prozess mit direkten Verhandlungen mit Vertretern der Umweltschutzverbände Pro Natura, BKFV und Grimselverein unter der Moderation des AWA einmalig für die Schweiz. Dieser Umstand hat zur Folge gehabt, dass nach Ablauf der Beschwerdefrist keine Beschwerden gegen die Gewässersanierung vorlagen und es somit zu keinen juristischen Verzögerungen gekommen ist.

Insgesamt ist allen Beteiligten des Ausschussgremiums bewusst, in welchem komplexen Spannungsfeld sich diese Gewässersanierung bewegt: Einerseits ist hinsichtlich von Klimaschutzziele und damit der Förderung von regenerativen Energiequellen die Energiestrategie von Kanton und Bund zu beachten, andererseits gilt es aber auch, die Gewässerökologie im Oberhasli aufzuwerten und das Gewässerschutzgesetz juristisch korrekt umzusetzen. Nicht zuletzt ist aber auch die Flut an geplanten Kleinwasserkraftwerken infolge der Kosten deckenden Einspeisevergütung (KEV) im Blickfeld zu behalten, die ihrerseits Auswirkungen auf die Gewässerökologie in anderen Regionen der Schweiz haben. Aus Sicht aller im Gremium Beteiligten ist mit der hier vorgestellten Gewässersanierung ein sehr guter und allen Aspekten Rechnung tragender Kompromiss gelungen.

5. Umsetzung der Massnahmen und Ausblick

Da im Ausschuss neben der Gewässersanierung gleichzeitig auch über Ausgleichsmassnahmen zu den Kraftwerksprojekten von KWO plus diskutiert und verhandelt worden ist, werden sich die den Ausbauprojekten zugeordneten Aufwertungsmassnahmen sehr gut in die Öko-Logik der KWO-Gewässersanierung einfügen. So sind mit den Kraftwerksprojekten Tandem und Grimsel 3 mehrere Flussrevitalisierungen, zukünftige Nutzungsverzichte, eine Fassungs-aufgabe, Durchgängigkeitsverbesserungen, Massnahmen zur expliziten Förderung der bedrohten Seeforelle und Verminderung der Schwall/Sunk-Problematik mit einem Beruhigungsbecken (Schweizer et al. 2008) verknüpft.

Die KWO hat bereits die wichtigsten ökologischen Untersuchungen bezüglich künstlichen Pegelschwankungen an der Aare durchführen lassen (vgl. Schweizer et al. 2010). Darüber hinausgehend sind noch weitere Abklärungen und Forschungsarbeiten geplant, um der jüngsten Änderung des Gewässerschutzgesetzes bezüglich Sanierung von Schwall/Sunk-Strecken möglichst rasch entsprechen zu können und um auch auf dringende und allgemeine Fragen aus der Praxis (vgl. Schweizer et al. 2009) hinsichtlich der Gesetzesumsetzung fundierte Antworten geben zu können.

Durch die Verfügung wird von der KWO die fristgerechte Umsetzung aller Massnahmen der Gewässersanierung bis Ende 2012 gefordert. Dem Kanton liegt seit Dezember 2010 ein Konzept zur technischen und zeitlichen Umsetzung der Massnahmen in den nächsten zwei Jahren vor. Sofern es keine Verzögerungen aufgrund von Bewilligungsverfahren gibt und keine aussergewöhnlich lang anhaltenden schlechten Witterungsbedingungen herrschen (der technische Bau bei einigen Dotiervorrichtungen ist wegen der Zugänglichkeit und des Abflussregimes nur in einem engen Zeitfenster im Spätjahr möglich), ist die Umsetzung zwar relativ ambitiös aber realistisch.

Das Erreichen der ökologischen Zielniveaus wird in einem mehrjährigen Monitoring überprüft. Sowohl beim Festlegen der zu messenden Indikatoren als auch bei deren Bewertung und Erhebung wird der eingeschlagene Weg der Partizipation fortgesetzt. In Zusammenarbeit mit den kantonalen Fachstellen und den Umweltschutzverbänden werden das Konzept und das konkrete Monitoring ausgearbeitet.

Ein weiterer ökologischer Gewinn der KWO-Gewässersanierung könnte sich dann in 5 bis 10 Jahren ergeben, wenn auf die spannende Frage «Welche Restwassermengen werden benötigt, um ein bestimmtes ökologisches Ziel zu erreichen?» sowohl methodische als auch konkrete Antworten speziell für das Oberhasli gegeben werden können.

6. Ausschussmitglieder

L. Vetterli (Pro Natura), M. Meyer (BKFV), U. Eichenberger (Grimselverein), I. Schmidli (AWA), H. Habegger (AWA), C. Kaufmann (AWA), W. Brog (Gemeinde Innertkirchen), H. Zeh (Umweltbüro SigmaPlan), G. Biasiutti (KWO), S. Mützenberg (ehemals KWO jetzt Gruner Ltd Consulting Engineers), D. Fischlin (KWO), S. Schweizer (KWO).

7. Danksagung

Für die gründliche Durchsicht des Manuskripts und für wertvolle Kommentare möchten die Autoren an dieser Stelle C. Mathez (BWU), P. Baumann (Limnex AG), M. Meyer (KWO) und P. Tscholl (KWO) danken. Für die Erstellung der

Karten ein herzliches Dankeschön an A. Bertiller (SigmaPlan).

8. Literatur

Aquaplus (2005): Gewässersanierungskonzept. Sanierungsbericht Wasserentnahmen und Gewässersanierungskonzept. Bericht im Auftrag der KWO.

Basler E. & Partner (2005): Ausnahmen von den Mindestrestwassermengen im Rahmen einer Schutz- und Nutzungsplanung (Art. 32 Bst. c GSchG). Bericht des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

Büsser P. (2011): Naturverlaidung der Bachforellen in Stein- und Triftwasser. Untersuchungen zur Ei-Entwicklung in Winter und Frühjahr 2009/2010. Bericht im Auftrag der KWO.

Emch + Berger (1996): Grimsel-West – UVP 1. Stufe «Dotierversuche 1994». Bericht im Auftrag der KWO.

Herzog & AquaTerra (2006): Sanierungskonzept Gewässersanierung nach Art. 80ff. Bericht im Auftrag der KWO.

KWO (2009): Stellungnahme der Kraftwerke Oberhasli AG zum Konzept des Kantons zur Gewässersanierung nach Art. 80ff GSchG. Ausarbeitung einer gewässerökologisch und landschaftlich optimierten Variante.

Limnex (2008): Restwasserführung in der Hasliaare. Gewässerökologische Untersuchungen von Hasliaare und Weisser Lütschine. Beurteilung einer zukünftigen Dotierung. Bericht im Auftrag der KWO (Autor Baumann P.).

Schweizer S., Neuner J., Ursin M., Tscholl H. und Meyer M. (2008): Ein intelligent gesteuertes Beruhigungsbecken zur Reduktion von künstlichen Pegel-schwankungen in der Hasliaare. «Wasser Energie Luft» 2008 (3): 209–215.

Schweizer S., Neuner J. und Heuberger N. (2009): Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines Öko-Logisch 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. Wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWOpplus. «Wasser Energie Luft» 2010 (4): 289–300.

SigmaPlan (2008): Sanierung Wasserentnahmen Kraftwerke Oberhasli AG.

Restwassersanierung nach Art. 80ff Gewässerschutzgesetz. Autoren Wagner T. & Zeh H..

SigmaPlan (2010a): Dotierversuche KWO 2008. Dokumentation und Ergebnisse. Bericht im Auftrag der KWO. Autoren Wagner T. & Zeh Weissmann H..

SigmaPlan (2010b): Dotierversuche KWO. Fotodokumentation. Bericht im Auftrag der KWO. Autoren Wagner T. & Zeh Weissmann H..

SigmaPlan (2010c): Kraftwerke Oberhasli. Restwasserbericht mit Schutz- und Nutzungsplanung Vergrösserung Grimselsee. Mit einer Gesamtübersicht über sämtliche im Rahmen der Restwassersanierung nach Art. 80 GSchG sowie des Investitionsprogramms KWOpplus vorgesehenen gewässerökologischen Massnahmen und einer gewässerökologischen Gesamtbilanz im Anhang. Bericht im Auftrag der KWO. Autoren Zeh Weissmann H. & Wagner T..

Uhlmann V. & Wehrli B. (2007a): Die Sicherung angemessener Restwassermengen – wie wird das Gesetz vollzogen. «Wasser Energie Luft» 2007 (4): 307–310.

Uhlmann V. & Wehrli B. (2007b): Vollzug der Restwassersanierungsvorschriften. Standortbestimmung nach 15 Jahren Inkraftsetzung des Gewässerschutzgesetzes. «Wasser Energie Luft» 2007 (4): 311–313.

Kontaktadressen

Steffen Schweizer
Dr. sc. ETHZ
Umweltnaturwissenschaften
Leiter Fachstelle Ökologie KWO
Kraftwerke Oberhasli AG
Grimselstrasse 19
CH-3862 Innertkirchen
Tel.: +41 33 982 20 11
Fax: +41 33 982 20 05
E-Mail: sste@kwo.ch
Internet: www.grimselstrom.ch

Heiko Zeh Weissmann
Dipl. Ing. Landschaftsplaner
SigmaPlan AG
Thunstrasse 91, CH-3006 Bern
Tel.: +41 31 356 65 65
E-Mail: hzeh@sigmaplan.ch

Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme

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

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 105. Jahrgang, 2013, Heft 3, CH-5401 Baden

Zusammenfassung

In der Hasliaare wurden zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen durchgeführt, die eine sehr gute Basis für eine ökologische Beurteilung der künstlichen Pegelschwankungen (Schwall/Sunk) bieten. Die Untersuchungen legen nahe, dass bei dieser Beurteilung auch der Einfluss der Morphologie berücksichtigt werden muss und dass für eine erfolgreiche ökologische Aufwertung der Schwallstrecke sowohl hydrologische als auch morphologische Verbesserungen nötig sind.

Keywords

Schwall/Sunk, Gewässerökologie, Hasliaare

Assainissement des éclusées dans la Hasliaare – Phase 1a: inventaire écologique des eaux

Résumé

Plusieurs études écologiques des eaux ont été menées dans l'Aar de Hasli, constituant une bonne base pour une évaluation écologique des variations artificielles de débit (éclusées). Les analyses démontrent la nécessité de tenir compte, dans cette évaluation, de l'influence de la morphologie et des corrections aussi bien hydrologiques que morphologiques pour la réussite d'une revalorisation de l'écosystème du tronçon à débit éclusé.

Mots-clés

Éclusée, écologie des eaux, Hasliaare (Aar de Hasli)

Risanamento dei deflussi discontinui nella Hasliaare – Fase 1a: valutazione globale dell'ecologia del corso d'acqua

Riassunto

Nella Hasliaare sono state eseguite molte analisi ecologiche delle acque, le quali offrono un'ottima base per la valutazione ecologica dei deflussi discontinui. Le analisi indicano che per questa valutazione bisogna tener conto anche della morfologia del corso d'acqua. Perché il miglioramento ecologico del tratto considerato abbia successo, sono necessari miglioramenti sia dal lato dell'idrologia sia da quello della morfologia.

Parole chiave

Deflussi discontinui, ecologia delle acque, Hasliaare

Abstract

The comprehensive study on river ecology at the Hasliaare river serves as a sound basis for the evaluation of the effects of hydropеaking on the ecological status of the river. However, the additionally impacted river morphology requires combined morphological and hydrological measures to archive successful ecological improvements.

1. Einleitung

In der Öffentlichkeit wird im Rahmen der Energiewende häufig über die zukünftige Rolle der Wasserkraft diskutiert. Neben der Energieproduktion muss dabei auch deren Funktion für die Netzstabilität und die Möglichkeit zur kurz- sowie langfristigen Speicherung von Energie genannt werden. Seit knapp 100 Jahren erfüllen die alpinen Speicherkraftwerke der Schweiz diese volkswirtschaftlich und gesellschaftlich

bedeutenden Aufgaben. In den meist sehr grossen Stauseen wird potenzielle Energie gespeichert, in dem Wasser gestaut wird. Je nach Bedarf wird das Wasser in die Kraftwerksturbinen geleitet, um Strom im gewünschten Ausmass zu produzieren.

Unterhalb der Wasserrückgabe führt dies zu variablen Abflussbedingungen (Schwall/Sunk). Für die aquatischen Organismen und die Bewohner der Wasserwechselzone kann dies unterschiedlich starke Folgen mit sich ziehen (Bruder et al. 2013a). Mit der 2011 in Kraft getretenen Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sollen unter anderem die wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall/Sunk bis 2030 behoben werden (Art. 39a GSchG). Dafür sind in erster Linie bauliche Massnahmen geplant, wie ein Speichervolumen zwischen Kraftwerk und Wasserrückgabe oder eine Direktableitung des turbinierten Wassers in ein grösseres Gewässer. Bei der ersten Variante können insbesondere die Änderungsraten im Abfluss gedämpft werden, während im zweiten Fall die künstlichen Pegelschwankungen durch ein Restwasserregime ersetzt werden. Auf Antrag der Kraftwerksbetreiber sind allerdings auch betriebliche Massnahmen (freiwillige Einhaltung von Grenzwerten wie z.B. maximaler oder minimaler Abfluss) möglich, bzw. eine Kombination mit einer baulichen Massnahme. 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 Geschiebehalt und Fischgängigkeit verwendet werden). Die Umsetzung der Schwall/Sunk-Sanierung erfolgt in insgesamt vier Phasen: Defizitanalyse, Erarbeitung von Sanierungsmassnahmen, Umsetzung der Massnahmen und Erfolgskontrolle.

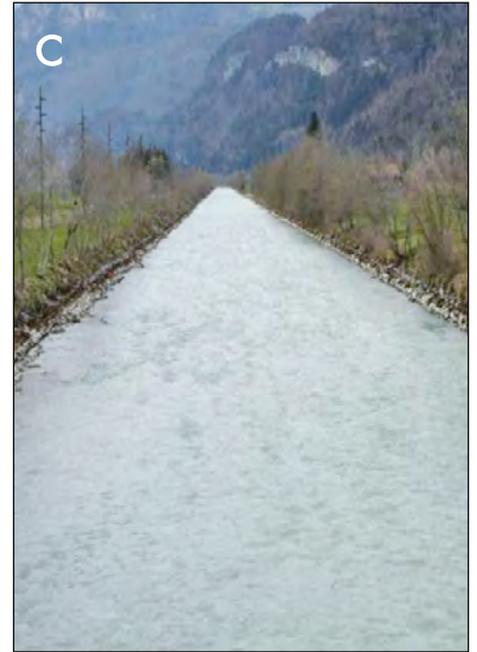
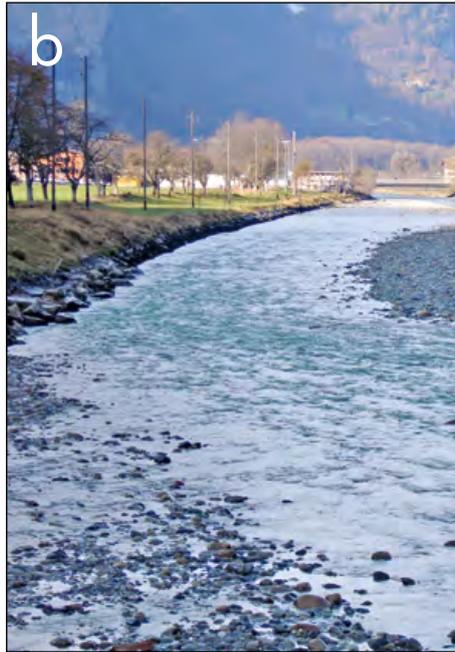


Bild 1: Die Hasliaare: Buhnen- (a), Kiesbank- (b) und Kanalstrecke (c).
 Fig. 1: Hasliaare: tronçons en épi - (a), - banc de gravier (b) et tronçons canalisés (c).

Im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus wird unter anderem die Zentrale Innertkirchen 1 mit einer zusätzlichen Turbine erweitert (Schweizer et al. 2012a). Damit wird die maximale Betriebswassermenge in Innertkirchen von heute 70 auf 95 m³/s erhöht. Ohne Gegenmassnahmen würde der Ausbau zu einer Verschärfung der künstlichen Pegelschwankungen führen. Daher wurde bereits bei der Planungsphase des Projekts ein Expertenteam (Limnex, Eawag, Büsser, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) damit beauftragt, eine Defizitanalyse durchzuführen und daraus Gegenmassnahmen abzuleiten. Die Abklärungen wurden in einer Begleitgruppe mit Vertretern vom Amt für Wasser und Abfall (Kanton Bern, Judith Monney und Vinzenz Maurer) und vom Bundesamt für Umwelt (Manfred Kummer, Diego Tonolla, Martin Huber-Gysi und Daniel Hefti) besprochen und koordiniert. Das beschriebene Untersuchungsprogramm bildete die Grundlage für die ersten beiden Phasen der Schwall/Sunk-Sanierung (Schweizer et al. 2013a, 2013b und 2013c).

2. Einzugsgebiet und Schwallstrecke

Das Einzugsgebiet der KWO erstreckt sich von der Wasserrückgabe in Innertkirchen (rund 600 m ü.M.) bis zum

Finsteraarhorn (4274 m ü.M.) auf eine Fläche von 450 km². Zwischen Innertkirchen und der Mündung in den Brienzensee verläuft die Hasliaare auf einer Strecke von rund 16 km als Schwallstrecke (Bild 1).

Direkt unterhalb der Wasserrückgabe durchfließt die Hasliaare auf einer Länge von 0.7 km einen Gewässerabschnitt mit Buhnen, an den sich die 1.9 km lange Aareschlucht anschliesst. Unterhalb der Schlucht verläuft die Hasliaare im Raum Meiringen zunächst als Kiesbankstrecke (1.4 km) und flussabwärts dann bis zur Mündung in den Brienzensee als Kanal (11.5 km). Aufgrund extrem hoher Beschattung und stark ausgeprägter seitlicher Einengung finden sich in der Schlucht sehr selten zu beobachtende hydraulische, morphologische und gewässerökologische Rahmenbedingungen. Daher wurde dieser Streckenabschnitt bei den Untersuchungen nicht berücksichtigt. Die mittlere Sohlenbreite der drei untersuchten Abschnitte variiert zwischen 34 m (Kiesbankstrecke), 27 m (Buhnenstrecke) und 20 m (Kanalstrecke). Sämtliche Abschnitte der Schwallstrecke sind morphologisch stark beeinträchtigt. Im oberen Bereich der Schwallstrecke liegt ein etwas höheres Gefälle mit rund 0.8 % gegenüber 0.5 % im unteren, kanalisiertem Bereich vor. Die mittlere Korn-

grösse (dm) in der Schwallstrecke fällt auf allen Abschnitten mit 13 cm relativ gross aus, ebenso das 90%-Perzentil (d90) mit 32 cm (Herzog 2010).

3. Gewässerökologische Untersuchungen

Das im Jahr 2007 begonnene Untersuchungsprogramm (Bild 2) berücksichtigt die Aspekte Abflussregime (Kap. 3.1), Wasser- und Sohlenqualität (Wassertemperatur, Nährstoffe, Kolmation; Kap. 3.2), Makrozoobenthos (MZB; Kap. 3.3) und Fische (Kap. 3.4). Durchgeführt wurden die Untersuchungen von spezialisierten Umweltbüros und Forschungseinrichtungen (Eawag, EPFL, FH Fribourg, TH München).

3.1 Hydrologie

3.1.1 Saisonale Aspekte des Abflussregimes mit und ohne Kraftwerksbetrieb

Rund 20 % des Einzugsgebiets der KWO sind vergletschert, wodurch unter natürlichen Verhältnissen (ohne Kraftwerkeinfluss) ein glazio-nivales Abflussregime mit einem stark ausgeprägten Maximum im Sommer resultieren würde. Trotz einer saisonalen Verlagerung der Stromproduktion vom Sommer in das Winterhalbjahr lassen sich auch heute klare saisonale Unterschiede im Abfluss

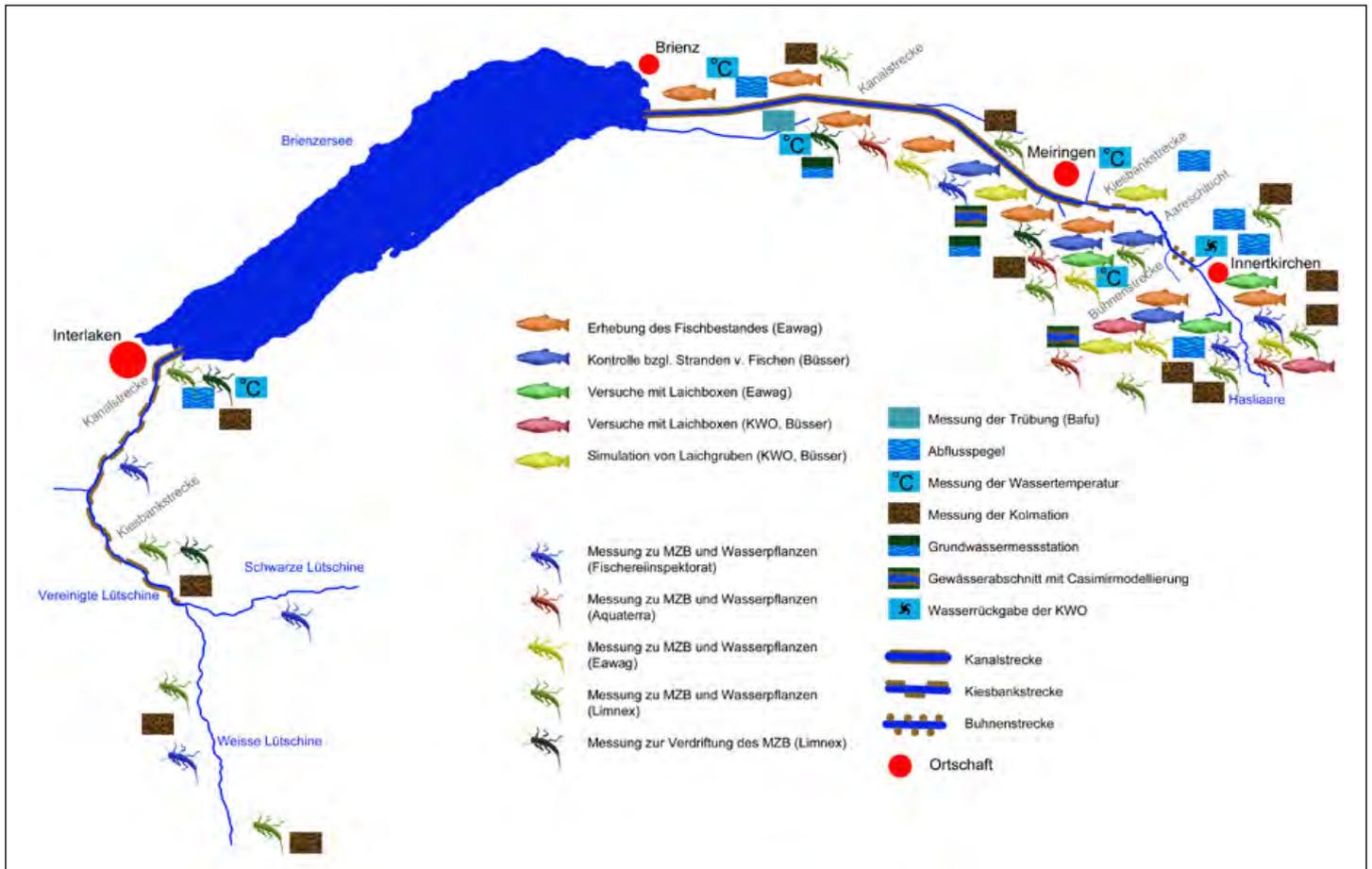


Bild 2: Gewässerökologische Untersuchungen in der Hasliare.
 Fig. 2: Analyses d'écologie des eaux dans la Hasliare.

erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Gadmental (rund 1/3 des genutzten Einzugsgebiets) keine grossen Wassermengen gespeichert werden und dass sich mit dem Einsetzen der Gletscherschmelze die Stauseen im Grimselgebiet relativ schnell füllen.

Hochwasserabfluss und Murgänge

Hochwasserereignisse treten typischerweise zwischen den Monaten Mai und Oktober auf. In Brienzwiler liegt das fünfjährige Hochwasser in der Grössenordnung von 250 m³/s. Mit ihren Stauseen konnte die KWO bereits mehrere Hochwasserspitzen im Talboden deutlich reduzieren. Beim bisher grössten registrierten Ereignis vom August 2005 konnte eine Abflussreduktion von 650 m³/s auf 520 m³/s in Brienzwiler erreicht werden (Bieri 2012).

Treten Hochwasserereignisse in der Aare mit Murgängen in den seitlichen Zuflüssen gleichzeitig auf, kann dies gravierende ökologische Folgen mit sich ziehen. In den letzten Jahren wurde

mit dem Auftauen von Permafrostböden ein sprunghafter Anstieg von Murgängen im Einzugsgebiet der KWO beobachtet. Der bisher schwerste Murgang (Spreitlauri, Aaretal von 2011) zog fast die gesamte Fischfauna sowie auch einen Grossteil des Makrozoobenthos in Mitleidenschaft.

Schnee- und Gletscherschmelze

Während der Monate April und September treten infolge von Schnee- und Gletscherschmelze deutlich höhere Abflüsse auf als im Winterhalbjahr. Da die Schmelzvorgänge von der Tagestemperatur und Einstrahlung abhängen, können in gletschergeprägten Flüssen häufig natürliche Abflussschwankungen bis zu einem Faktor von zwei bis drei (Mathez 2013, mdl.) im Tagesverlauf beobachtet werden. In der Schwallstrecke liegen die täglichen Abflussschwankungen i.d.R. in der gleichen Grössenordnung. Allerdings fallen die Änderungsraten und die Häufigkeit der Abflusszu- und abnahmen ungleich hö-

her aus und können daher nicht mit der natürlichen hydrologischen Variabilität verglichen werden.

Mittlerer Abfluss

Unterhalb der Wasserrückgabe bewirkt die saisonale Verlagerung der Stromproduktion eine künstliche Erhöhung der Abflüsse im Winter, resp. eine Reduktion in den Sommermonaten. Über das ganze Jahr betrachtet heben sich diese Effekte gegenseitig auf, sodass der mittlere jährliche Abfluss (35 m³/s bei der Wasserrückgabe) nicht oder nur geringfügig vom Kraftwerksbetrieb beeinflusst ist.

Statistischer Kennwert	Dezember bis März
Minimaler Abfluss (95%-Perzentil)	2.4 m ³ /s
Minimaler Abfluss (100%-Perzentil)	2.1 m ³ /s
Maximaler Abfluss (95%-Perzentil)	10.2 m ³ /s
Maximaler Abfluss (100%-Perzentil)	41.7 m ³ /s
Mittlerer Abfluss	5.0 m ³ /s

Tabelle 1: Statistische Kennwerte der winterlichen Abflüsse von 1913 bis 1921 (vor dem Bau der KWO)
 Tableau 1: Caractéristiques statistiques des débits hivernaux de 1913 à 1921 (avant la construction de la KWO).

Statistischer Kennwert	Hasliaare bei Wasserrückgabe in Innertkirchen	Pegel Meiringen-Schattenhalb	Pegel Brienzwiler
Minimaler Abfluss (95%-Perzentil)	3.1 m ³ /s	3.1 m ³ /s	3.1 m ³ /s
Minimaler Abfluss (100%-Perzentil)	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s
Maximaler Abfluss (95%-Perzentil)	42.2 m ³ /s	44.8 m ³ /s	45.4 m ³ /s
Maximaler Abfluss (100%-Perzentil)	52.8 m ³ /s	55.4 m ³ /s	56.0 m ³ /s
Schwallrate (95%-Perzentil)	1.36 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	0.86 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	0.76 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹
Schwallrate (100%-Perzentil)	1.77 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	1.11 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	0.99 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹
Sunkrate* (95%-Perzentil)	-0.70 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	-0.37 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	-0.20 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹
Sunkrate* (100%-Perzentil)	-1.28 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	-0.67 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹	-0.40 m ³ s ⁻¹ min ⁻¹

Tabelle 2: Statistische Darstellung der Schwallkennwerte für die winterlichen Abflüsse von 2008 bis 2012 (mit Kraftwerkseinfluss) für die Wasserrückgabe in Innertkirchen sowie für die Pegel Meiringen-Schattenhalb und Brienzwiler. *Bei der Sunkrate wurden nur Abflüsse < 8.1 m³/s berücksichtigt. Nur in diesem tiefen Abflussbereich besteht ein Risiko, dass Fische stranden (Schweizer et al. 2013a).
 Tableau 2: Présentation statistique des valeurs caractéristiques des débits hivernaux de 2008 à 2012 (avec influence de la centrale électrique) pour la restitution d'eau à Innertkirchen ainsi que du niveau d'eau pour Meiringen-Schattenhalb et Brienzwiler.

Niedrigwasserabfluss

Die natürliche Niedrigwasserperiode beginnt typischerweise im November und endet mit dem Einsetzen der Schneeschmelze im März. Aufgrund einer kantonalen Vereinbarung liegt der minimale Abfluss heute bei mindestens 3 m³/s (natürlicher Niedrigwasserabfluss Q₃₄₇ = 2.4 m³/s).

3.1.2 Fokussierung auf Niedrigwasserperiode

Während den Wintermonaten fallen die künstlichen Änderungen im Abflussregime am stärksten aus. Ausserdem finden in dieser Jahreszeit diverse gewässerökologische Schlüsselprozesse (u.a. Laichzeit der Bach- und Seeforelle, Entwicklung der meisten Insektenlarven) statt. In Absprache mit den Experten und den Begleitgruppenmitgliedern (Kap. 1) fokussiert sich daher der Grossteil der gewässerökologischen Arbeiten auf diese Jahreszeit. Allerdings wurden für bestimmte Thematiken (z.B. Lebenszyklus der Fische) auch die anderen Jahreszeiten miteinbezogen.

Natürliches Abflussregime der Aare im Winter (Referenz für natürliche Hydrologie)

Für die Dimensionierung der ersten Kraftwerke wurde zwischen den Jahren 1913 und 1921 der Abfluss in Innertkirchen aufgezeichnet. Ein minimaler Abfluss von rund 2 m³/s trat ausschliesslich im Winter auf (bei längeren Phasen mit kalter und trockener Wetterlage). Dagegen kamen im Winter höhere Abflüsse

nur während aussergewöhnlichen Föhn- oder relativ warmen und starken Niederschlagsereignissen vor. Auf die gesamte Wintersaison bezogen lag das Verhältnis von maximalem zu minimalem Abfluss zwischen 4:1 (95%-Perzentile als Grundlage) und 20:1 (100%-Perzentile als Grundlage). Allerdings kann diese natürliche hydrologische Variabilität nicht mit den täglichen Abflussschwankungen verglichen werden, da durch den Kraftwerksbetrieb die Geschwindigkeit und Häufigkeit der Abflussänderungen heute deutlich höher ausfällt.

Als eine weitere Referenz kann zudem die benachbarte Lutschine herangezogen werden, die hydrologisch nur geringfügig beeinflusst ist und morphologisch der heutigen Schwallstrecke sehr ähnlich ist (kanalisierte Abschnitte und Strecken mit Kiesbänken).

Heutiges Abflussregime der Aare als Bewertungsgrundlage

Für den heutigen Zustand des Abflusses liegen insgesamt drei verschiedene Datengrundlagen vor:

- Wasserrückgabewerte der Kraftwerke Innertkirchen 1 und 2 (15 Minutenwerte)
- Pegel Aare Meiringen-Schattenhalb (15 Minutenwerte, rund 3 km unterhalb der Wasserrückgabe)
- Pegel Aare Brienzwiler (15 Minutenwerte, rund 12 km unterhalb der Wasserrückgabe)

In Absprache mit den Experten und der Begleitgruppe wurde gemeinsam fest-

gelegt, dass bei den Untersuchungen die Abflussganglinien von November 2008 bis März 2012 herangezogen werden, da die KWO seit dieser Zeit regelmässig Systemdienstleistungen (SDL) anbietet (weitere Ausführungen zu SDL siehe Schweizer et al. 2013a).

Infolge einer freiwilligen Vereinbarung zwischen der KWO und dem Kanton beträgt der Mindestabfluss in der Hasliaare 3 m³/s und liegt damit etwas über dem natürlichen Tiefstwert (Tabelle 1). Dagegen treten aufgrund des Kraftwerksbetriebs heute deutlich höhere Winterabflüsse in der Hasliaare auf. Zwischen 2008 und 2012 lag der höchste beobachtete Abfluss mit 56 m³/s (Tabelle 2) allerdings deutlich unter dem Schwellenwert für ein Aufreissen der Sohlendeckschicht (150 – 180 m³/s, Hartlieb et al. 2007). In den letzten sieben Jahren lagen die Winterabflüsse stets unterhalb von 60 m³/s.

Aufgrund von grossmasstäblicher Rauheit werden deutliche Dämpfungseffekte der Schwall- und Sunkraten im Längsverlauf beobachtet (LCH 2010). Allerdings liegen die heute beobachteten Änderungsraten auch in Brienzwiler immer noch weit über den natürlich auftretenden Abflussschwankungen.

3.2 Weitere abiotische Untersuchungen

Wassertemperatur

Für eine Beurteilung des aktuellen Temperaturregimes kann auf die Aufzeichnungen vom Pegel Brienzwiler (10-Minuten-Intervall) sowie auf eine einjährige Messkampagne (Person et al. 2013) in der Bühnen-, Kiesbank- und Kanalstrecke (60-Minuten-Intervall) zurückgegriffen werden. Zusätzlich wurden auch die Daten der benachbarten Lutschine betrachtet (Station Gsteig mit 10-Minuten-Intervall). Aufgrund eines vergleichbaren Einzugsgebiets und des naturnahen Abflussregimes eignet sich die Lutschine sehr gut als Referenzgewässer.

Der Vergleich der beiden Flüsse zeigt, dass die täglich auftretenden maximalen Temperaturänderungsraten in der Hasliaare um rund ein Drittel höher ausfallen als in der Lutschine. Zudem treten in der Schwallstrecke rund doppelt so viele tägliche Temperaturpeaks auf.

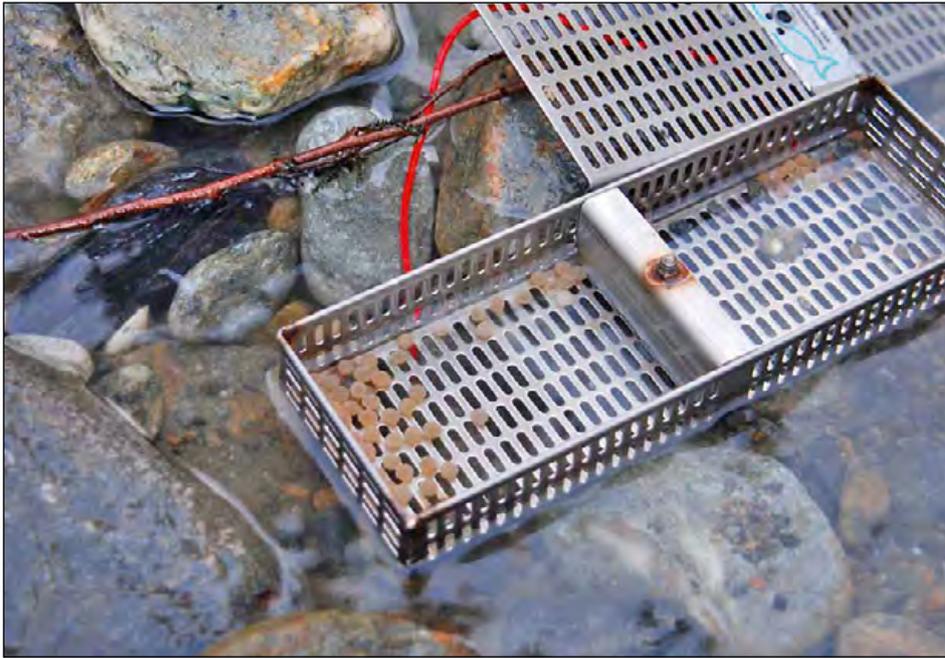


Bild 3: Befruchtete Eier in einer Laichbox.
Fig. 3: Des œufs fécondés dans un récipient de frai.

Es kann davon ausgegangen werden, dass diese künstlichen Änderungen im Temperaturregime einen langfristigen Einfluss auf die aquatischen Organismen ausüben (Schweizer et al. 2009, Bruder et al. 2012a). Wie verschiedene biologische Untersuchungen zeigen, dürften diese künstlichen Änderungen für die meisten Organismen allerdings in einem ökologisch tolerierbaren Bereich liegen (Bruno et al. 2009, Carolli et al. 2012, Limnex 2012).

Kolmation

Mit dem Kraftwerksschwall können sowohl die Schwebstoffkonzentration (insbesondere beim Abflussanstieg) als auch die Sohlenschubspannung und der hydraulische Gradient erhöht werden. Diese drei Einflüsse können zu einem verstärkten Eintrag von Feinpartikeln in das Porensystem der Sohle und damit zu einer stärkeren inneren Kolmation führen (Baumann et al. 2012). Bei den verschiedenen biologischen Feldarbeiten (Kap. 3.3 und 3.4) wurden jeweils auch die Bedingungen der Sohle (innere Kolmation) mit folgenden Methoden untersucht: Kolmation nach Schälchli (2002), entsprechend Modul Äusserer Aspekt (Binderheim & Göggel 2007) und mit der Kickfahnenprobe (Strohmeier et al. 2005).

Die Feldbeobachtungen wiesen mehrheitlich auf eine schwache bis mittlere innere Kolmation hin. Aufgrund der morphologischen Voraussetzungen treten Effekte einer äusseren Kolmation nur im Abschnitt in Innerkirchen im Zwischenraum der Buhnen auf. Zusätzlich wurden auch biologische Versuche mit Laichboxen durchgeführt (Haas & Peter 2009, KWO 2012a, Person et al. 2013). Dazu wurden im Herbst befruchtete Bachforelleneier in 20 wasserdurchlässige Brutboxen (Bild 3) gegeben, diese

verschlossen und anschliessend in der Gewässersohle vergraben. Im darauf folgenden März wurden die Boxen wieder gehoben und die Entwicklung der Eier (Augenpunktstadium) untersucht. Dabei wurden sehr hohe Überlebensraten von rund 95% festgestellt, die nur bei einer ausreichenden Zufuhr von Frischwasser im Zwischenbereich der Sohle erreicht werden können. Die Kontrollproben in der Brutanstalt lagen in der gleichen Grössenordnung. Daraus kann auf eine geringe bis mittlere Kolmation geschlossen werden.

Auch der Vergleich der Grundwasserganglinien von benachbarten Messstationen (Bild 2) mit der Abflussganglinie der Aare deuten auf einen aktiven hydraulischen Austausch zwischen Hasliare und Grundwasserleiter hin (Linxex 2012).

Gesamthhaft betrachtet zeigen diese Untersuchungsergebnisse, dass die Gewässersohle hinsichtlich ihrer hydrologischen und biologischen Funktionalität nicht wesentlich beeinflusst ist.

Wasserqualität

In den letzten zehn Jahren lagen die gemessenen Nährstoff- und Schadstoffwerte durchwegs im guten Bereich (Linxex 2012).

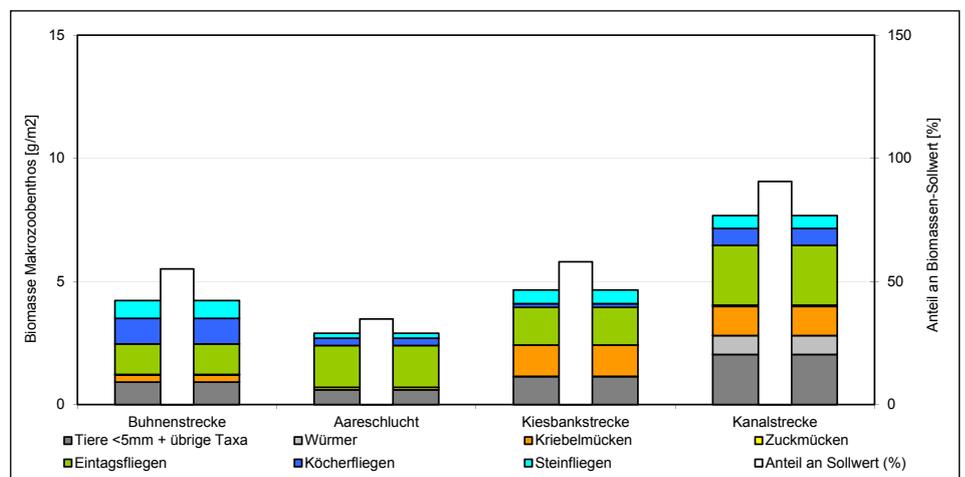


Bild 4. Biomasse (Primärachse) und Anteil am Biomassen-Sollwert nach Dückelmann (2001) (Sekundärachse) der Wirbellosen. Die weissen Säulen sind jeweils den bunten Säulen vorgelagert.
Fig. 4: Biomasse (axe primaire) et proportion à la biomasse - valeur cible des invertébrés (axe secondaire) selon Dunkelmann (2001). Les colonnes blanches sont antéposées aux colonnes colorées.

3.3 Untersuchungen zum Makrozoobenthos (MZB)

Besiedlung des MZB

In den letzten 15 Jahren wurde in der Schwallstrecke die Besiedlung der Gewässersohle durch Wasserinsekten und -pflanzen sehr detailliert untersucht (Vuille 1997, AquaTerra 2007, Limnex 2009, Tanno et al. 2013). Trotz künstlichem Abflussregime wurde eine weitestgehend natürliche Artenvielfalt (in der Kanalstrecke 35 und in der Kiesbankstrecke 45 taxonomische Einheiten) nachgewiesen (Bild 4). In den strukturreicheren Abschnitten liegt die Biomasse der Wirbellosen allerdings z.T. deutlich unter den Erwartungswerten für ein Fließgewässer mit der entsprechenden Höhenlage (Dückelmann 2001, Bild 4). Etwas überraschend fallen die Biomassen in der Kanalstrecke deutlich höher aus und erreichen in etwa den Biomassen-Sollwert. Dieses Ergebnis ist teilweise auf die lokale Dominanz von Würmern zurückzuführen.

Driftversuche

Im Frühling 2008 wurden ergänzend zu den Aufnahmen der Sohlenbesiedlung zwei Schwallversuche durchgeführt (Linxex 2009). Bei beiden Versuchen wurde mit Tauchpumpen und im Gewässer aufgestellten Netzen sowohl in der Kiesbank- als auch in der Kanalstrecke die Verdriftung der Wasserwirbellosen gemessen. Während beim ersten Schwallversuch die Wasserrückgabe in Innertkirchen innerhalb von fünf Minuten von 8 auf 62 m³/s gesteigert wurde, erfolgte die Rückgabe beim zweiten Schwallversuch deutlich gedämpfter (innerhalb von 30 Minuten). Bei beiden Schwallversuchen und in beiden Untersuchungsstrecken der Hasliaare nahm die Wirbellosen-Drift mit dem Abflussanstieg deutlich bis stark zu. Im weiteren Verlauf des Schwalldurchgangs (während einem konstant hohen Abfluss) sank die Verdriftung wieder auf ein tiefes bis mittleres Niveau ab. Sowohl die Verringerung der Schwallrate als auch die vielfältigere Morphologie in den alternierenden Kiesbänken bewirkten eine markante Reduktion (jeweils auf rund 30 – 50 %) der maximalen Konzentration an driftenden Organismen. Dieser Effekt kann

auf die längeren Reaktionszeiten und auf die grössere Anzahl an Rückzugsräumen in der Kiesbankstrecke zurückgeführt werden. Die heute regelmässig stattfindende Verdriftung reduziert die Gesamtbiomasse an Wirbellosen und dürfte daher die Hauptursache für die relativ tiefen Biomassenwerte (s.o.) sein.

Habitatmodellierung

Zusätzlich zu den Feldmessungen wurde auch eine hydraulische Modellierung der Lebensräume für das MZB vorgenommen (Tanno et al. 2013). Dafür wurde, wie bei einer ähnlichen Studie am Alpenrhein (Eberstaller 2012), der Ansatz vom CASiMiR-Modell (Jorde 1997, Schneider 2001) gewählt. Diese Art der Modellierung verknüpft hydraulische Aspekte mit biologischen Lebensraumansprüchen, wobei explizit die dabei auftretende Unschärfe berücksichtigt wird (Zadeh 1965). Mit Hilfe des CASiMiR-Modells wurden die mit dem Abfluss wechselnden Bedingungen u.a. für die Biomasse und die Artenvielfalt des MZB simuliert. Während im Winter die benthische Besiedlung tendenziell stärker durch das künstliche Abflussregime beeinflusst wird, beschränkt im Frühjahr und im Sommer die relativ eintönige Morphologie die natürliche Entwicklung der Insektenlarven.

3.4 Untersuchungen zu den Fischen

Eine vollständige Beurteilung der Fischökologie erfordert die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus der vorkommenden Fischarten und der damit verbundenen wechselnden Ansprüche. Im Einzelnen müssen für das Vorkommen einer natürlichen Fischfauna u.a. folgende Anforderungen erfüllt sein:

- Geeignetes Laichsubstrat und günstige hydraulische Bedingungen während der Paarung
- Stabile und permanent durchflossene Laichgruben bis die Fischlarven das Kiesbett verlassen
- Ausreichender Lebensraum für Brutlinge, Jungfische und adulte Tiere
- Genügendes Nahrungsangebot
- Gute Wasserqualität (insbesondere Sauerstoffgehalt, Wassertemperatur, Nährstoffe, Verunreinigungen).

Hinsichtlich Schwall/Sunk sind für die Hasliaare vor allem die oberen vier Punkte relevant.

Fischregion

Die Lebensbedingungen (z.B. Breite, Fließgeschwindigkeit, Wassertemperatur) in einem Fließgewässer ändern sich mit dem Längsverlauf und damit auch die Zusammensetzung der aquatischen Arten (Vannote et al. 1980). Auf diese Weise kann z.B. jeder Flussabschnitt einer Fischregion zugeordnet werden (Huet 1949). Im Fall der Hasliaare ergibt sich eine Einteilung in die untere oder in den Übergang zwischen unterer und oberer Forellenregion (Linxex 2012).

Bestand der Fischfauna

Aufgrund der Trübung in der Hasliaare und der schwierigen Zugänglichkeit in das Gewässer konnten nur halbquantitative Uferstreifenbefischungen durchgeführt werden. Insgesamt wurden neben den heimischen Arten von Bach- und Seeforelle, Groppe und Trüsche auch eine standortfremde Art (Bachsaibling) angetroffen. Wie fischökologisch zu erwarten ist, wird die Fischpopulation in der Hasliaare von der Bachforelle klar dominiert. Das Vorkommen und die Dominanzverteilung der Fischarten entsprechen damit der zugeordneten Fischregion (Haas & Peter 2009).

Sowohl die Individuendichten als auch die Biomassen der Bachforellen fielen sehr tief aus. Aufgrund der sehr geringen Dichten an Jungfischen kann die Altersstruktur der Fischpopulation als stark beeinträchtigt charakterisiert werden. Dies ist neben dem künstlichen Abflussregime auch auf die relativ eintönige Morphologie mit fehlenden Jungfischhabitaten zurückzuführen (Haas & Peter 2009).

Habitatmodellierung

Zusätzlich wurde eine hydraulische Modellierung der Lebensräume für die verschiedenen Lebensstadien der Bachforelle durchgeführt (Person et al. 2013). Für die Simulationen wurde wie bei der Habitatmodellierung des MZB der CASiMiR-Ansatz (Jorde 1997, Schneider 2001) gewählt.

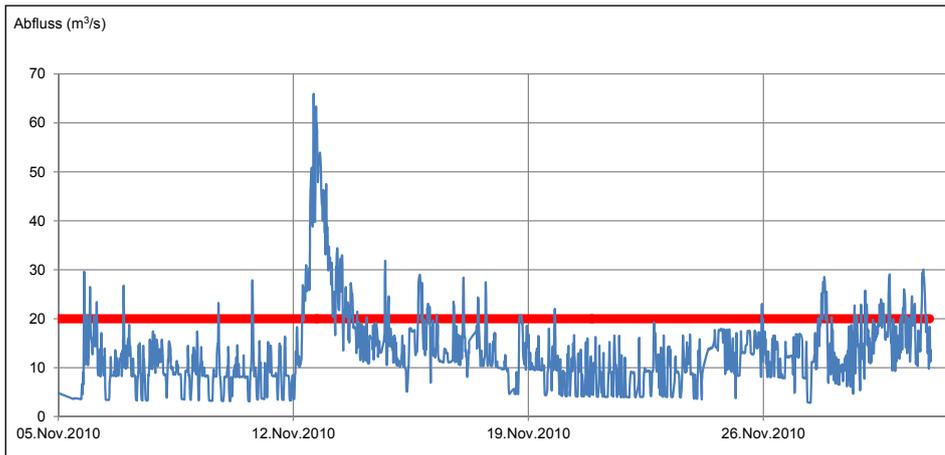


Bild 5: Typische Abflussganglinie der Aare in der Kiesbankstrecke für November 2010. In diesem Flussabschnitt treten günstige Laichbedingungen bei Abflüssen $< 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (rote Linie) auf.

Fig. 5: Hydrogramme d'écoulement typique de l'Aar dans le tronçon de banc de gravier en novembre 2010. Dans ce tronçon fluvial, des conditions favorables de frai se manifestent lors des débits de $< 20 \text{ m}^3/\text{s}$ (ligne rouge).

Lebensstadium natürliche Reproduktion (Paarung)

Für das Verlaichen werden von den Bach- und Seeforellen bestimmte hydraulische Bedingungen und Substrateigenschaften bevorzugt. So werden niedrige bis mittlere Fließgeschwindigkeiten ($20\text{--}70 \text{ cm/s}$), Abflusstiefen grösser als 10 cm und eine kiesige Gewässersohle mit einer guten Durchströmung favorisiert (Riedl & Peter 2013). Für ein erfolgreiches Laichen müssen diese Bedingungen über mehrere Stunden eingehalten werden, kürzere Unterbrüche können toleriert werden (Göz & Meyer 2012, mdl.). Feldbeobachtungen zeigten zudem, dass Seeforellen in der Hasliaare (oberhalb der Wasserrückgabe) vorwiegend eine Stunde vor Beginn der Abenddämmerung mit den Vorbereitungen für die Verlaichung beginnen und bis tief in die Nacht damit beschäftigt sind.

Auf Basis der Habitatmodellierung konnten für jeden Abschnitt in der Schwallstrecke die für die Verlaichung günstigen hydraulischen Bedingungen abgeschätzt werden.

Felduntersuchungen zeigten, dass nur wenig günstiges Laichsubstrat in der Schwallstrecke vorhanden ist (Limnex 2012). Im überwiegenden Teil der Schwallstrecke sind die Korngrößen tendenziell zu gross für das Abblachen von Bach- und Seeforellen. Wie hydraulische Untersuchungen (Hartlieb et al. 2007, Schneider & Jorde Ecological En-

gineering 2012) allerdings zeigen, ist das Fehlen kleinerer Korngrößen nicht auf den Kraftwerksbetrieb zurückzuführen. Indessen hängen die hydraulischen Bedingungen sowohl vom Kraftwerksbetrieb als auch von der Flussmorphologie ab. Für die Kanal- und die Bühnenstrecke existieren nur unterhalb von $5 \text{ m}^3/\text{s}$ günstige Laichbedingungen, während in der Kiesbankstrecke bis $20 \text{ m}^3/\text{s}$ gute Verhältnisse vorliegen. Im zuletzt genannten Abschnitt treten bereits heute während der Laichzeit längere Perioden mit diesen Bedingungen auf (Bild 5).

Lebensstadium Entwicklung des Laichs
Damit sich die in der Sohle abgelegten Eier bis zum Frühling erfolgreich entwickeln können, müssen sie permanent über ausreichend Frischwasser verfügen. Daher darf die Laichgrube weder trockenfallen, zufrieren noch darf die Sohle zu stark kolmatieren. Ausserdem darf es während dem Heranreifen der Eier zu keinen stärkeren Bewegungen der Sohle infolge von hohen Abflüssen kommen.

Mit Versuchen von Laichboxen (Kap. 3.2 Bild 3) konnte nachgewiesen werden, dass bereits heute hinsichtlich minimalem Abfluss und innerer Kolmation gute Bedingungen für die Entwicklung der Bachforelleneier vorliegen (Haas & Peter 2009, KWO 2012a). Die Stabilität der Laichgruben konnte sowohl mit einer hydraulischen Modellierung (Schneider & Jorde Ecological Engine-

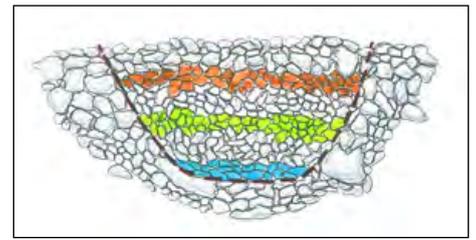


Bild 6: Schematische Illustration einer künstlichen Laichgrube mit drei Schichten verschiedenfarbiger Steine (mit Korndurchmessern von 10 bis 65 mm). Die Schichtdicke der gefärbten Steine beträgt jeweils 5 bis 7 cm . Die blauen Steine liegen rund 45 cm , die gelben Steine 25 cm und die orangen Steine 15 cm unterhalb der Gewässersohle. Die gestrichelte Linie stellt die ca. 50 cm tiefe Grube dar.

Fig. 6: Illustration schématique d'une frayère artificielle avec trois couches de pierres (diamètre des grains de 10 à 65 mm) de différentes couleurs. L'épaisseur des couches des pierres colorées est entre 5 et 7 cm . Les pierres bleues se trouvent environ à 45 cm , les pierres jaunes à 25 cm et les pierres oranges à 15 cm en-dessous du fond du lit. La ligne hachurée représente la fosse d'une profondeur d'environ 50 cm .

ring 2012) als auch mit einem physikalischen Modellversuch (Hartlieb et al. 2007) nachgewiesen werden. Da beide Ansätze von einer Deckschichtbildung ausgehen und diese bei natürlichen Laichgruben nicht gegeben ist, wurden im Frühling 2012 zusätzlich noch Felduntersuchungen direkt in der Hasliaare durchgeführt (KWO 2012b). Dafür wurden in der Kiesbankstrecke zwei repräsentative Stellen ausgewählt, die auch für Fische als potentielle Laichplätze attraktiv wären. Während tiefem Abfluss wurde jeweils eine Laichgrube mit einer Tiefe von rund 50 cm von Hand ausgehoben und mit drei Schichten von vorher eingefärbten Steinen aufgefüllt (Bild 6). Die Lage der drei Schichten orientierte sich dabei an wissenschaftlichen Arbeiten und Feldbeobachtungen. Für Bachforellen werden Tiefen von 0 bis 25 cm (Ottoway et al. 1981) und für Seeforellen Tiefen bis 50 cm (Rubin et al. 2004, Fischereinspektorat des Kanton Bern 2012 – mdl.) berichtet.

Mehrere Tage nach der Installation der künstlichen Laichgruben wurde die Stromproduktion in Innertkirchen für mehrere Stunden erhöht. Mit dem Zufluss aus dem Zwischeneinzugsgebiet resultierte so ein Abfluss von knapp 110

m³/s. Daran anschliessend erfolgte eine Feldbegehung (bei Niedrigwasser), bei der die gefärbten Steine an ihrem ursprünglichen Ort wieder gefunden wurden. Mit dieser Versuchsanordnung wurde der Praxisnachweis erbracht, dass an den ausgewählten Stellen die Laichgruben solange stabil sind, bis die Fischlarven die Sohle verlassen. In der Zwischenzeit konnten diese Resultate für weitere Stellen in allen Gewässerabschnitten der Schwallstrecke bestätigt werden

Lebensstadium Fischlarven und Jungfische

In der Hasliaare erfolgt das Schlüpfen der Fischlarven in der Regel zwischen März und April. Die Brütlinge und auch die etwas älteren Sömmerlinge benötigen als Lebensraum flache und gleichzeitig leicht durchströmte Flächen, wie sie an natürlichen flachen Uferpartien anzutreffen sind. Die relativ eintönige Morphologie, die seitlichen Begrenzungen und die künstliche (steile) Ufergestaltung sind dafür verantwortlich, dass nur bei vergleichsweise tiefen Abflüssen günstige Lebensbedingungen für Jungfische bestehen. Für jeden Gewässerabschnitt wurde mit der CASiMiR-Modellierungen der kritische Abfluss bestimmt, oberhalb dessen die Lebensräume für Jungfische verschwinden. In der Kanal- und Bühnenstrecke beträgt der kritische Abfluss 5 m³/s und in der Kiesbankstrecke 20 m³/s (Bieri 2012, Person et al. 2013). Ein Vergleich mit den historischen Abflüssen (Kap. 3.1.2) zeigt, dass bereits im Mai der natürliche mittlere Monatsabfluss mit 45 m³/s diese kritischen Werte deutlich überschreitet. Dagegen treten während der Entwicklung der jungen Fische (April bis September) keine ökologisch kritischen Niedrigwasserperioden auf. In dieser Zeit sind insbesondere die Zuflüsse aus dem Gadmental sehr hoch, da in diesem Gebiet keine Speichermöglichkeiten vorhanden sind (Kap. 3.1.1). Das Fehlen der Jungfischhabitats ist während des Sommerhalbjahrs daher vorwiegend auf die Flussmorphologie zurückzuführen.

Allerdings müssen bei einer fischökologischen Beurteilung auch die heutigen

unnatürlich hohen Schwall- und Sunkraten in der Hasliaare berücksichtigt werden. Während ein zu schneller Anstieg im Abfluss die Verdriftung begünstigt, kann ein zu rascher Rückgang zum Stranden der Tiere führen. Aufgrund der eintönigen Morphologie wurde ein Stranden von Jungfischen allerdings nur in Einzelfällen und unter Extrembedingungen (sehr ausgeprägte Minimalabflüsse) beobachtet (Limnex 2012). Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass eine wesentliche Verbesserung der fischökologischen Situation nur mit einer Kombination aus morphologischer Aufwertung und hydrologischer Sanierung erreicht werden kann.

Lebensstadium adulte Fische

Entsprechend dem Grössenwachstum bevorzugen die adulten Tiere höhere Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertiefen als die Jungfische. Die CASiMiR-Modellierungen zeigen, dass in der Kanalstrecke bereits bei tiefen Abflüssen (25 m³/s) das Lebensraumangebot durch die einförmige Morphologie begrenzt wird (Bieri 2012), während in der Kiesbankstrecke noch geeignete Stellen bis rund 40 m³/s anzutreffen sind. Vereinzelt können in Innertkirchen in den Zwischenbereichen der Bühnen

auch bei hohen Abflüssen (100 m³/s) noch geeignete Habitate für adulte Forellen beobachtet werden. Um die hier angegebenen Abflusswerte fischökologisch einordnen zu können, sollte der natürliche mittlere Monatsabfluss im Juli mit rund 90 m³/s herangezogen werden.

Für eine naturnahe Entwicklung der Fische spielen zudem die Nahrungverfügbarkeit und die Unterstände eine entscheidende Rolle. Aufgrund der relativ geringen Fischdichte dürfte sich das Nahrungsangebot nicht limitierend auswirken (Limnex 2009 und 2012). Dagegen führen die künstlichen Uferverbauungen sowie die unnatürliche Ufervegetation zu einem Defizit an Unterständen, in denen sich die Fische vor Prädatoren (z.B. Vögel, Fischer) effizient schützen können.

Wanderung Seeforelle

Neben den bereits beschriebenen fischökologischen Aspekten kommt der Schwallstrecke auch eine wichtige Bedeutung als Wanderkorridor und teilweise auch als Laichgebiet für die Seeforelle (Bild 7) zu. Im Herbst steigen die geschlechtsreifen Seeforellen vom Brienzensee zu ihren Laichgründen im Raum Meiringen und Innertkirchen auf. Wie



Bild 7: Seeforellenpärchen in der Hasliaare
Fig. 7: Une paire de truites d'eau douce dans la Hasliaare.

bei den Bachforellen werden Laichgruben angelegt, die Eier reifen über den Winter heran, um im darauffolgenden Frühling zu schlüpfen. Die jungen See-forellen bleiben das erste und vermutlich häufig auch ihr zweites Lebensjahr in ihrem angestammten Laichgewässer, bevor sie zum Brienersee abwandern und vier bis fünf Jahre nach dem Schlüpfen zum ersten Mal zum Abflachen wieder in die Hasliaare zurückkehren. Die jährlichen Fangerfolge beim Laichfischfang belegen, dass trotz künstlicher Pegelschwankungen und der einförmigen Morphologie der Aufstieg der Seeforelle gelingt.

4. Diskussion und Schlussfolgerungen

Dank der zahlreichen Untersuchungen kann die heutige gewässerökologische Situation relativ gut und umfassend beschrieben werden. Mit den durchgeführten Arbeiten wurden einerseits die bestehenden ökologischen Defizite identifiziert und andererseits die Widerstandsfähigkeit und Toleranz des gewässerökologischen Systems auf Abflussregime und Morphologie dokumentiert.

Abiotische Aspekte

Wie die umfangreichen Untersuchungen zur Gewässersohle zeigen, führt das Abflussregime der Hasliaare weder zu einer starken Sohlenkolmation noch zu einer Abnahme an Laichsubstrat (Limnex 2012, Schneider & Jorde Ecological Engineering 2012). Aufgrund einer kantonalen Vereinbarung, die einen minimalen Abfluss von rund 3 m³/s festlegt, tritt gemäss BAFU-Vollzugshilfe auch keine ökologische Beeinträchtigung durch einen zu geringen Niedrigwasserabfluss auf (Baumann et al. 2012). Zudem zeigen die chemischen Untersuchungen eine gute bis sehr gute Wasserqualität.

Allerdings wird durch den Kraftwerksbetrieb eine Änderung des Temperatur- und Trübstoffregimes verursacht. Bei den aquatischen Organismen können dadurch Beeinträchtigungen hinsichtlich Lebensrhythmus und Stoffwechsel hervorgerufen werden (Schweizer et al. 2009). Jedoch deuten die biologischen Untersuchungen darauf hin, dass diese

Stressfaktoren im Gegensatz zu den morphologischen und hydrologischen Beeinträchtigungen (z.B. Verdriftung von Organismen) eine untergeordnete Rolle einnehmen.

MZB

Neben der Besiedlung der Invertebraten wurde auch deren Verdriftung in Abhängigkeit von Abfluss und Schwallrate detailliert untersucht (Limnex 2009 und 2012). Während die Artenvielfalt der Wirbellosen als standorttypisch bezeichnet werden kann, ist die Biomasse in der Schwallstrecke deutlich reduziert. Die Ergebnisse der Driftversuche von 2008 deuten darauf hin, dass die verringerte Biomasse auf eine verstärkte Verdriftung der Invertebraten zurückzuführen ist. Diese Untersuchungen zeigen ausserdem, dass die Verdriftung vor allem vom Abflussanstieg und von der Morphologie abhängt, während der maximale Abflusswert eine weniger entscheidende Rolle spielt. Um eine Erhöhung der benthischen Biomasse zu erreichen, muss die Sanierungsplanung daher auf eine Reduktion der Schwallrate und auf morphologische Aufwertungen in der Schwallstrecke fokussieren.

Fische

Für eine erfolgreiche Reproduktion der standortgerechten Fischfauna müssen die Ansprüche aller Lebenszyklen erfüllt werden. Die durchgeführten fischökologischen Untersuchungen belegen, dass das künstliche Abflussregime weder die Bedingungen für die Verlaichung (nur Kiesbankstrecke) noch die Entwicklung des Laichs wesentlich beeinträchtigen. In der Kiesbankstrecke verschwinden die Lebensräume für Brütlinge und Jungfische bei Abflüssen über 20 m³/s, resp. oberhalb von 5 m³/s in der Bühnen- und in der Kanalstrecke (Bieri 2012, Person et al. 2013). Da der natürliche Abfluss bereits im Mai mit 45 m³/s deutlich über dieser Schwelle liegt, lässt sich das Fehlen der Jungfischhabitate in erster Linie auf die morphologischen Verhältnisse zurückführen. Für die adulten Forellen stellt sich die Situation etwas differenzierter dar. Während der Schnee- und Gletscherschmelze fehlen auch unter natürlichen Abflussbedingungen geeig-

nete Lebensräume in der Kanal- und Kiesbankstrecke. Dagegen bieten die Zwischenräume der Bühnen auch bei hohen Abflüssen noch geeignete Habitate für die erwachsenen Tiere. In allen Abschnitten dürfte allerdings das geringe Angebot an geeigneten Unterständen limitierend wirken.

Neben der Morphologie müssen jedoch auch die hohen Anstiegs- und Rückgangsraten im Abfluss als deutliche Beeinflussung der Fischfauna berücksichtigt werden. Insbesondere dürfte ein schneller Abflussanstieg zu einer erhöhten Verdriftung von Jungfischen führen. Aufgrund der eintönigen Morphologie fällt das Risiko des Strandens für Jungfische hingegen eher gering aus (Limnex 2012).

Die Untersuchungsergebnisse zeigen damit deutlich, dass eine fischökologische Verbesserung nur durch eine Kombination aus hydrologischer und morphologischer Massnahmen erzielt werden kann. Bei den morphologischen Verbesserungen sollte die Bildung von flachen Uferbereichen im Vordergrund stehen, die sowohl bei tiefen als auch bei hohen Abflüssen Lebensräume für Jungfische bieten. Zusätzlich würde eine natürliche Ufervegetation die Quantität und Qualität der Unterstände für erwachsene Forellen erhöhen. Aufgrund der sehr hohen Abflüsse während der Schnee- und Gletscherschmelze wäre eine permanente Reduktion des Abflusses im Sommer nur mit einer Direktableitung in den Brienersee möglich. Diese Option ist allerdings mit extrem hohen Kosten verbunden. Aufgrund des Kosten/Nutzen-Verhältnisses drängt sich daher ein Speicher zwischen Turbinenausfluss und Wasserrückgabe auf, um sowohl die Schwall- als auch die Sunkraten zu reduzieren. Damit würden die aquatischen Organismen in Zukunft längere Reaktionszeiten erhalten, um sich den wechselnden Abflussbedingungen anpassen zu können. Für die Festlegung des Speichervolumens und der Speichersteuerung bedarf es noch weitergehende Abklärungen, die in den Folgeartikeln detailliert beschrieben sind (Schweizer et al. 2013a, 2013b, 2013c).

5. Danksagung

Dieser Artikel basiert zum überwiegenden Teil auf den Vorarbeiten, Untersuchungen, Erfahrungen und dem einmaligen Wissen von Peter Baumann. Er hinterlässt nicht nur in diesem Projekt eine kaum zu schliessende Lücke im Fachbereich der Gewässerökologie.

Für die fachlich hervorragende und die sehr konstruktive 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) sowie Armin Peter und Emilie Person (beide Eawag) bedanken.

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

6. Literatur

AquaTerra (2007): Umweltverträglichkeitsbericht Kraftwerk Innertkirchen 1, Aufwertung 2te Etappe. Fachbereich Gewässerökologie. Bericht im Auftrag der KWO (Autoren: Lubini V. & Meier C.).

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., Zürich, Schweiz.

Binderheim E. & Göggel W. (2007): Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Äusserer Aspekt. Schriftenreihe Umwelt Vollzug Nr. 0701. Bundesamt für Umwelt, Bern: 43 S.

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.

Bruno M. C., Maiolini B., Carolli M. und Silveri L. (2009): Impact of hydropeaking on hyporheic invertebrates in an Alpine stream (Trentino, Italy). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology* 45, 157–170.

Carolli M., Bruno M. C., Siviglia A. und Maiolini B. (2012): Responses of benthic invertebrates to abrupt changes of temperature in flume simulations. *River Research and Applications* 28 (6), 678–691.

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

Eberstaller J., Frangez C., Schneider M., Kopecki I., Baumann P. und Wächter K. (2012): Alpenrhein D6: Quantitative Analyse von Schwall/Sunk-Ganglinien für unterschiedliche Anforderungsprofile. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein.

Fischereiinspektorat des Kanton Berns (2012): Mündliche Mitteilung der Fischereiaufseher Flück M. & Rieder B..

Göz D. & Meyer M. (2012): Beobachtungen der Laichaktivitäten von Bach- und Seeforellen im Oberhasli. Mündliche Mitteilung, unveröffentlicht.

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

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

Herzog B. (2010): Umweltverträglichkeitsbericht Aufwertung KW Innertkirchen 1, 2. Etappe. Fachbereich Hydraulik der Oberflächengewässer. Bericht im Auftrag der KWO.

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

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

KWO (2012a): Untersuchungen zur Reproduktion der Bachforelle (*Salmo trutta fario*) in der Hasliaare. Installation von Laichboxen im Winterhalbjahr 2011/12. (Autor: Meyer M.).

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

LCH (2010): Abschätzung der dämpfenden Wirkung von grossmassstäblischen Uferauferungen 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 (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. 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.).

Mathez C. (2013, mündliche Mitteilung): Statistische Analyse des Einflusses von Gletscher- und Schneeschmelze auf das tägliche Abflussregime.

- 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.
- Riedl C. & Peter A. (2013): Timing of brown trout spawning in Alpine rivers with special consideration of egg burial depth. Eingereicht in *Ecology of Freshwater Fish*.
- Rubin J.F., Glimsäter C. und Jarvi T. (2004): Characteristics and rehabilitation of the spawning habitats of the sea trout, *Salmo trutta*, in Gotland (Sweden). *Fisheries Management and Ecology* 11: 15–22.
- Schälchli U. (2002): Innere Kolmation. Methoden zur Erkennung und Bewertung. Bericht im Auftrag von Fischnetz c/o EAWAG, Dübendorf, 22 S.
- Schneider, M. (2001): Habitat und Abflussmodellierung für Fließgewässer mit unscharfen Berechnungsansätzen. Dissertation, University of Stuttgart, 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., Tuhtan J.)
- 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., 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. *«Wasser Energie Luft»* 2013(4): 269–276.
- 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): 277–287.
- Strohmeier P., Bruckner G., Schlumprecht H. und Strätz C. (2005): Verschlammung und Versandung oberfränkischer Fließgewässer. Hrsg.: Bezirk Oberfranken, Bezirksfischereiverband Oberfranken, Landesfischereiverband Bayern.
- 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. *«Wasser Energie Luft»* 2013(4): 288–296.
- 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 Fischereiinspektorats.
- Zadeh L.A. (1965): Fuzzy Sets. *Journal of Information and Control* 8: 338-353.

Kontaktadresse

Steffen Schweizer
 Dr. sc. ETHZ
 Umweltnaturwissenschaften
 Leiter Fachstelle Ökologie KWO
 Kraftwerke Oberhasli AG
 Grimselstrasse 19
 CH-3862 Innertkirchen
 Tel.: +41 33 982 20 11
 Fax: +41 33 982 20 05
 E-Mail: sste@kwo.ch
 Internet: www.grimselstrom.ch

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

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 105. Jahrgang, 2013, Heft 3, CH-5401 Baden

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.

Keywords

Schwall/Sunk, BAFU-Vollzugshilfe, Hasliaare

Assainissement des éclusées dans la Hasliaare – Phase 1b: Évaluation écologique de l'état réel à l'aide des 12 indicateurs de OFEV- aide à l'exécution.

Résumé

Plusieurs études de l'écologie des eaux ont été effectuées dans la Hasliaare,

offrant une bonne base pour une évaluation en se fondant sur l'aide à l'exécution de l'OFEV «Assainissement des éclusées – planification stratégique». Dans le cadre d'un groupe suivi (OFEV et bureau cantonal bernois pour les eaux et les déchets), une équipe de spécialistes (Limnex AG, Eawag, Büsser, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) a été mandatée afin d'appliquer tous les indicateurs de l'aide à l'exécution. Lors de l'évaluation, il fallait tenir compte en outre de l'influence de la morphologie. Il fallait également ajuster la méthodologie (aide à l'exécution de l'OFEV). Lors d'un atelier commun, l'équipe d'experts et le groupe de suivi ont déterminé l'évaluation finale pour tous les indicateurs et pour les différents tronçons d'eau. Il a été constaté qu'aussi bien des corrections hydrologique que morphologique sont requises pour un assainissement réussi d'un tronçon éclusé.

Mots-clés

Eclusée, OFEV- aide à l'exécution, Hasliaare (Aar de Hasli)

Risanamento dei deflussi discontinui nella Hasliaare – Fase 1b: Valutazione ecologica dello stato attuale sulla base dei 12 indicatori dell'attuale modulo dell'aiuto all'esecuzione dell'UFAM

Riassunto

Le molteplici analisi ecologiche delle acque eseguite nella Hasliaare offrono un'ottima base per una valutazione secondo l'aiuto all'esecuzione «Risanamento deflussi discontinui – Pianificazione strategica» dell'UFAM. Nell'ambito di un gruppo d'accompagnamento (ufficio federale dell'ambiente e ufficio dell'acqua e dei rifiuti del Canton Berna) un team di esperti (Limnex AG,

Eawag, Büsser, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) è stato incaricato di utilizzare tutti gli indicatori dell'aiuto all'esecuzione. Per la valutazione doveva essere considerato anche l'influsso della morfologia. Inoltre si sono rese necessarie modifiche alla metodologia (aiuto all'esecuzione dell'UFAM). Durante un workshop in comune il team di esperti e il gruppo d'accompagnamento hanno definito la valutazione finale per tutti gli indicatori e per tutti i tratti del fiume. È risultato che per risanare con successo i deflussi discontinui sono necessari miglioramenti sia dal lato idrologico sia da quello della morfologia.

Parole chiave

Deflussi discontinui, aiuto all'esecuzione dell'UFAM, Hasliaare

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 hydro-

peaking impacts both, hydrological and morphological measures are required.

1. Einleitung

Wasserkraftwerke mit grossen Speicherseen 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 können 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 Grenzwer-

ten wie z.B. maximaler oder 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 Geschlechtsbehalt 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.

In der vom BAFU herausgegebenen Vollzugshilfe «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» (Bau-

mann 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



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

Fig. 1a et 1b: Hasliaare dans la région de Meiringen (banc de gravier) à faible débit (à gauche, env. 3 m³/s) et à débit moyen (à droite, env. 60 m³/s).

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 Lutschine als Referenzgewässer herangezogen (Schweizer et al. 2013a). Die Lutschine 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.

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 einzuspeisen 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 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.

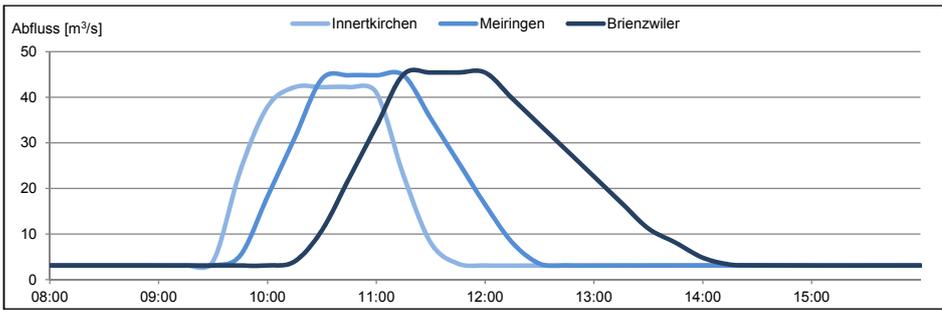


Bild 2: Repräsentative Abflussganglinien (auf Basis von 95%-Perzentilen) für die Flussabschnitte «Bühnenstrecke Innertkirchen», «Kiesbankstrecke Meiringen» und «Kanalstrecke Brienzwiler». Fig. 2: Hydrogramme d'écoulement représentatif (sur la base de 95%-percentiles) pour la partie «trouçon en épis Innertkirchen», «trouçon de banc de sable Meiringen» et «trouçon canalisé Brienzwiler».

Für die drei betrachteten Gewässerabschnitte wurde je eine repräsentative Ganglinie konstruiert.

Schwall- und Sunkraten im Längsverlauf
Aufgrund grossmasstäblicher Rauheiten treten im Längsverlauf zwischen den einzelnen Abschnitten deutliche Dämpfungseffekte bei den Abflussgradienten auf (LCH 2010): Die Schwallraten nehmen von 1.36 m³s⁻¹min⁻¹ in Innertkirchen auf 0.76 m³s⁻¹min⁻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 m³/s ein Stranden von Fischen potenziell möglich ist (Kap. 5.3). Mit Werten von -0.70 m³s⁻¹min⁻¹ in der Bühnen- und -0.22 m³s⁻¹min⁻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 m³/s (95%-Perzentil) bzw. 52.8 m³/s (100%-Perzentil) und lag damit deutlich unter dem Schwellenwert für ein Aufreissen der Sohlendeckschicht (150 – 180 m³/s, Hartlieb et al. 2007). Die theoretisch maximale Wasserrückgabe (70 m³/s) wurde seit 1990 nur zweimal erreicht. Im Längsverlauf führen die seitlichen Zuflüsse zu einer

leichten Erhöhung des Maximalabflusses um bis zu 3.2 m³/s. Infolge einer Vereinbarung zwischen KWO und dem Kanton Bern beträgt der Mindestabfluss in der Hasliaare heute 3 m³/s (heutiges 95%-Perzentil 3.1 m³/s, natürlicher Niedrigwasserabfluss = 2.4 m³/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

Modellsystem 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 Habitateignungen 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 Bewer-

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	grün	grün
B1 Biomasse MZB		gelb	gelb	gelb	gelb	gelb	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	gelb	gelb
F2 Stranden von Fischen	Wertefunktion	gelb	gelb	gelb	gelb	gelb	gelb
F3 Laichareale der Fische	Annahme hinsichtlich Substrat	grün	grün	grün	grün	grün	grün
F4 Reproduktion der Fischfauna		rot	rot	rot	rot	rot	rot
F5 Fischereiliche Produktivität	Wertefunktion	orange	orange	orange	orange	orange	orange

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. Tableau 1: Évaluation de la Hasliaare et de la Lütschine (cours d'eau de référence) en se basant sur des indicateurs de l'aide à l'exécution de l'OFEV.

Classification: bleu = très bien, vert = bien, jaune = moyen, orange = insatisfaisant, rouge = mauvais, gris = n'a pas été évalué.

Abréviations: Bu = tronçon en épis, Ki = tronçon de gravier, Ka = tronçon canalisé, MZB = Makrozoobenthos, MSK = système modulaire gradué, EPT = famille des larves d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères.

tion 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 Lüttschine 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 Fischeier 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 (Lüttschine) 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 Lüttschine 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 (Dükelmann 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 Köchenfliegenlarven), 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 (Céréghino 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 Lüttschine 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 Lüttschine sowie für die Kiesbank- und die Kanalstrecke der Hasliaare jeweils die blaue und für die Buhnenstrecke 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:

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

(i) Trotz der eingeschränkten Flussbreite fallen 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 zwischen Sunk- und Schwallabfluss nur um 16% verändert (Klasse grün). Methodisch bedingt schneidet 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 Pegelrückgangsraten 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 Pegelrückgangs-

raten 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 potentielle Fischfallen auftreten, wurde lediglich dieser Abschnitt für die weitere Beurteilung dieses Kriteriums berücksichtigt. Der kritische Abfluss liegt dort bei $8.1 \text{ m}^3/\text{s}$. In diesen tiefen Abflussbereichen liegen die Pegelrückgangsraten bei $0.8 \text{ cm}/\text{min}$ (95%-Perzentil) und damit deutlich über dem Sollwert von $0.5 \text{ cm}/\text{min}$ (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 an-

deren 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, 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 $> 20 \text{ cm}$ 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

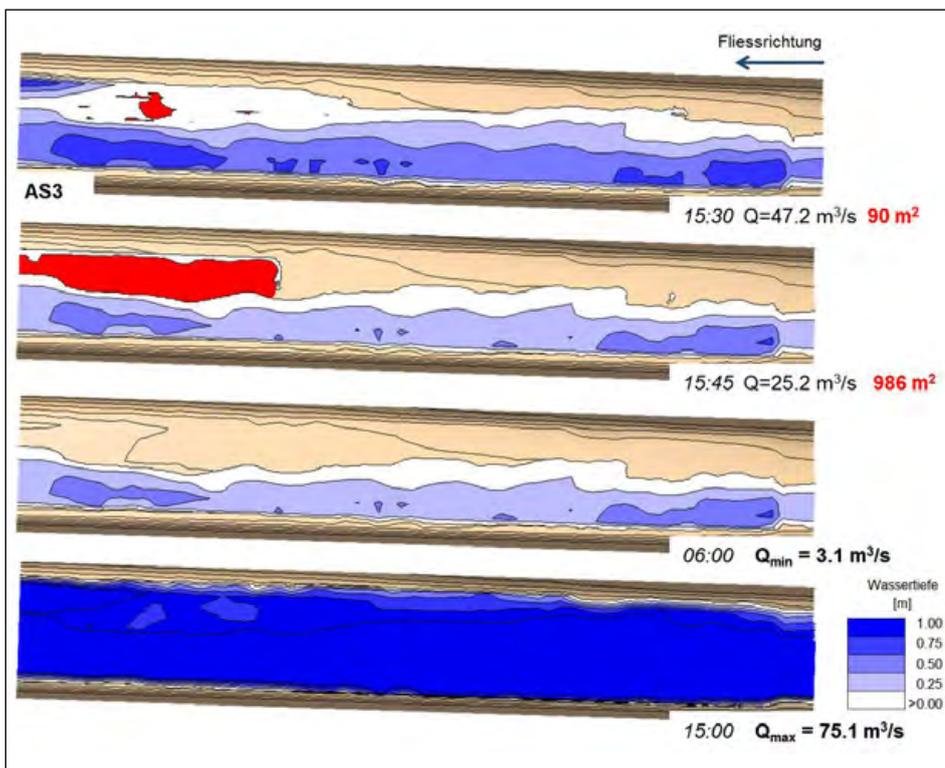


Bild 3: Lage einer potenziellen Fischfalle in der Kiesbankstrecke (rot eingefärbt).

Fig. 3: Position d'un piège à poissons potentiel dans le tronçon de banc de gravier (en rouge).

	Buhnenstrecke	Kiesbankstrecke	Kanalstrecke
(i) Trockenfallende Fläche			
(ii) Pegelrückgangsrate			
(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).

Tableau 2: Sous-indicateurs et évaluation totale de l'indicateur F2, échouement de poissons (signification des couleurs selon tableau 1).

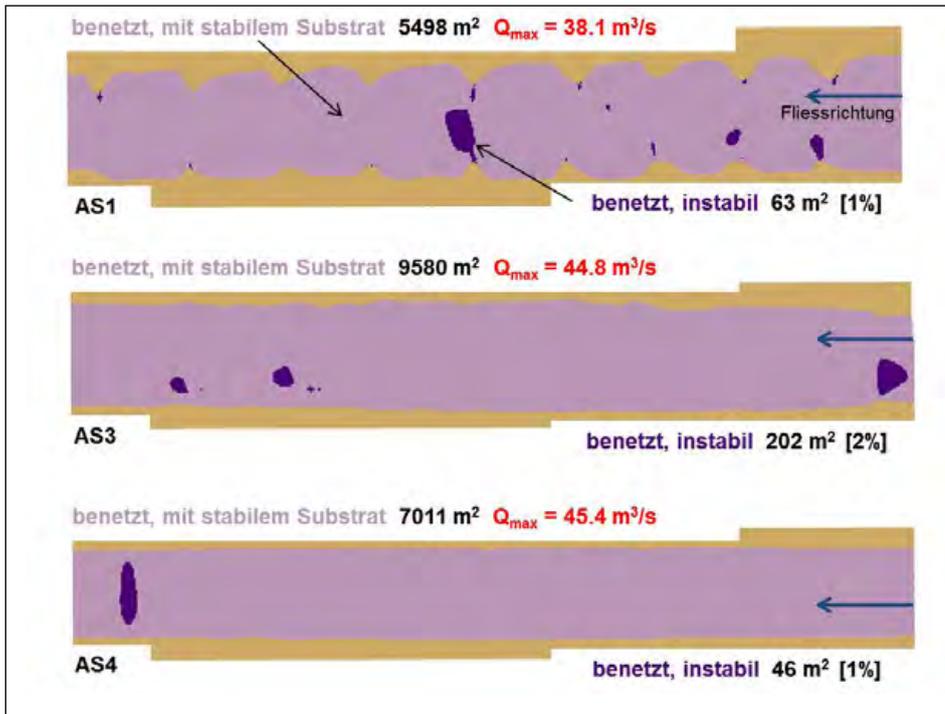


Bild 4: Stabile Flächen bei Schwall (lila) und Zonen mit instabilem Sohlensubstrat (dunkel-lila). AS1 = Buhnen-, AS3 = Kiesbank- und AS4 = Kanalstrecke.

Fig. 4: Zones stables lors d'éclusés (lila) et zones avec substrats du lit instables (lila foncé). AS1 = tronçon d'épis -, AS3 = banc de gravier et AS4 = tronçon canalisé.

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 Habitatmodellierung (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** dienen die Fangergebnisse der Jahre 2009 bis 2011 (Haas & Peter 2009, Limnex 2012). Um die Brüttingsdichte (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), Längsvernetzung, Restwasserführung, Fischregion und Nahrungsverfügbarkeit (Vuille 1997, Baumann et al. 2012). Angegeben wird die Produktivität als Jahreshektarertrag (JHE). Unter den heutigen Zuständen werden Werte zwischen 9 (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 Bühnen- und Kanalstrecke 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, die 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 Kraftwerkbetrieb 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 Schwall dämpfende 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 Lüttschne 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 Rah-

men 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 oder Simulationsmodellen 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.

8. Danksagung

Ein Grossteil der hier beschriebenen Untersuchungen und Schlussfolgerungen ist den detaillierten Vorarbeiten und dem einzigartigen Wissen von Pe-

ter 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 möchten 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) bedanken. 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).

9. 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: 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. u. 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 Brienersee. 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, München, Deutschland.

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, 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 grossmassstäblischen Uferrauheiten 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, 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 ab-

gestützten 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 Ausbauprojekten 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., 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. «Wasser Energie Luft» 2013(4): 269–276.

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): 277–287.

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. «Wasser Energie Luft» 2013(4): 288–296.

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.

Kontaktadresse

Steffen Schweizer
Dr. sc. ETHZ
Umweltnaturwissenschaften
Leiter Fachstelle Ökologie KWO
Kraftwerke Oberhasli AG
Grimselstrasse 19
CH-3862 Innertkirchen
Tel.: +41 33 982 20 11
Fax: +41 33 982 20 05
E-Mail: sste@kwo.ch
Internet: www.grimselstrom.ch

Nr.1

HydroSaat
St. Ursen
Tel. 026 322 45 25
www.hydrosaat.ch

- **Ansaat**
von Strassen- und Bahnböschungen, Felspartien, Skipisten, Kies- und Schotterhalde und nichthumusierte Flächen
- **Dachbegrünungen**
mit Xeroflor®-Sedummatten für Dächer, Böschungen, Garten- und Rasenabschlüsse, Verkehrsinseln, Trottoirs
- **Ecotex®-Erosionsschutz**
mit Geotextilien, natürlich und biologisch abbaubar
- **Ingenieurbio-logische Bauweisen**
Stützkonstruktionen zur Stabilisierung von Uferzonen und Böschungen



IHR VORTEIL:

SIFOR®
natürlicher
Erosionsschutz
aus Jute und Kokos

**Direktimport
aus dem Ursprungsland**



**Kurzfristige Lieferung dank
grossem Lagerbestand!**

**Fragen Sie uns an -
wir beraten Sie gerne!**



Relianz AG
Packende Ideen
Stationsstrasse 43 · 8906 Bonstetten
Tel. +41 44 701 82 82 · Fax +41 44 701 82 99
www.geonotex.ch · relianz@relianz.ch

Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände

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

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 105. Jahrgang, 2013, Heft 4, CH-5401 Baden

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 Innetkirchen 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 m³ (Szenarien IIIa–III d) durchgeführt. Ab-

schließend 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.

Keywords

Schwall/Sunk, Gewässerökologie, Hasliaare

Assainissement des éclusées dans la Hasliaare – Phase 2a: construction d'hydrogrammes d'écoulement représentatifs pour des situations futures

Résumé

L'aide à l'exécution de l'Office fédéral de l'environnement «Assainissement des éclusées - planification stratégique» a pu être totalement appliquée pour la Hasliaare en s'appuyant sur de nombreuses et vastes études écologiques. Pour cela, plusieurs indicateurs indiquaient l'obligation d'assainir. Il y a quelques années déjà, la centrale électrique Oberhasli SA (KWO), indépendamment de la loi révisée en 2011 sur la protection des eaux, a commencé avec la planification d'un élargissement de la centrale d'Innetkirchen 1. En principe et avec l'extension de la centrale, les variations artificielles de débit s'aggravaient sans prise de contre-mesures. Comme le montrent les différentes études, une amélioration écologique peut être atteinte en réduisant en particulier les éclusées. C'est techniquement faisable avec un réservoir connecté entre l'écoulement de la turbine et la sortie d'eau. Les possibilités d'amortissement dépendent aussi bien de la mise à disposition du volume du réservoir que du type de contrôle du réservoir et du débit.

Dans le cas de la Hasliaare, trois états ont été analysés hydrologiquement: situation actuelle (I), situation future avec extension de la centrale électrique sans (II), respectivement avec réservoir intermédiaire (III). À partir des débits hivernaux 2008 à 2012 (scénario I), une estimation dans un premier temps des effets de l'extension planifiée de la centrale électrique sur le régime de l'exploitation (scénario II) a été réalisée. Des calculs de simulation pour différents volumes de réservoir entre 50'000 et 100'000 m³ ont été faits sur la base de cette courbe de variation (scénarios IIIa - III d). En conclusion, les paramètres caractéristiques principaux (débit minimal et maximal, éclusées) ont été calculés statistiquement pour tous les différents états (95%- et 100%-percentile). Sur la base de ces résultats hydrologiques, des répercussions écologiques de différents scénarios ont pu être estimées en conséquence.

Mots-clés

Éclusée, écologie des eaux, Hasliaare (Aar de Hasli)

Risanamento dei deflussi discontinui nella Hasliaare – Fase 2a: Preparazione di idrogrammi rappresentativi per stati futuri

Riassunto

Sulla base di molte analisi ecologiche approfondite l'aiuto all'esecuzione dell'ufficio federale dell'ambiente «Risanamento deflussi discontinui – Pianificazione strategica» è stato applicato per intero sulla Hasliaare. Molteplici indicatori hanno mostrato l'obbligo di eseguire un risanamento. Diversi anni fa le Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) hanno iniziato la pianificazione per l'ampliamento della centrale Innetkirchen 1, indipendentemente dalla nuova legge sulla protezione delle acque (revisione 2011). L'ampliamento, senza

misure di mitigazione, peggiorerebbe i deflussi discontinui.

Come lo dimostrano le diverse analisi si può ottenere un miglioramento ecologico con un passaggio meno drastico tra la portata di piena e quella ridotta. A livello tecnico si può raggiungere questo risultato interponendo un bacino di compenso tra le turbine e l'opera di scarico nel fiume. Le capacità di mitigazione dipendono sia dal volume del bacino a disposizione sia dal tipo di gestione del bacino, come anche dalla portata. Nel caso della Hasliaare sono stati analizzati tre stati idrologici: la situazione attuale (I), la situazione futura con ampliamento della centrale senza (II), rispettivamente con (III) bacino di compenso. A partire dai deflussi invernali 2008-2012 (scenario I), in un primo passo è stato stimato l'impatto dell'ampliamento pianificato della centrale sul regime di funzionamento (scenario II). Sulla base di questo idrogramma sono stati simulati bacini con un volume tra 50'000 e 100'000 m³ (scenari IIIa e IIIb). Infine per tutti gli scenari sono stati analizzati statisticamente (95^o e 100^o percentile) i valori chiave dei deflussi discontinui (portata minima e massima, velocità di passaggio tra le portate di piena e quelle ridotte). Basandosi su questi risultati idrologici è stato possibile valutare l'impatto ecologico dei diversi scenari.

Parole chiave

Deflussi discontinui, ecologia delle acque, Hasliaare

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) began the planning to redesign the power station at Innertkirchen, thereby already integ-

rating 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 m³ (scenarios IIIa – IIIb). 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 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 Schwall- und Sunkraten oder Direktableitung in ein grösseres Gewässer) geplant. Auf Antrag des Kraftwerkbetreibers sind allerdings 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)
- Kiesbankstrecke in Meiringen (Länge 1.4 km)
- Kanal zwischen Meiringen und Brienersee (Länge 11.5 km).

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

Maximale Betriebswassermenge heute und nach Kraftwerkserweiterung

Heute beträgt die maximal mögliche Betriebswassermenge in den Zentralen in Innertkirchen 70 m³/s (40 m³/s in Innertkirchen 1 und 30 m³/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 m³/s erhöht (+ 25 m³/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 Ex-

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

rigwasserperiode 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, resp. 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 Morphologie berücksichtigt werden (Bieri 2012, Person et al. 2013). Die mässig bis stark eingeschränkte mor-



Bild 1: Seeforelle in der Hasliaare
Fig. 1: Truite lacustre dans l'Aar de Hasli.

pertenteam (Limnex, Büsser, Eawag, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) und wurde mit einer Begleitgruppe (BAFU und Amt für Wasser und Abfall des Kantons Berns) abgeprochen (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

nur für den minimalen Abfluss eine Regelung mit dem Kanton, die einen Mindestdurchfluss von 3 m³/s (100%-Perzentil) in der Aare vorschreibt.

Auf der insgesamt rund 16 km langen Schwallstrecke verringern sich die Schwall- und Sunkraten (infolge grossmasstäblicher Fließswiderstände) und erhöht sich der maximale Abfluss (infolge seitlicher Zuflüsse). In der Nied-

	Wasserrückgabe bis zur Kiesbankstrecke	Wasserrückgabe bis zur Kanalstrecke
Fliesslänge [km]	3	12
Minimaler Abfluss Q _{min} [m ³ /s]	+ 0.05	+ 0.10
Maximaler Abfluss Q _{max} [m ³ /s]	+ 2.60	+ 3.20
Maximale Schwallrate ΔQ _{max} [-]	63 %	56 %
Minimale Sunkrate ΔQ _{min} [-]	52 %	31 %

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

Tableau 1: Changements absolus et relatifs des valeurs caractéristiques d'écluées sur le tracé longitudinal de l'Aar de Hasli sur la base des affluents et résistances à l'écoulement à grande échelle (à chaque fois se référant à 95%-percentiles).



Bild 2: Kanalisierter Abschnitt der Hasliare kurz oberhalb der Mündung in den Brienersee. Blick flussaufwärts.

Fig. 2: Tronçon canalisé de l'Aar de Hasli peu avant l'embouchure dans le lac de Brienz. Vue en amont de la rivière.

phologische Vielfalt (vgl. Bild 2) lässt in der Hasliare 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 Brienersee 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.

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

Liegt wie im Fall der Hasliare 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 Hasliare das Abflussregime mit einer Direktableitung des turbinierten Wassers in den Brienersee erfolgen. Diese Option erfordert allerdings einen über 16 km langen Stollen zwischen der bestehenden Wasserrückgabe in Innertkirchen und dem Brienersee. 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 relativ eingeschränkt und ermöglicht daher nur ein relativ kleines Beckenvolumen von rund 18'000 m³. 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 Kostennutzenverhältnisses und den landschaftlichen Rahmenbedingungen für die Deponierung des Ausbruchmaterials ist ein zusätzliches unterirdisches Speichervolumen bis etwa 80'000 m³ 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

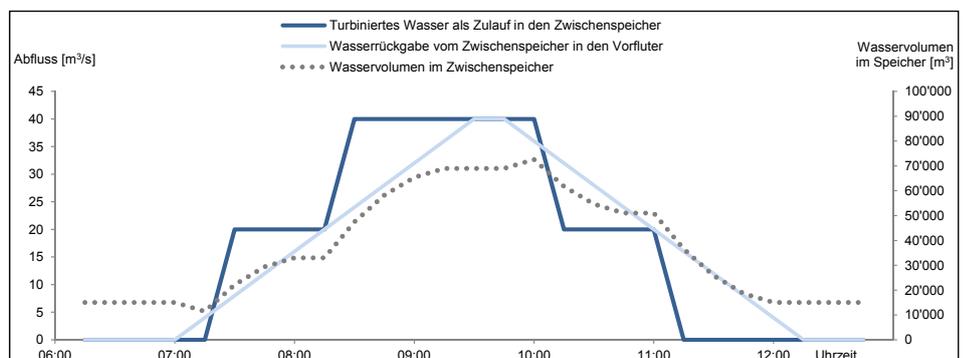


Bild 3: Schematische Darstellung der Wirkung eines zwischen Kraftwerk und Vorfluter geschalteten Ausgleichspeichers.

Fig. 3: Présentation schématique de l'effet d'un bassin de compensation branché entre une centrale électrique et un cours d'eau récepteur.

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 m³/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).

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 m³ (wie vor der Revision des GSchG vorgesehen; Schweizer et al. 2008) (Zustand IIIa)
- V_{IIIb} = 60'000 m³ (Zustand IIIb)
- V_{IIIc} = 80'000 m³ (Zustand IIIc)
- V_{IIId} = 100'000 m³ (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.

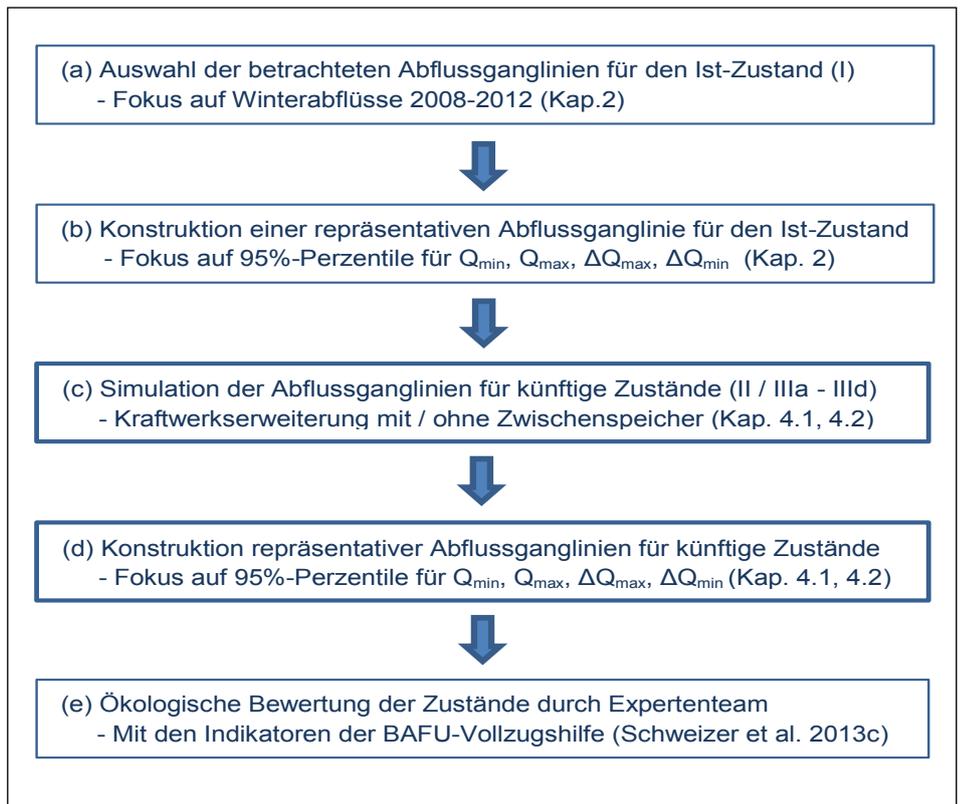


Bild 4: Mehrstufiges Vorgehen für eine Abschätzung der ökologischen Wirkung künftiger Zustände. Q_{min} = Minimaler Abfluss, Q_{max} = maximaler Abfluss, ΔQ_{max} = Schwallrate, ΔQ_{min} = Sunkrate.
Fig. 4: Approche en plusieurs étapes pour une évaluation de l'effet écologique de situations futures. Q_{min} = débit minimal, Q_{max} = débit maximal, ΔQ_{max} = taux d'accroissement, ΔQ_{min} = taux d'abaissement du niveau.

In Bild 4 ist das Vorgehen schematisch 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-IIID). 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 m³/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 m³/s)

sowie der Schwallraten (+100 %) (Tabelle 3). In den tiefen Abflussbereichen (< 8.1 m³/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 m³/s, heute 70 m³/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 kann auch bei diesem Szenario davon ausgegangen werden, dass der minimale Abfluss in der Aare auch künftig 3.1 m³/s betragen wird (Kap. 2). Im Vergleich mit den

Gesamtabfluss der Zentralen Innertkirchen 1 und 2 [m ³ /s]	Selektive Erhöhung [m ³ /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.
Tableau 2: Accroissement sélectif des débits maximaux pour le scénario IID.

	Szenario I	Szenario IIA	Szenario IIB	Szenario IIC	Szenario IID
Minimaler Abfluss Q _{min} [m ³ /s]	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
Maximaler Abfluss Q _{max} [m ³ /s]	42.2	67.2	57.3	44.5	46.6
Maximale Schwallrate ΔQ _{max} [m ³ s ⁻¹ min ⁻¹]	1.36	2.80	1.71	2.21	1.43
Minimale Sunkrate* ΔQ _{min} [m ³ s ⁻¹ min ⁻¹]	-0.70	-0.70	-0.70	-1.10	-0.70

* Bei der Sunkrate wurden nur Abflüsse < 8.1 m³/s berücksichtigt, da nur in diesem tiefen Abflussbereich ein Risiko vorliegt, dass aquatische Organismen stranden (Kap. 4.2.1).

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.

Tableau 3: Valeurs caractéristiques d'écluesées pour l'état actuel de l'Aare en aval de la restitution de l'eau à Innertkirchen (scénario I) et les scénarios IIA – IID (cf. texte). À chaque fois sont présentés les 95%-percentiles des débits hivernaux.

anderen Szenarien fällt die Sunkrate dagegen etwas höher aus. Der markanteste Unterschied zeigt sich bei der Schwallrate von 2.21 m³s⁻¹min⁻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 mit einer selektiven Erhöhung der maximalen Tagesabflüsse beschrieben werden (Tabelle 2). In Absprache mit der Begleitgruppe erfolgt eine Erhöhung der Abflüsse bei Betriebswassermengen von über 34 m³/s, wenn in der Vergangenheit etwa 50 % des damals möglichen Potenzials für die Stromproduktion ausgeschöpft wurde. Eine vollständige Erhöhung um 25 m³/s wird bei Abflüssen über 54 m³/s vorgenommen (bei rund ¾ des in der Vergangenheit bestehenden Potenzials). Allerdings wurde die maxi-

mal mögliche Betriebswassermenge von 70 m³/s seit 1990 nur zweimal erreicht und lag zwischen 2005 und 2012 stets unter 60 m³/s. Damit dürfte diese Variante das künftige Betriebsregime tendenziell ebenfalls mit etwas zu hohen Maximalabflüssen beschreiben. 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 verschieden grossen Zwischenspeichern

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 nur 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 (LCH 2012). Beispielhaft 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 (Bild 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 cm fällt (Baumann et al. 2012). Im Fall der betrachteten potenziellen Fischfallen entspricht dies einem Abfluss von $Q_{kritisch} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 $-0.27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ erfolgen. Unter Berücksichtigung der Dämpfungseffekte im Längsverlauf der

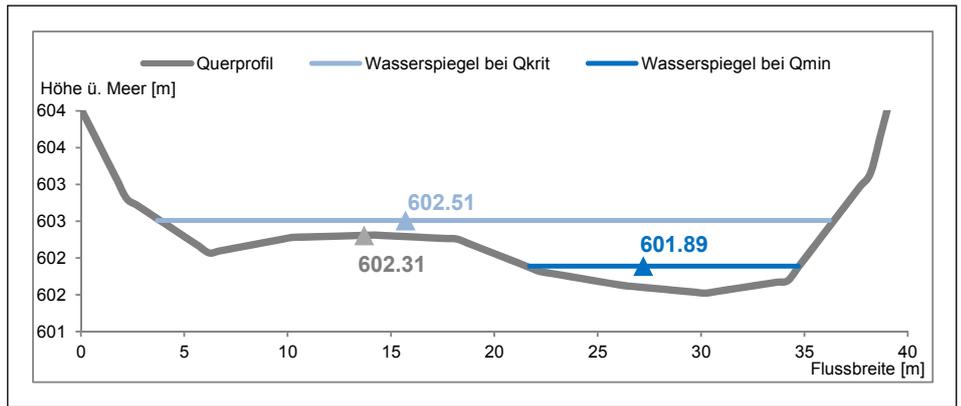


Bild 5: Querprofil der Hasliaare in der Kiesbankstrecke. Links vom grauen Dreieck befindet sich eine potentielle Fischfalle. Der höchste Punkt der Fischfalle liegt bei 602.31 m ü. M. (graues Dreieck), 20 cm oberhalb davon (bei 602.51 m ü. M., hellblaues Dreieck) beträgt der Abfluss $Q_{krit} = 8.1 \text{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

Fig. 5: Profil transversal de la Hasliaare dans le tronçon banc de gravier. À gauche du triangle gris se trouve un piège à poissons potentiel. Le point le plus haut du piège à poissons se trouve à 602.31 m (triangle gris). A 20 cm en-dessus (à 602.51 m, triangle bleu clair), le débit s'élève à $Q_{krit} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Le niveau de l'eau à débit minimal $Q_{min} = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (95%-percentiles; Tableau 3) se trouve à 601.89 m (triangle bleu foncé).



Bild 6: Potenzielle Fischfalle in der Hasliaare. Der blaue Pfeil gibt die Fließrichtung an.
Fig. 6: Piège à poissons potentiel dans la Hasliaare. La flèche bleue indique le sens d'écoulement.

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 morphologischen Aufwertungen in der Schwallstrecke (Kap. 2) würde der kritische Abfluss $Q_{kritisch}$ etwas höher als

heute ausfallen und dementsprechend eine grössere Wassermenge für einen gedämpften Abflussrückgang erfordern.

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

$T_{\text{Herunterfahren}}$ = Dauer für langsames Herunterfahren der Wasserrückgabe, $Q_{\text{kritisch}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{Minimum}} = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (95%-Perzentil), $\Delta Q_{\text{min}} = \text{Suntrate} = -0.14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$

Auf Minutenbasis lässt sich mit den Gleichungen 2 und 3 dasjenige Wasservolumen V_{Wasser} [m³] bestimmen, das für diese sanfte Reduzierung der Wasserrückgabe nötig ist.

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

Mit Q_i = Abfluss zum Zeitpunkt i [min], einer zeitlichen Auflösung von $\Delta t = 1$ Minute und mit:

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

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 m³ 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 als heute aus. 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 essentielle Grundlage, um die ökologische Wirkung verschiedener Sanierungsmassnahmen abschätzen zu können.

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 $25 \text{ m}^3/\text{s}$ erhöht

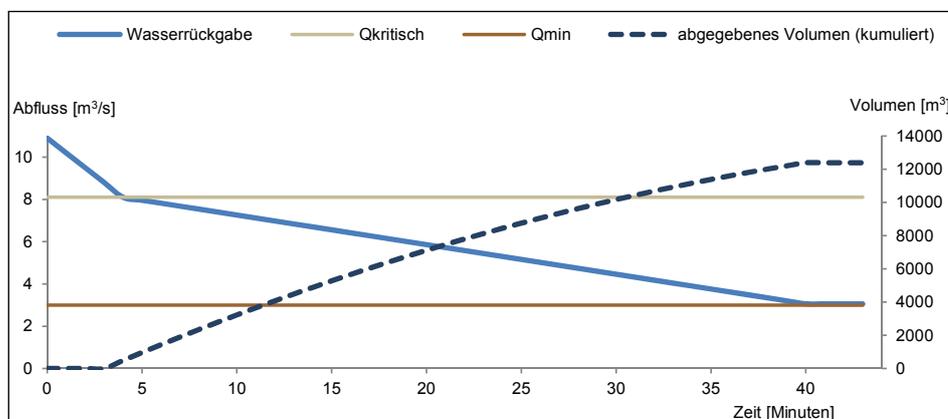


Bild 7: Schematische Darstellung der sanften Reduktion des Beckenausflusses (mit einer Suntrate von $-0.14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$) und der dabei kumulierten abgegebenen Wassermenge.

Q_{min} = minimaler Abfluss mit $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (95%-Perzentil), $Q_{\text{kritisch}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fig. 7: Présentation schématique de la réduction en douceur de l'écoulement du bassin (avec un taux d'abaissement de niveau de $-0.14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$) et dans ce cas de la quantité d'eau cumulée restituée.

Q_{min} = débit minimal avec $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (95%-percentile), $Q_{\text{krit}} = 8.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

Szenario	Volumen gesamt [m ³]	Volumen für Sunkdämpfung [m ³]	Volumen für Schwalledämpfung [m ³]	Schwallrate [m ³ s ⁻¹ min ⁻¹]	Sunkrate* [m ³ s ⁻¹ min ⁻¹]	Minimaler Abfluss [m ³ /s]	Maximaler Abfluss [m ³ /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

* Bei der Sunkrate wurden nur Abflüsse < 8.1 m³/s in der Aare berücksichtigt (vgl. 4.2.1).

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.

Tableau 4: Valeurs caractéristiques au-dessous de la restitution de l'eau à Innertkirchen pour les scénarios IIIa – IIId (chap 3.2 et 4.2), à chaque fois 95%-percentiles des débits hivernaux. Les valeurs correspondantes aux scénarios I et II sont représentées dans le tableau 3.

(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 m³/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 gut 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 letzte 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.

6. 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 (Linx), Kurt Wächter (Linx), 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.

7. 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.
- 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., 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 Lütschine 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 Schleiss 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 Ausbauprojekten 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): 277–287.
- Stalder P. & Rouge M. (2012): Steuerung des Beruhigungsbeckens am Standort Innertkirchen. Schlussbericht des Design-Projekts «Science et ingenierie de l'environnement 2012. Betreuung Prof. Dr. A. Schleiss und Dr. S. Schweizer.

Kontaktadresse

Steffen Schweizer
 Dr. sc. ETHZ
 Umweltnaturwissenschaften
 Leiter Fachstelle Ökologie KWO
 Kraftwerke Oberhasli AG
 Grimselstrasse 19
 CH-3862 Innertkirchen
 Tel.: +41 33 982 20 11
 Fax: +41 33 982 20 05
 E-Mail: sste@kwo.ch
 Internet: www.grimselstrom.ch

Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen

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

HINWEIS:

Dieser Artikel wurde in dieser Form auch bereits publiziert in «Wasser Energie Luft» – 105. Jahrgang, 2013, Heft 4, CH-5401 Baden

Zusammenfassung

Im Rahmen des Investitionsprogramms KWO plus plant die Kraftwerke Oberhasli AG eine Erweiterung der Zentrale Innertkirchen 1. Damit wird die heute maximal mögliche Wasserrückgabe in die Hasliaare von 70 m³/s auf künftig 95 m³/s erhöht. Im Vorfeld wurde daher die gewässerökologische Situation in dieser Schwallstrecke mit biologischen, hydraulischen und hydrologischen Erhebungen umfassend untersucht. Gemeinsam mit Fachexperten (Limnex AG, Eawag, Peter Büsser, Schneider & Jorde Engineering, EPFL-LCH) und Vertretern des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und des Amtes für Wasser und Abfall des Kantons Bern (AWA) wurde eine ökologische Defizitanalyse durchgeführt. Basis dafür war die (erstmalige) vollständige Anwendung der 12 Bewertungsindikatoren der BAFU-Vollzugshilfe «Sanierung Schwall/Sunk». Insbesondere wurde dabei der Einfluss der Morphologie als erheblicher Faktor berücksichtigt.

Anschliessend wurden verschiedene Sanierungsvarianten ökologisch bewertet. Da für diese Phase der Schwall/Sunk-Sanierung (noch) keine Methodik entwickelt ist, wurde auf die bestehende Vollzugshilfe zurückgegriffen. Trotz verschiedener methodischer Unsicherheiten konnte schliesslich die Sanierungsmassnahme mit dem besten Kosten-/Nutzenverhältnis transparent, nachvollziehbar und nach aktuellem Wissensstand identifiziert werden. Seit Frühjahr 2013 wird zwischen dem Kraftwerk in Innertkirchen und der Wasserrückgabe ein Zwischenspeicher (Beruhigungsbecken und Speicherstollen) mit einem Vo-

lumen von rund 80'000 m³ realisiert. Damit lassen sich die Pegeländerungsraten deutlich reduzieren und die Reaktionszeiten für die aquatischen Organismen werden verlängert.

Nach der Fertigstellung im Jahre 2016 wird ein umfassendes Monitoring durchgeführt. Dieser erste Sanierungsfall gemäss GSchG liegt insgesamt weit vor dem offiziellen Zeitplan des BAFU. Künftige Projekte können von den hier gewonnenen Erfahrungswerten und Wissenserweiterungen profitieren. Unabhängig von der Komplexität eines Sanierungsfalls lässt sich der hier beschriebene Ansatz anwenden: Beispielsweise wenn neben der hydrologischen Sanierung auch eine Erhöhung der maximalen Wasserrückgabe geplant ist oder wenn ein Zwischenspeicher sowohl zur Schwallsanierung als auch zur Pumpspeicherung ausgenutzt werden soll.

Keywords

Schwall/Sunk, Gewässerökologie, Hasliaare

Assainissement des éclusées dans la Hasliaare – Phase 2b: Évaluation écologique des situations futures

Resumé

Dans le cadre du programme d'investissement KWO plus, la centrale d'Oberhasli AG prévoit une extension de la centrale Innertkirchen 1. Ainsi la restitution maximale de l'eau dans la Hasliaare actuellement à 70 m³/s s'élèvera à l'avenir à 95 m³/s. Préalablement, la situation hydroécologique de ce tronçon éclusée a été étudiée de manière globale avec des relevés biologiques, hydrauliques et hydrologiques. Ensemble avec des experts (Limnex AG, Eawag, Peter Büsser, Schneider

& Jorde Engineering, EPFL-LCH) et des représentants de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et du Bureau cantonal bernois pour les eaux et les déchets (AWA) ont réalisé une analyse de déficit, basée sur une application complète des 12 indicateurs d'évaluation de l'aide à l'exécution de l'OFEV «Assainissement des éclusées». En particulier, l'influence de la morphologie a été considérée comme facteur déterminant. Différentes variantes d'assainissement ont été évaluées écologiquement à la suite de cela. Comme aucune méthodologie n'a été développée pour cette phase d'assainissement des éclusées, l'aide à l'exécution déjà existante a servi de base. Finalement, malgré différentes incertitudes méthodologiques, une mesure d'assainissement a été identifiée avec le meilleur rapport coût/efficacité, transparente, compréhensible et selon l'état actuel des connaissances en la matière. Dès le printemps 2013, un bassin intermédiaire (destiné à amortir les variations artificielle des débits et une galerie de stockage) avec un volume d'environ 80'000 m³ a été réalisé entre la centrale d'Innertkirchen et la restitution d'eau. Ainsi, les variations de débit sont sensiblement réduites et les temps de réaction des organismes aquatiques sont allongés.

Après son achèvement en 2016, une surveillance exhaustive sera réalisée. Ce premier cas d'assainissement d'après l'Eaux s'est déroulé nettement avant le calendrier convenu avec l'OFEV. Des projets futurs pourront profiter de ces expériences et connaissances obtenus. Indépendamment de la complexité du cas d'assainissement, l'approche décrite pourra être appliquée. Par exemple, dans le cas où une augmentation de restitution maximale d'eau est planifiée parallèlement à un assainissement hydrologique ou lorsqu'un bassin intermédiaire est utilisé aussi bien pour

l'assainissement de l'écluse que pour le pompage d'accumulation.

Mots-clés

Écluse, écologie des eaux, Hasliaare (Aar de Hasli)

Deflussi discontinui nella Hasliaare – Fase 2b: Valutazione ecologica degli stati futuri

Riassunto

Nell'ambito del programma d'investimento KWO plus, le Kraftwerke Oberhasli AG pianificano un ampliamento della centrale Innertkirchen 1. Questo aumenterà la portata di restituzione massima nella Hasliaare dagli attuali 70 m³/s a 95 m³/s. Ecco perché in una prima fase è stato deciso di analizzare in dettaglio la situazione ecologica del fiume in questo tratto sottomesso a deflussi discontinui, eseguendo rilievi biologici, idraulici e idrologici. Un'analisi dei deficit a livello ecologico è stata condotta insieme a esperti (Limnex AG, Eawag, Peter Büsser, Schneider & Jorde Engineering, EPFL-LCH), rappresentanti dell'Ufficio federale dell'ambiente (UFAM) e dell'ufficio per le acque e i rifiuti del Canton Berna (AWA). L'utilizzo, per la prima volta, dei 12 indicatori dell'aiuto all'esecuzione «Risanamento deflussi discontinui» dell'UFAM è servito da base per l'analisi. In particolare l'influenza della morfologia è stata considerata quale fattore di rilievo.

In seguito sono state valutate dal punto di vista ecologico diverse varianti di risanamento. Poiché non esiste (ancora) una metodologia valida per questa fase del risanamento dei deflussi discontinui, è stato fatto ricorso all'aiuto all'esecuzione esistente. Nonostante le insicurezze sulla metodologia, si è potuta identificare la variante di risanamento con il migliore rapporto costi/benefici in modo trasparente, giustificabile e basata sullo stato delle conoscenze più attuale. Dalla primavera 2013 sono in costruzione un bacino e una galleria di compenso da 80'000 m³ tra la centrale di Innertkirchen e l'opera di restituzione. In questo modo

sarà possibile ridurre drasticamente le oscillazioni tra le portate e i tempi di reazione per gli organismi acquatici si allungheranno.

Dopo il completamento nel 2016 verrà messo in atto un monitoring generale. Questo primo caso di risanamento conforme alla LPAC è molto in anticipo rispetto al programma ufficiale previsto dall'UFAM. Progetti futuri potranno approfittare del sapere supplementare e delle esperienze fatte in questo progetto. Indipendentemente dalla complessità del caso da risanare, l'approccio qui descritto si presta per ogni progetto che, per esempio, insieme al risanamento idrologico prevede un aumento della portata di restituzione massima; oppure quando si vuole usare un bacino di compenso per risanare i deflussi discontinui anche quale serbatoio per un impianto di accumulazione per pompaggio.

Parole chiave

Deflussi discontinui, ecologica delle acque, Hasliaare

Abstract

With the planned extension of the power station in Innertkirchen by the Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) 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 including biological, hydraulic and hydrological aspects has been successfully finished.

This ecological deficit analysis of the actual state of the river was conducted with the support of an expert team (Limnex AG, Eawag, Peter Büsser, Schneider & Jorde Ecological Engineering, EPFL-LCH) and a group of representatives of the Federal Office for the Environment (FOEN) and the cantonal office of water and waste (Bern).

This deficit analysis is the first applying the complete FOEN's 12 hydropeaking indicator criteria., while taking impacts of the local river morphology into account (for a final evaluation).

The spectrum of mitigation measures was evaluated in terms of their hydrological and ecological efficiency. Despite the uncertainties in the ecological responses and the operation mode of the powerplant in the future, it was possible to identify the mitigation measure with the best cost-benefit-ratio: The construction of a storage of 80'000 m³ (retention basin and storage tunnel) between the power plant and downstream outlet allows the reduction of up and down-ramping rates in discharge significantly. This will provide longer response times for the aquatic organisms to move to adequate (refuge) habitats under different discharge conditions.

After the realization of the mitigation measures (scheduled for 2016) a comprehensive monitoring program is scheduled to evaluate the expected ecological improvements. Overall experiences from this study are expected to stimulate and support other projects on hydropeaking mitigation.

1. Einleitung

Im letzten Jahrhundert wurden in den Alpen zahlreiche Speicherseen gebaut, um das zufließende Wasser zurückzuhalten und es zu einem späteren Zeitpunkt bei Bedarf zur Stromproduktion zu verwenden. Mit Hilfe der Stauseen lässt sich ein Teil der Stromproduktion vom Sommer in den Winter verlagern, um damit auch in der kalten und niederschlagsarmen Jahreszeit regelmäßig auftretende Engpässe im Stromnetz schliessen zu können.

Diese aus energiepolitischer Perspektive betrachteten Vorzüge sind allerdings mit sehr unregelmässigen Abflüssen aus den Kraftwerksturbinen verbunden. Wird das turbinierete Wasser direkt in den Vorfluter abgegeben, entstehen unterhalb der Wasserrückgabe künstliche Pegelschwankungen (Schwall/Sunk). Für die aquatischen Organismen kann dieses künstliche Abflussregime weitreichende Folgen mit sich ziehen (Schweizer et al. 2009, Bruder et al. 2012a und 2012b).

Die 2011 in Kraft getretene Revision des Gewässerschutzgesetzes (GSchG) sieht vor, dass die wesentlichen Beeinträchtigungen durch Schwall/Sunk bis zum Jahr 2030 behoben werden. 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 Antrag der Kraftwerksbetreiber können aber auch betriebliche Massnahmen (Einhaltung von Grenzwerten bei der Wasserrückgabe) oder eine Kombination aus baulichen und betrieblichen Sanierungsformen umgesetzt werden. 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 von Geschiebehalt und zur Wiederherstellung der Fischgängigkeit verwendet werden. Die Abgaben werden von der Swissgrid AG, der Betreiberin der Übertragungsnetze, verwaltet. 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(n)

(Phase 3) und Erfolgskontrolle nach der Umsetzung (Phase 4). In der vom BAFU herausgegebenen Vollzugshilfe «Sanierung Schwall/Sunk – Strategische Planung» (Baumann et al. 2012) werden insgesamt zwölf Indikatoren beschrieben, mit denen bestimmt werden kann, ob in einem Fliessgewässer eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk vorliegt (Phase 1). Zur Unterstützung der Kraftwerksinhaber und der Behörden (Kanton und Bund) wird vom BAFU aktuell eine einheitliche Methodik erarbeitet, um die ökologische Wirkung künftiger Sanierungsmassnahmen bewerten zu können (Veröffentlichung für Sommer 2014 vorgesehen). Im Rahmen des Investitionsprogramms KWOplus erweitert die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) unter anderem das Kraftwerk Innertkirchen 1 (Projekt «Tandem»; Schweizer et al. 2012). Zur Erhöhung der Stromproduktion und der Leistung wird in dieser Zentrale eine zusätzliche Turbine mit einem Maximaldurchfluss von 25 m³/s eingebaut. 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 (Schweizer et al. 2013a, 2013b) sowie die Wirkung möglicher Dämpfungsmassnahmen analysiert (Schweizer et al. 2008, 2013c).

2. Vorgehensweise bei der Sanierung von Schwall/Sunk in der Hasliaare

In Bild 1 sind die verschiedenen Arbeitsschritte, die bei der Fallstudie Hasliaare durchlaufen wurden, dargestellt. Die sehr gute Datengrundlage (i) ermöglichte eine vollständige Defizitanalyse gemäss BAFU Vollzugshilfe (ii). Mit hydrologischen Simulationen konnte das künftige Betriebsregime der Zentralen in Innertkirchen für die Wintermonate abgeschätzt werden (iii). Anschliessend wurden verschiedene Sanierungsvarianten weiterverfolgt, die zu einer Verbesserung der gewässerökologischen Situation in der Hasliaare führen dürften. Für die ausgewählten Szenarien wurden hydrologische Modellrechnungen der Winterabflüsse vorgenommen (iv) und aus diesen Simulationsergebnissen die 95%- und die 100%-Perzentile der wichtigsten Schwallkennwerte ermittelt (v). Auf Basis dieser Grundlagen wurden die ökologischen Auswirkungen für jedes Szenario von einem Expertenteam beurteilt. Dafür wurden die 12 Indikatoren der Vollzugshilfe herangezogen (vi). Abschliessend wurde



Bild 1: Arbeitsschritte bei der Sanierung Schwall/Sunk für die Fallstudie Hasliaare.
Fig. 1: Procédure d'assainissement des éclusées pour l'étude de cas Hasliaare.

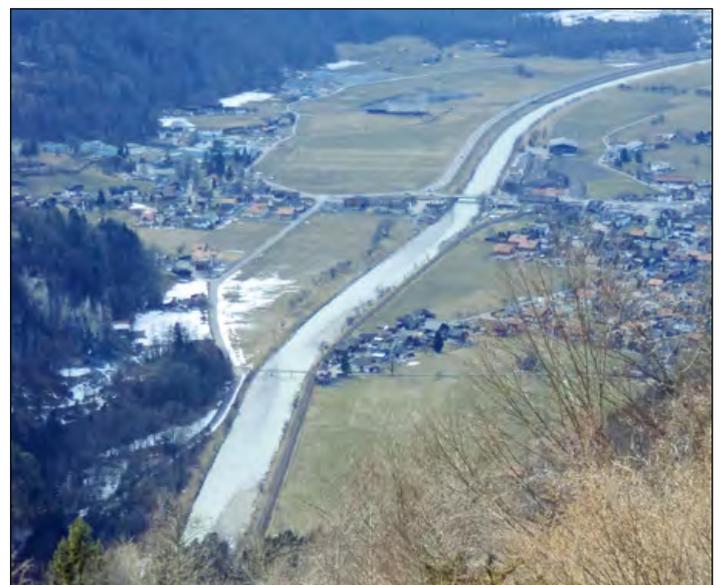


Bild 2: Kiesbank- und Kanalstrecke in Meiringen (Fließrichtung von links unten nach rechts oben).
Fig. 2: Tronçon banc de gravier et tronçon canalisé à Meiringen (sens d'écoulement allant de gauche en bas à droite en haut).

in der Begleitgruppe die Sanierungsvariante bestimmt, die aus heutiger Sicht hinsichtlich Kosten und ökologischer Wirkung am besten abschneidet (vii). Diese mehrstufige Herangehensweise orientierte sich am aktuellen Kenntnisstand in der komplexen Thematik «Schwall/Sunk». Die intensive Zusammenarbeit von Experten und Amtsvertretern (Kap. 3.3) ermöglichte, dass trotz bestehender Wissenslücken über die quantitativen und qualitativen Zusammenhänge von Abflussregime, Morphologie sowie aquatischer Flora und Fauna künftige Zustände möglichst objektiv bewertet werden konnten.

3. Grundlagen

3.1 Abflussregime der Hasliaare

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 – 1921) und das 2-jährige Hochwasser 190 m³/s. Sohlenbewegungen treten bei Abflüssen oberhalb von 150 m³/s auf (Schweizer et al. 2010). Aufgrund des hohen Gletscheranteils von rund 20 % würde ohne Kraftwerkseinfluss 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. Hinsichtlich Schwall/Sunk treten die grössten Beeinträchtigungen des Abflussregimes im Winter auf. Während der natürlichen Niedrigwasserperiode bewirken vor allem die unnatürlich schnellen Anstiege der Pegel sowie die Erhöhung der Abflussspitzen negative Folgen für die aquatischen Organismen (Schweizer et al. 2013a). Während heute keine Grenzwerte für den maximalen Abfluss und die Schwall- und Sunkratzen eingehalten werden müssen, regelt eine Vereinbarung zwischen der KWO und dem Kanton den Minimalabfluss in der Aare. Demzufolge liegt der Abfluss in der Hasliaare stets bei mindestens 3 m³/s.

3.2 Die Schwallstrecke und die Lütschine als Referenzgewässer

Die Schwallstrecke lässt sich in vier morphologisch unterschiedliche Abschnitte gliedern:

- Bühnenstrecke in Innertkirchen (Länge 0.7 km, Breite 27 m)
- Aareschlucht (Länge 1.9 km, Breite z.T. kleiner als 10 m)
- Kiesbankstrecke in Meiringen (Länge 1.4 km, Breite 34 m, Bild 2)
- Kanal zwischen Meiringen und Brienzsee (Länge 11.5 km, Breite 20 m, Bild 2)

Aufgrund der sehr hohen Beschattung und einer ausgeprägten seitlichen Einengung in der Aareschlucht konzentrierten sich die Bewertungen auf die übrigen drei Streckenabschnitte. Grundsätzlich kann die Schwallstrecke in diesen Abschnitten als morphologisch stark beeinträchtigt charakterisiert werden. Im Rahmen von Hochwasserschutzprojekten und Ausgleichsmassnahmen für das Investitionsprogramm KWO plus (Schweizer et al. 2012) sind verschiedene morphologische Aufwertungen in der Schwallstrecke geplant.

Neben der Schwallstrecke erfolgten auch eingehende Untersuchungen in der benachbarten und hydrologisch nur geringfügig beeinflussten Lütschine, die aufgrund ihrer Ähnlichkeit hinsichtlich Vergletscherung, dem natürlichen Abflussregime und der Morphologie (Kanal- und Kiesbankstrecken) als Referenzgewässer gut geeignet ist.

3.3 Experten- und Begleitgruppe

Um sowohl die heutige Situation als auch künftige Szenarien mit Kraftwerksausbau und verschiedenen schwalldämpfenden Massnahmen (Kap. 3.5) beurteilen zu können, wurden die gewässerökologisch relevanten Aspekte von einem Expertenteam (Limnex, Eawag, Büsser, EPFL-LCH, Schneider & Jorde Ecological Engineering) untersucht. Ausserdem wurden diese Arbeiten in einer Begleitgruppe mit Vertretern vom Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern (Judith Monney und Vinzenz Maurer) und vom Bundesamt für Umwelt (Manfred Kummer, Diego

Tonolla, Martin Huber-Gysi und Daniel Hefti) besprochen und koordiniert. Nachdem die wichtigsten Abklärungen durchgeführt und alle relevanten Untersuchungsergebnisse vorlagen, wurden im Rahmen eines Expertenworkshops die verschiedenen Szenarien anhand der BAFU-Vollzugshilfe gemeinsam bewertet. Dabei wurde für jeden Indikator eine Gesamtbewertung über die drei Gewässerabschnitte (vgl. Kap. 3.2) von den Experten gemeinsam festgelegt.

3.4 Aufnahme des Ist-Zustands (Szenario I)

Für den heutigen Zustand bieten die umfassenden Untersuchungen zu den Aspekten Fischfauna, Makrozoobenthos (MZB), Wasserpflanzen, Lebensräume, Hydraulik und Hydrologie eine solide Grundlage, um alle 12 Indikatoren der Vollzugshilfe anzuwenden (Schweizer et al. 2013a). Die vollständige Bewertung zeigte eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk an (Schweizer et al. 2013b).

3.5 Hydrologische Simulationen für fiktive Zustände (Szenario II und III)

Um auch Szenarien mit Kraftwerksausbau (Szenario II) und mögliche Sanierungsmassnahmen (Szenarien IIIa-d) ökologisch beurteilen zu können, wurden verschiedene Abflusssimulationen auf Basis der Winterabflüsse von 2008 bis 2012 durchgeführt (Schweizer et al. 2013c).

Kraftwerksausbau (Szenario II)

In Absprache mit der Begleitgruppe (Kap. 3.3) wurde in einem ersten Schritt versucht, die Auswirkungen des Kraftwerksausbaus (Kap. 3.1) auf das künftige Abflussregime abzuschätzen. Dafür wurden die historischen Abflussspitzen oberhalb von 34 m³/s (etwa 50 % des heute maximal möglichen Kraftwerksdurchflusses) stufenweise erhöht. Eine vollständige Erhöhung um 25 m³/s erfolgte bei Kraftwerksdurchflüssen von 54 m³/s (etwa 75 % der heutigen Kapazität) (Bild 3; Schweizer et al. 2013c).

Sanierungsvarianten

Anschliessend wurden verschiedene bauliche Massnahmen zur Dämpfung

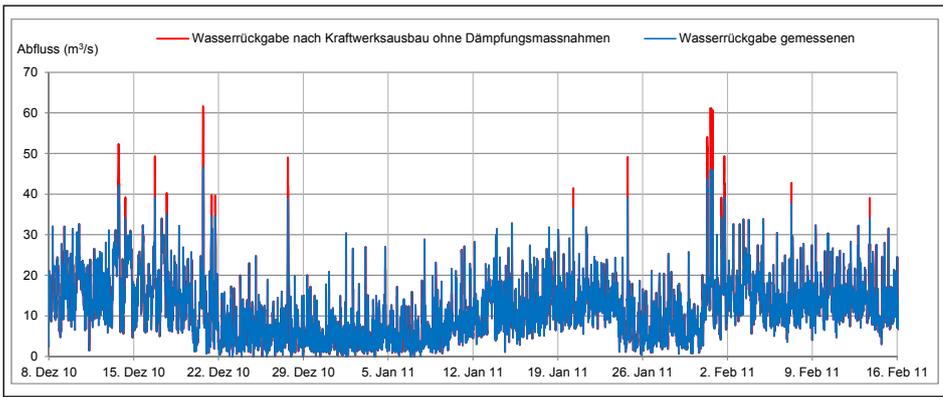


Bild 3: Gemessene (Zustand I) und simulierte Wasserrückgabe (Szenario II) in Innertkirchen für den Winter 2010/11.

Fig. 3: Restitution d'eau mesurée (état I) et simulée (scénario II) à Innertkirchen en hiver 2010/11.

- Szenario IIIa: $V = 50'000 \text{ m}^3$
- Szenario IIIb: $V = 60'000 \text{ m}^3$
- Szenario IIIc: $V = 80'000 \text{ m}^3$
- Szenario IIId: $V = 100'000 \text{ m}^3$

Für jedes Speichervolumen wurde eine Simulation gerechnet, um die maximale Dämpfung der Schwall- und Sunkraten zu bestimmen (Schweizer et al. 2013c). Als Kraftwerksausfluss wurde dabei jeweils die konstruierte Abflussganglinie von Szenario II verwendet.

des künftigen Abflussregimes geprüft. Aufgrund unverhältnismässiger Kosten wurde eine Direktableitung des turbinierten Wassers in den 16 km entfernten Brienzensee nicht weiterverfolgt. Somit konzentrierten sich die weiteren Abklärungen auf die Errichtung eines Speichers zwischen Turbinenausfluss und Rückgabe in die Hasliaare. In Abhängigkeit des Speichervolumens und der Turbinenausflüsse lassen sich Schwall- und Sunkraten unterschiedlich stark abdämpfen. Eine Dämpfung grösserer Abflussspitzen würde im Fall der Hasliaare ein sehr grosses Speichervolumen benötigen. Dessen Realisierung wäre ebenfalls mit unverhältnismässig hohen Kosten und zusätzlich ausgeprägten landschaftlichen Eingriffen (Deponierung von grossen Kubaturen an Ausbruchmaterial für die Bereitstellung unterirdischer Speicher) verbunden. Der Bau eines oberirdischen Speichers in Form eines Beruhigungsbeckens ist aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung im Talboden auf $18'000 \text{ m}^3$ limitiert (Kap. 5). Die gewässerökologischen Untersuchungen fokussierten sich daher auf die Möglichkeit zur Dämpfung der Schwall- und Sunkraten, auf die ein wesentlicher Teil der hydrologischen Beeinträchtigung zurückzuführen ist (Schweizer et al. 2013b). Unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen wurden daher die Dämpfungswirkungen von insgesamt vier unterschiedlichen Varianten untersucht:

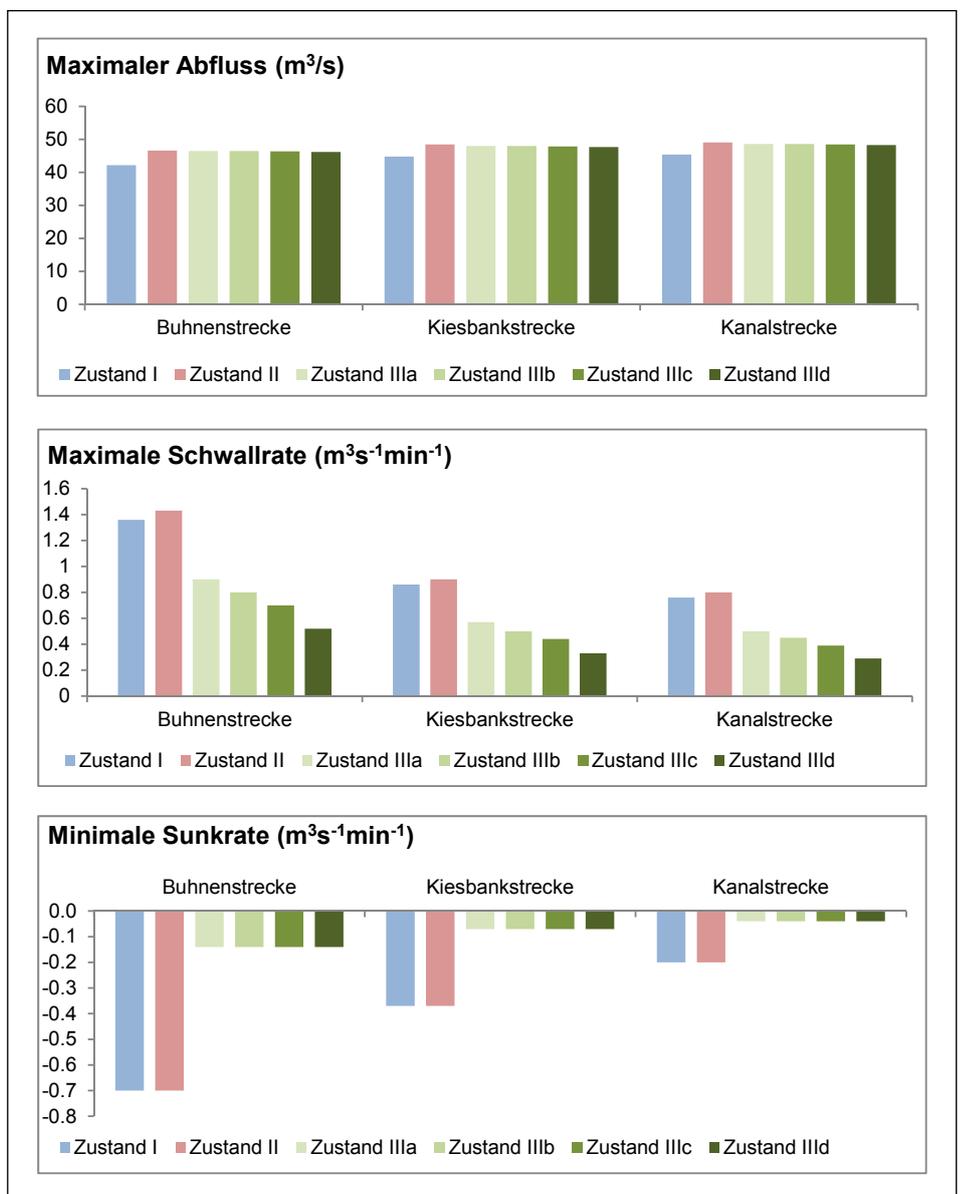


Bild 4: Darstellung der 95%-Perzentile des Maximalabflusses (oben), der maximalen Schwallrate (mitte) und der minimalen Sunkrate (unten) für die Zustände / Szenarien I-III. Da die Sunkraten in negativen Werten angegeben sind, wird der Begriff «minimale Sunkrate» verwendet.

Fig. 4: Représentation des percentiles 95% des débits maximaux (en haut), des éclusées maximaux (au milieu) et des abaissements d'eau (en bas) pour les situations I-III. Le terme «taux d'abaissement minimal» est utilisé car les valeurs des abaissements d'eau sont mentionnées en valeurs négatives

Indikator	Prognostizierbarkeit	Anmerkungen zur Prognostizierbarkeit	Sensitiv hinsichtlich Morphologie	Sensitiv hinsichtlich Abflussregime	Sensitivität hinsichtlich Schwallparametern
A1 Mindestabfluss	Q	Sofern künftiges Abflussregime bekannt	Nicht	Mittel/Hoch	Q_{min}
Q1 Wassertemperatur	Q	Sofern künftiges Abfluss- und Betriebsregime bekannt	Niedrig	Hoch	$\Delta Q_{max}, \Delta Q_{min}, Q_{max}, Q_{min}$
H1 Innere Kolmation	Q / E	Bewertung erfolgte durch Experten	Mittel	Niedrig/Mittel	Q_{max}
B1 Biomasse MZB	E		Hoch	Hoch	$\Delta Q_{max}, Q_{max}$
B2 MSK-Modul MZB	E		Hoch	Mittel	$\Delta Q_{max}, Q_{max}$
B3 Längenzonation MZB	E		Hoch	Mittel/Hoch	$\Delta Q_{max}, Q_{max}$
B4 EPT-Familien MZB	E		Hoch	Hoch	$\Delta Q_{max}, Q_{max}$
F1 MSK-Modul Fische	E		Sehr hoch	Mittel	$\Delta Q_{max}, \Delta Q_{min}, Q_{max}, Q_{min}$
F2 Stranden von Fischen	Q	Sofern künftiges Abflussregime bekannt	Sehr hoch	Sehr hoch	ΔQ_{min}
F3 Laichareale der Fische	Q	Sofern künftiges Abflussregime bekannt	Hoch	Sehr hoch	Q_{max}, Q_{min}
F4 Reproduktion der Fischfauna	E		Sehr hoch	Hoch	$\Delta Q_{max}, \Delta Q_{min}, Q_{max}$
F5 Fischereiliche Produktivität	E		Sehr hoch	Mittel	$\Delta Q_{max}, \Delta Q_{min}, Q_{max}$

Tabelle 1: Beurteilung der BAFU-Indikatoren bei der Fallstudie Hasliaare. MZB = Makrozoobenthos, MSK = Modulstufenkonzept, EPT = Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven; Q = Quantifizierbar, E = Abschätzung durch Experten; Q_{min} = minimaler Abfluss, Q_{max} = maximaler Abfluss, ΔQ_{max} = maximale Schwallrate, ΔQ_{min} = minimale Sunkrate. *Tableau 1: Evaluation des indicateurs de l'OFEV dans l'étude de cas Hasliaare, MZB = Makrozoobenthos, MSK = système modulaire gradué suisse, EPT = famille des larves d'éphéméroptères, de plécoptères et de trichoptères, Q = quantifiable, E = estimation par des experts; Q_{min} = débit minimal, Q_{max} = débit maximal, ΔQ_{max} = débit éclusée maximal, ΔQ_{min} = abaissement des eaux minimal.*

Statistische Analyse der Schwallkennwerte

Um die einzelnen Abflussganglinien der verschiedenen Szenarien miteinander vergleichen zu können, wurden jeweils die 95%- sowie die 100%-Perzentile für die wichtigsten hydrologischen Kennwerte statistisch bestimmt. Infolge von seitlichen Zuflüssen und grossmassstäblichen Fließwiderständen in der Schwallstrecke kommt es im Längsverlauf zwischen Innertkirchen und Brienzwiler zu Veränderungen der folgenden Schwallkennwerte

- Maximalabfluss Q_{max} : leichte Erhöhung um bis zu 3.2 m³/s,
- Maximale Schwallrate ΔQ_{max} : markante Reduktion um bis zu 44 %,
- Minimale Sunkrate ΔQ_{min} : deutliche Reduktion um bis zu 69 %.

Aufgrund der geringen Zuflüsse im Winter wurde der minimale Abfluss Q_{min} für alle Zustände und alle Abschnitte auf 3.1 m³/s (95%-Perzentil) festgesetzt (LCH 2010, LCH 2012, Schweizer et al. 2013c; Bild 4).

4. Ökologische Bewertung künftiger Zustände (Szenarien II und III)

In den folgenden Unterkapiteln wird mehrfach auf die Bewertung des Ist-Zustands (Szenario I) verwiesen. Eine detaillierte Beschreibung der Defizitanalyse findet sich in Schweizer et al. (2013b).

4.1 Betrachtung methodisch bedingter Unsicherheiten

Die ökologischen Auswirkungen der künstlichen Pegelschwankungen hängen direkt von den morphologischen Verhältnissen ab (Schweizer et al. 2009, Person et al. 2013, Tabelle 1). Im Fall der Hasliaare ist es trotz des umfangreichen Untersuchungsprogramms nicht möglich, den jeweiligen Einfluss von Abflussregime und Flussform für jeden Indikator eindeutig abzugrenzen. Hinzu kommen weitere Unschärfen hinsichtlich der Bewertungsmethodik (u.a. Ort/Zeitpunkt von Probenahmen, natürliche Variabilität, Aggregation der

12 Indikatoren zu einer Gesamtbewertung) und Annahmen, die das künftige Betriebsregime und die Steuerungsmöglichkeiten des Zwischenspeichers betreffen.

Für die Abschätzung künftiger Zustände können quantifizierbare, bzw. modellierbare und nicht quantifizierbare Indikatoren unterschieden werden (Tabelle 1). Eine Anwendung der nicht modellierbaren Indikatoren kann nur über Experteneinschätzungen erfolgen, die sich auf Analogieschlüssen, Erfahrungswerten und Literaturrecherchen abstützen. Dies führt zu weiteren Unsicherheiten in der ökologischen Bewertung.

4.2 Szenario II – Kraftwerksausbau ohne schwalldämpfende Massnahmen

Die in Kap. 3.5 beschriebene Simulation des künftigen Betriebsregimes führt in der Buhnenstrecke zu einer moderaten Anhebung der winterlichen Maximalabflüsse von heute 42.2 m³/s auf 46.6 m³/s und damit verbunden zu einer Steigerung der Schwallraten von heute 1.36 m³s⁻¹min⁻¹ auf 1.43 m³s⁻¹min⁻¹ (jeweils 95%-Perzentile für die Buhnenstrecke, Bild 4). Im Gegensatz dazu wird die Kraftwerkerweiterung keinen Einfluss auf die tiefen Abflussbereiche ausüben, so dass sowohl der Minimalabfluss von 3.1 m³/s als auch die Sunkraten im tiefen Abflussbereich unterhalb von 8.1 m³/s (s.u.) unverändert gegenüber der heutigen Situation bleiben.

Abiotische Indikatoren (A1, Q1, H1)

Da es im Fall des Kraftwerksausbaus zu keinen Veränderungen des minimalen Abflusses (Indikator **A1 Mindestabfluss**) kommt, werden die Anforderungen für diesen Indikator heute wie auch künftig eingehalten werden (Tabelle 2). Die zukünftige Variabilität der Wassertemperatur wurde durch die zu erwartenden Mischungsverhältnisse von Betriebswasser und Restwasser (oberhalb der Zentralen Innertkirchen 1 und 2) abgeschätzt. Die Bewertung des Indikators **Q1 Wassertemperatur** ergab für die Zustände I und II jeweils die Klasse grün.

In Absprache mit der Begleitgruppe und dem Expertenteam wurden für die Anwendung des Indikators **H1 Innere Kolmation** die im Feld erhobenen Daten als Grundlage verwendet. Die Einflussfaktoren Schwebstoffkonzentration, Sohlenschubspannung, hydraulischer Gradient und Korngrößenverteilung, die für die Prozesse der Kolmatierung und Dekolmatierung relevant sind (Baumann et al. 2012), ändern sich nicht mit den einzelnen Szenarien. Daher beurteilten die Experten die Sohlenverhältnisse entsprechend dem Ist-Zustand mit einer schwachen bis mittleren Kolmation (Klasse grün).

Indikatoren des Makrozoobenthos (B1-B4)

Wie die Driftversuche von 2008 gezeigt haben, dürften insbesondere die höheren Schwallraten eine verstärkte Wirkung auf das Abschwemmen von Wasserwirbellosen ausüben (Limnex 2009, 2012) und damit v.a. die Biomasse (Indikator **B1 Biomasse MZB**) langfristig tendenziell reduzieren. Beim Szenario II wird von einer eher geringen Erhöhung der Schwallraten (und auch der Maximalabflüsse) ausgegangen. Die heutigen Biomassen ergeben sowohl für die Bühnen- als auch für die Kiesbankstrecke die Klasse gelb, wobei diese Abschnitte nur knapp die Anforderungen für die Klasse grün verfehlen. Daher wird von den Experten keine Herabstufung in die Klasse orange für diese beiden Abschnitte erwartet (Tabelle 2). Die Ergebnisse aus der Kanalstrecke wurden für die Bewertung nicht berücksichtigt, da hier die lokale Dominanz einzelner Taxa das Ergebnis tendenziell verzerrt. Gesamthaft resultierte daher für den Indikator B1 die Gesamtbewertung Klasse gelb sowohl für den Ist-Zustand als auch für Szenario II.

Für den heutigen Zustand entsprachen sowohl der Index zur Beschreibung der standortgerechten Vielfaltigkeit (**B2 MSK-Modul MZB**) als auch die Diversität von Eintags-, Stein- und Köcherfliegenlarven (**B4 EPT-Familien MZB**) bei allen betrachteten Abschnitten (und in den Referenzstrecken der Lutschine) den Vorgaben für Klasse grün. Mit den etwas höheren Maximalabflüssen und

Schwallraten wird beim Szenario II der hydraulische Stress ansteigen und damit auch die Wahrscheinlichkeit, dass empfindliche Familien verschwinden können. Daher wurden die Indikatoren B2 und B4 für das Szenario II auf die Klasse gelb herabgestuft.

Häufig führen die höheren Fließgeschwindigkeiten während den Schwallphasen dazu, dass auf Strömung empfindlich reagierende Arten verschwinden und die Entwicklung strömungsliebender Arten dagegen tendenziell begünstigt wird («Rhithralisierung»; Céréghino et al. 2002). Wird die Lutschine als Referenz zur Beschreibung der standorttypischen Artenvielfalt herangezogen, resultiert für die Hasliaare im heutigen Zustand die Bewertungsklasse blau. Da der hydraulische Stress im Szenario II etwas zunimmt, können schwächere Rhithralisierungseffekte nicht ausgeschlossen werden. Daher stuften die Experten den Indikator **B3 Längenzonation MZB** für das Szenario II auf die Klasse «gut» (grün) herab.

Indikatoren der Fischfauna (F1-F5)

Der Indikator **F1 MSK-Modul Fische** wird anhand der Parameter Artenspektrum, Deformationen, Populationsstruktur und Fischdichte bestimmt (Schager & Peter 2004). Während für die heutige Situation die ersten beiden Aspekte ohne Defizit bewertet werden, zeigen die beiden letzten Aspekte eine methodisch maximale Abweichung zu einem natürlichen Zustand an. Allerdings muss hierbei auch der Einfluss der relativ eintönigen Morphologie auf das Lebensraumangebot mitberücksichtigt werden (Schweizer et al. 2013b). Da von den moderaten Erhöhungen der Schwallraten und des Maximalabflusses keine Verschlechterung hinsichtlich der Aspekte Artenspektrum und Deformationen erwartet wird, wurde dieser Indikator für die Zustände I und II mit der Klasse gelb bewertet (Tabelle 2).

Für die Bewertung des Indikators **F2 Stranden von Fischen** werden die Aspekte Pegelrückgangsrates, trockenfallende Fläche bei Sunkabfluss sowie die Beobachtung von tatsächlich gestrandeten Fischen berücksichtigt. Die Beurteilung dieser Parameter erfolgt

ausschliesslich bei tiefen Abflussverhältnissen, im Fall der Hasliaare unterhalb von 8.1 m³/s (Schweizer et al. 2013c). Da mit dem Szenario II künftig keine Veränderungen im Niedrigwasserbereich auftreten (s.o.), wurde dieser Indikator entsprechend dem Zustand I mit gelb bewertet (Schweizer et al. 2013b).

Bei der Anwendung des Indikators **F3 Laichareale der Fische** werden die Parameter vorhandenes Laichsubstrat, überflossene Sohlenbereiche bei Sunkabfluss sowie stabile Flächen des Flusssediments bei Schwallabfluss betrachtet. Die Beurteilung dieser Aspekte variiert nur unwesentlich zwischen den Zuständen I und II, so dass die Experten für beide Zustände diesen Indikator mit der Klasse grün bewerteten.

Die Bewertung des Indikators **F4 Reproduktion der Fischfauna** erfolgt über die Anzahl gefangener Sömmerlinge je Sohlenfläche. Die Abfischungen der Eawag (Haas & Peter 2009, Person et al. 2013) ergaben für alle Abschnitte in der Schwallstrecke sehr tiefe Werte, so dass der heutige Zustand mit der Signalfarbe rot bewertet wurde. Die tiefste Bewertungsklasse wurde für das Szenario II übernommen.

Allerdings muss bei diesem Indikator auch der Einfluss der Morphologie als erheblicher Faktor mitberücksichtigt werden. Aufgrund der relativ eintönigen Flussform fehlen in der Schwallstrecke insbesondere Flachufer, die als Lebensräume für Jungfische in Frage kommen. Die hydraulische Modellierung mit CASiMiR (www.casimir-software.de, Jorde 1997, Schneider 2001) zeigte, dass in allen Abschnitten nur bei relativ tiefen Abflüssen zwischen 5 und 20 m³/s geeignete Lebensräume für juvenile Bachforellen vorhanden sind (Person et al. 2013). Da die natürlichen mittleren Monatsabflüsse während der Entwicklung der Jungfische deutlich darüber liegen (z.B. Mai mit 45 m³/s), würden selbst bei einem natürlichen Abflussregime keine geeigneten Habitate für juvenile Bachforellen existieren. Bei der Gesamtbeurteilung wurde entsprechend den Vorgaben der Vollzugshilfe dieser Indikator daher nicht voll berücksichtigt. Entsprechendes gilt für die Indikatoren F1 und F5 (siehe unten), die ebenfalls

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

Tabelle 2: Bewertung der verschiedenen Zustände anhand der BAFU-Vollzugshilfe. Szenarien I bis III siehe Kap. 3.4 und 3.5. Bedeutung der Farben: rot = schlecht, orange = unbefriedigend, gelb = mässig, grün = gut, blau = sehr gut.

Tableau 2: Évaluation des différentes situations au moyen de l'aide à l'exécution de l'OFEV. Scénarios I à III, cf. chap. 3.4 et 3.5. Signification des couleurs: rouge = mauvais, orange = insatisfaisant, jaune = moyen, vert = bien, bleu = très bien.

sehr stark von der Morphologie beeinflusst werden.

Für den Indikator **F5 Fischereiliche Produktivität** werden die Aspekte fischereiliche Zonierung, Wassertemperatur, Lebensräume, Abflussregime und Verfügbarkeit der Nährtiere berücksichtigt. Bei den vier erst genannten Faktoren ergeben sich keine Unterschiede zwischen den Beurteilungen der Zustände I und II. Dagegen nimmt die Verfügbarkeit der Nährtiere für das Szenario II tendenziell etwas ab (s.o. Indikator B1). Bei der Anwendung des Indikators wurde die Wertefunktion den Gegebenheiten der Hasliare (hohe Vergletscherung mit generell geringer Produktivität) etwas angepasst (Details in Schweizer et al. 2013b). Insgesamt wurde eine relativ niedrige fischereiliche Produktivität bestimmt, die für beide Zustände (I und II) die Bewertungsklasse orange zur Folge hat.

4.3 Szenarien IIIa-IIIId – Ausbau KW Innertkirchen 1 mit schwalldämpfenden Massnahmen

Mit den betrachteten Speichervolumina ist es im Winter weder möglich, die minimalen Abflüsse zu erhöhen noch die maximalen Abflüsse zu reduzieren

(Bild 4). Allerdings können sowohl die Schwall- als auch die Sunkraten in Abhängigkeit des Speichervolumens deutlich reduziert werden. In der Bühnenstrecke kann beispielsweise das 95%-Perzentil der Schwallraten von heute $1.36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ auf $0.90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ beim Szenario IIIa und auf $0.70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}\text{min}^{-1}$ beim Szenario IIIc verringert werden. Grundsätzlich verlängert eine gedämpfte Änderung des Abflusses die Reaktionszeiten für die aquatische Fauna. Die Tiere können sich in diesem Fall den neuen Abflussbedingungen besser anpassen und bei Bedarf in andere Be-

reiche im Gewässer oder in der Sohle ausweichen.

Abiotische Indikatoren (A1, Q1, H1)
 Dank der Vereinbarung mit dem Kanton werden auch mit den Szenarien IIIa - IIIId die Vorgaben von Indikator **A1 Minimalabfluss** eingehalten (Tabelle 2). Trotz gedämpfter Schwall- und Sunkraten und einer damit verbundenen zeitlichen Verzögerung bei den Änderungen der Wassertemperatur wird keine Klassenverbesserung des Indikators **Q1 Wassertemperatur** erreicht (Limnex 2012). Auch für den Indikator **H1 Kolmation** werden keine Veränderungen angenommen, sodass alle abiotischen Indikatoren mit der Klasse grün bewertet werden.

Indikatoren des Makrozoobenthos (B1-B4)

Wie die Driftversuche von 2008 (Limnex 2009) gezeigt haben, lässt sich das Abschwemmen von Wirbellosen mit einer verlangsamten Abflusszunahme deutlich reduzieren. Hingegen wurde beim Abfluss im Bereich zwischen 40 und $50 \text{ m}^3/\text{s}$ keine erhöhte Drift gemessen. Zurzeit ist es allerdings nicht möglich, die genauen Zusammenhänge zwischen der Entwicklung des Makrozoobenthos (MZB), der Verdriftung und weiteren Faktoren wie z.B. Lebensräume oder Wasserqualität zu quantifizieren. Daher muss die ökologische Bewertung für die Indikatoren B1–B4 auf Expertenwissen, Erfahrungswerte, Literaturrecherchen und Analogieschlüsse zurückgreifen.

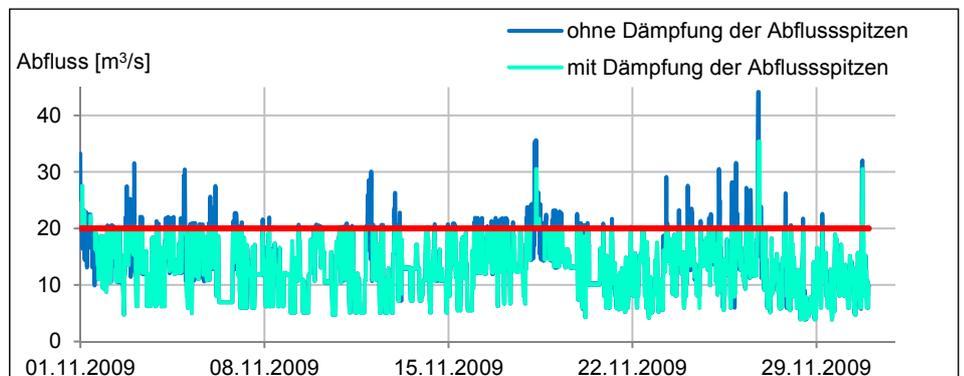


Bild 5: Reduktion des maximalen Abflusses in der Hasliare im November 2009 zur Verbesserung der Laichbedingungen von Salmoniden (Maire & Theiler 2013). Unterhalb der roten Linie treten günstige Laichbedingungen für die Forellen auf.

Fig. 5: Réduction du débit maximal dans la Hasliare en novembre 2009 pour l'amélioration des conditions de frai des salmonidés (Maire & Theiler 2013). En-dessous de la ligne rouge apparaissent des conditions propices de frai pour les truites.

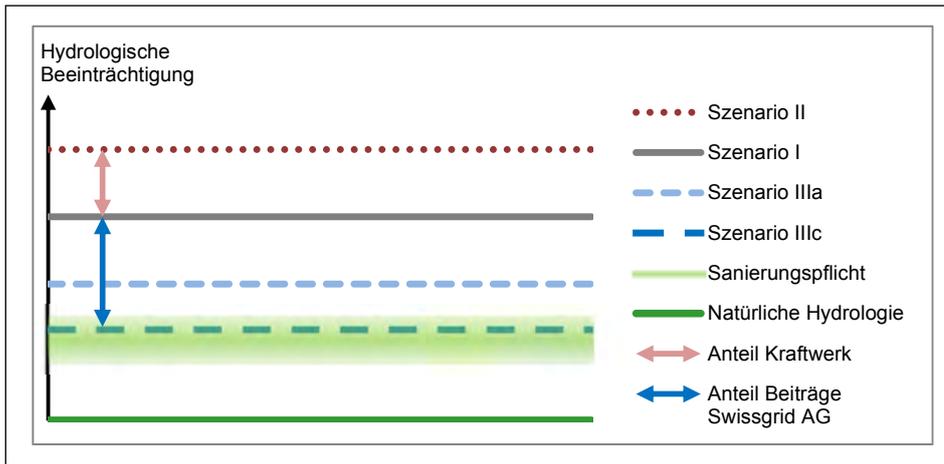


Bild 6: Schematische Darstellung zur Ermittlung des Kostenteilers. Die Y-Achse zeigt dabei die ökologische Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk. Das Niveau Sanierungspflicht ist etwas breiter dargestellt, da hier neben ökologischen Kriterien auch die Verhältnismässigkeit mitberücksichtigt werden muss.
 Fig. 6: Représentation schématique du modèle de calcul de la répartition des coûts. L'axe-Y indique les pertes écologiques par les effets d'éclusées. Le niveau d'obligation d'assainissement est présenté plus largement, car il s'agit aussi de tenir compte de la proportionnalité en plus des critères écologiques.

Zur Abschätzung des Indikators **B1 Biomasse MZB** wurde davon ausgegangen, dass eine Reduktion der Drift zu einer insgesamt höheren Biomasse an Insektenlarven führt. Die Drift in der Hasliaare hängt ihrerseits sowohl von der Schwallrate (s.o.) als auch von der Morphologie ab (Limnex 2009, Schweizer et al. 2010). So wurde bei den Driftversuchen eine deutlich geringere Abschwemmung an Insekten in der Kiesbankstrecke nachgewiesen als in der Kanalstrecke. Auf Basis dieser Grundlagen und der grossen Zahl an Felduntersuchungen wurde der Indikator B1 mit der Klasse grün für die Szenarien IIIa und IIIb und mit der Klasse blau für die Szenarien IIIc und IIId bewertet (Tabelle 2).

Grundsätzlich dürften ähnliche Schlussfolgerungen für die Indikatoren **B2 MSK-Modul MZB**, **B3 Längenzonation MZB** und **B4 EPT-Familien MZB** zulässig sein. Das heisst, dass auch hinsichtlich standortgerechter Artenzusammensetzung und Artenvielfalt gewisse Verbesserungen gegenüber dem heutigen Zustand möglich sind. Aufgrund der sehr hohen Anforderungen für einen Klassenwechsel (Tabelle 3) verbleiben die Indikatoren B2 und B4 wie für den Ist-Zustand in der Klasse grün, der Indikator B3 in der Klasse blau.

Indikatoren der Fischfauna (F1-F5)

Ohne morphologische Aufwertungen werden keine Veränderungen hinsichtlich der Aspekte Artenspektrum, Deformationen, Populationsstruktur und Fischdichte erwartet. Daher wurden die Indikatoren **F1 MSK-Modul Fische** und **F4 Reproduktion der Fischfauna** entsprechend den Zuständen I und II mit der Klasse gelb, resp. rot bewertet (Tabelle 2).

Bereits mit einem Volumen von 50'000 m³ (Szenario IIIa) können die Anforderungen hinsichtlich der Pegelrückgangsraten für den Indikator **F2 Stranden der Fische** erfüllt werden. Daher wurden die Szenarien IIIa und IIIb mit der Klasse grün bewertet. Mit der Realisierung von morphologischen Aufwertungen in der Schwallstrecke werden sich die hydraulischen Verhältnisse in diesen Abschnitten ändern. Dies wird dazu führen, dass strengere Grenzwerte für die Sunkraten nötig sein werden, um unter den neuen Gegebenheiten die Anforderungen des Indikators F2 (hinsichtlich Pegelrückgangsraten) weiterhin einhalten zu können (Schweizer et al. 2013c). Ab einem Speichervolumen von 80'000 m³ kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen hinsichtlich der Sunkraten auch bei morphologischen Verbesserungen (z.B. Aufweitungen) eingehalten werden können. Daher wurden die Szenarien IIIc und IIId mit der Klasse blau (sehr gut) bewertet.

Verglichen mit den Szenarien I und II führt das Abflussregime der Szenarien IIIa - IIId zu keinen Veränderungen bei der Bewertung des **Indikators F3 Laichareale von Fischen**. Somit wurde dieser Indikator für alle Szenarien mit der Klasse grün bewertet. Grundsätzlich sollten bei einer umfassenden Beurteilung der Verlaichung auch die Parameter Fließgeschwindigkeit und Abflusstiefe während der Paarungszeit berücksichtigt werden (Tabelle 3). In der Regel benötigen die Bach- und Seeforellen über mehrere Stunden günstige Abflussbedingungen, um ihre Paarung ungestört zu vollenden. In der Kiesbankstrecke müssen dafür die Abflüsse unterhalb von 20 m³/s liegen (Bieri 2012, Person et al. 2013). Im November treten i.d.R. eher kleinere Schwallspitzen auf, die bereits mit einem Speichervolumen von 80'000 m³ so herabgesetzt werden können, dass für über 90% der Laichzeit geeignete Bedingungen für die Paarung gegeben sind (Bild 5; Maire & Theiler 2013).

Gegenüber dem heutigen Zustand ändert sich bei den Eingangsgrößen für den Indikator **F5 Fischereiliche Produktivität** nur die Verfügbarkeit an Nährtieren, die der Biomasse des MZB entspricht. Die für die Szenarien IIIa – IIId prognostizierte Erhöhung der Nahrungsverfügbarkeit führt beim Indikator F5 für die Szenarien IIIa–III d zu einem Wechsel in die Bewertungsklasse gelb.

4.4 Gesamtbewertung der verschiedenen Szenarien

Die abschliessende Bewertung für jedes Szenario wurde gemeinsam in einem Workshop mit der Begleitgruppe und dem Expertenteam durchgeführt. Aufgrund methodisch bedingter Unsicherheiten (Kap. 4.1) konnte keine «exakte» Gesamtbewertung (z.B. Szenario I: Klasse gelb, Szenario II: Klasse orange) vorgenommen werden. Stattdessen wurde versucht, die Beurteilung der verschiedenen Szenarien in Form einer Synthese verbal zusammenzufassen:

- «Für den heutigen Zustand liegt eine wesentliche Beeinträchtigung durch Schwall/Sunk vor.»
- «Der Kraftwerksausbau (Szenario II) führt zu einer leichten Verschlechterung...»

rung, da insgesamt drei Indikatoren (B2, B3 und B4) eine Klasse schlechter als Szenario I abschneiden.»

- «Mit den Szenarien IIIa ($V = 50'000 \text{ m}^3$) und IIIb ($V = 60'000 \text{ m}^3$) kann die durch den Kraftwerksausbau verursachte Verschlechterung mehr als kompensiert werden. Es resultiert für beide Szenarien gegenüber heute eine leichte Verbesserung, da insgesamt drei Indikatoren (B1, F2 und F5) eine Klasse besser als Szenario I abschneiden.»
- «Für die Szenarien IIIc ($V = 80'000 \text{ m}^3$) und IIIId ($V = 100'000 \text{ m}^3$) wird eine leichte bis mässige Verbesserung gegenüber heute erwartet, da insgesamt ein Indikator (F5) eine Klasse besser und zwei Indikatoren (B1 und F2) zwei Klassen besser als Szenario I abschneiden.»
- «Mit der bestehenden Morphologie kann mit den Szenarien IIIa–IIIId keine Verbesserung für die Indikatoren F1 und F4 erreicht werden. Bei einer deutlichen Aufwertung der Morphologie (insbesondere bzgl. Habitate für Jungfische) ist mit zunehmendem Beckenvolumen eine Verbesserung möglich.»

Diese zusammenfassenden Erkenntnisse bildeten die Grundlage sowohl für die Festlegung der umzusetzenden Sanierungsvariante als auch für eine möglichst objektive Herleitung eines Kosten-

teilers. Der von der KWO zu tragende Anteil entspricht dabei der ökologischen Verschlechterung, die durch den Kraftwerksausbau (Szenario II) gegenüber dem Ist-Zustand (Szenario I) resultiert. Allerdings können trotz Kraftwerksausbau mit dem Bereitstellen eines Zwischenspeichers (Szenarien IIIa–IIIId) ökologische Verbesserung gegenüber dem heutigen Zustand erreicht werden (siehe oben). Diese ökologische Aufwertung berechtigt grundsätzlich zu Beiträgen der Swissgrid AG (Kap. 1). Rechnerisch lassen sich die entsprechenden Beiträge aus der Differenz zwischen Ist-Zustand und dem gewählten Szenario (IIIa, IIIb, IIIc oder IIIId) ableiten. Bild 6 stellt das angewendete Prinzip vereinfacht dar.

5. Auswahl und Kurzbeschreibung der umzusetzenden Sanierungsvariante

Auf Basis der oben beschriebenen Grundlagen wurde von den Vertretern des BAFU und des AWA die Sanierungsvariante IIIc ($80'000 \text{ m}^3$) für die Umsetzung ausgewählt (Bild 7 und 8). Ausschlaggebend für diesen Entscheidung waren folgende Aspekte:

- Zwischen der Sanierungsvariante IIIb und IIIc wird eine ökologische Verbesserung erwartet (Indikatoren B1 und F2).

- Verglichen mit den Varianten IIIa und IIIb treten bei der Variante IIIc unterproportionale Zusatzkosten auf.
- Aufgrund einer neuen Linienführung des Speicherstollens ist eine Realisierung der Variante IIIId mit deutlich höheren Zusatzkosten (verglichen mit Szenario IIIc) verbunden, ohne dass damit ein ökologischer Mehrwert erwartet wird.
- Mit Variante IIIc können auch die Anforderungen bei künftigen morphologischen Aufwertungen in der Schwallstrecke erfüllt werden (Kap.4.3).
- Mit Variante IIIc dürfte ein ausreichender Handlungsspielraum bestehen, um die bestehenden Unsicherheiten (z.B. bzgl. künftigen Betriebsregime) ausreichend abzufedern.

Da bei der Wasserrückgabe in Innertkirchen nur eine begrenzte Fläche für den Bau eines Beruhigungsbeckens zur Verfügung steht, kann oberirdisch ein Speichervolumen von maximal $18'000 \text{ m}^3$ erreicht werden. Das restliche Volumen wird daher unterirdisch, in Form eines Speicherstollens mit Drosselklappen umgesetzt. Künftig wird das Kraftwerk Innertkirchen 1 das turbinierete Wasser über diesen Speicherstollen in das Beruhigungsbecken leiten, während die Zentrale Innertkirchen 2 direkt in das Beruhigungsbecken entwässert. Die



Bild 7: Illustration des künftigen Beruhigungsbeckens in Innertkirchen.
Fig. 7: Illustration du futur bassin d'amortissement à Innertkirchen.

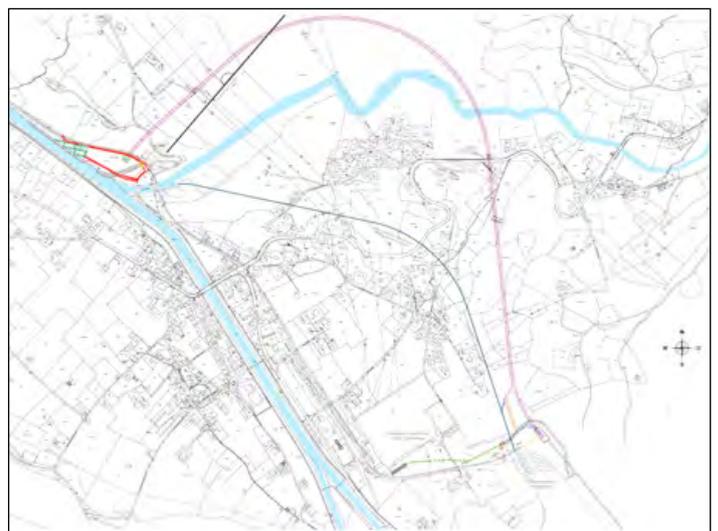


Bild 8: Verlauf des heutigen (blaue Linie) Stollens und des künftigen Speicherstollens (violette Linie, mit deutlicher Laufverlängerung gegenüber heute) sowie Lage des Beruhigungsbeckens (rote Linie).
Fig. 8: Tracé de la galerie actuelle (ligne bleue) et de la galerie de stockage future (ligne violette, avec un clair allongement du tracé par rapport d'aujourd'hui), ainsi que l'emplacement du futur bassin d'amortissement (ligne rouge).

Indikator	Bemerkungen zu den einzelnen Indikatoren
A1 Mindestabfluss	A1 ist ökologisch aussagekräftig für die Quantifizierung der Lebensräume bei Niedrigwasser und bei einem Vergleich mit dem natürlichen Q_{47} .
Q1 Wassertemperatur	Bewertung reagiert sensitiv auf das Messintervall.
H1 Kolmation	Feldmessungen, biologische Versuche (z.B. Laichboxen) und Vergleich mit Grundwasserpegeln sind für eine ökologische Beurteilung aussagekräftiger als H1.
Indikatoren MZB	Methodisch bedingte Unsicherheiten bei den Probenahmen sind unvermeidbar, können aber durch eine ausreichende Anzahl von Probenahmen quantifiziert werden. Sofern möglich sollten geeignete Referenzgewässer miteinbezogen werden.
B1 Biomasse MZB	Wenige schwere Tiere in einer Probe können die Bewertung dominieren.
B2 MSK-Modul MZB	Für gletscherbeeinflusste Schwallstrecken scheint die Wertefunktion tendenziell zu streng, da die Klasse blau auch in Referenzgewässern selten erreicht wird (Limnex 2012).
B3 Längenzonation MZB	Wenn möglich, sollte die Definition der Flussregion anhand eines Referenzgewässers erfolgen.
B4 EPT-Familien MZB	Siehe Indikator B2.
F1 MSK-Modul Fische	Der Einfluss der Morphologie muss mitberücksichtigt werden.
F2 Stranden von Fischen	Bei der Wertefunktion sollten zusätzlich die Klassen gelb und orange eingefügt werden. Zu prüfen ist, ob für F2 auch die Rückgangsrate der benetzten Breite / Fläche, die Korngrösse sowie eine saisonale Betrachtung berücksichtigt werden können. Die Anzahl von gestrandeten Fischen hängt auch von der Fischdichte ab.
F3 Laichareale der Fische	Biologische und physikalische Feldversuche vergrössern die Aussagekraft (Schweizer et al. 2013b). Zusätzlich können auch die Habitatsbedingungen während der Paarungszeit berücksichtigt werden. I.d.R. benötigen die Fische ein mehrstündiges Zeitfenster mit günstigen Bedingungen. Der Einfluss des Kraftwerkbetriebs auf die Korngrössenverteilung kann mit hydraulischen Simulationen bestimmt werden.
F4 Reproduktion der Fischfauna	Der Einfluss der Morphologie muss mitberücksichtigt werden. Die Betrachtung aller Lebenszyklen ist empfehlenswert.
F5 Fischereiliche Produktivität	Im Fall von Gletscher geprägten Fliessgewässern ist eine Anpassung der Wertefunktion nötig. U.U. ist die Betrachtung der Fischbiomasse besser geeignet.

Tabelle 3: Bei der Defizitanalyse gewonnene Erfahrungswerte.
Tableau 3: Valeur empirique lors de l'analyse de déficit.

Wasserrückgabe in die Aare erfolgt mit zwei regelbaren Organen am Auslauf des Beruhigungsbeckens (Bild 7).

6. Diskussion

6.1 Indikatoren für die Bewertung des Ist-Zustands

Wie in Tabelle 1 beschrieben, reagieren die zwölf Indikatoren unterschiedlich sensitiv auf die morphologischen und hydrologischen Verhältnisse. Methodisch bedingte Redundanzen traten zwischen den Indikatoren B2 und B4 (teilweise auch mit B3), zwischen B1 und F5 sowie zwischen F1 und F4 auf. In Absprache mit den Experten und den Behördenvertretern wurde die Methodik bei den Indikatoren H1, B3, F2, F3 und F5 entsprechend den Gegebenheiten (sehr feine Trübstoffe, hoher Gletscheranteil, relativ grobes Sohlensubstrat, geringe natürliche Fischproduktivität) in der Hasliaare angepasst (Schweizer et al. 2013b).

Diese Zusammenfassung der methodischen Aspekte verdeutlicht, dass die

Vollzugshilfe nur von Experten mit ausreichender Erfahrung und guten lokalen Kenntnissen angewendet werden sollte. Trotz allenfalls nötiger methodischer Anpassungen eignet sich die BAUFU-Vollzugshilfe sehr gut, um die aktuelle gewässerökologische Situation umfassend zu beschreiben und um Sanierungsansätze effizient abzuleiten. In Tabelle 3 sind die in dieser Fallstudie gewonnenen Erfahrungswerte und die daraus abgeleiteten Empfehlungen in aller Kürze zusammengefasst.

6.2 Indikatoren für die Bewertung künftiger Zustände

Während das bestehende Indikatorenset zur Beurteilung des Ist-Zustands entwickelt wurde, erfordert das in Phase 2 vorgesehene Variantenstudium (Kap. 1) eine Bewertungsmethodik, dessen Indikatoren auch für künftige Zustände prognostizierbar (oder zumindest semi-quantitativ abschätzbar) sind. Konkret müssen Veränderungen im Abflussregime aber u.U. auch in den morphologischen Verhältnissen der Schwallstrecke objektiv und ausreichend genau berücksichtigt werden können. Grundsätzlich

Indikator	Bemerkungen zu den verschiedenen gewässerökologischen Aspekten
Mindestabfluss	Siehe A1 in Tabelle 3.
Wassertemperatur	Die Effekte von häufigen Änderungen der Wassertemperatur auf den Stoffwechsel und auf das Verhalten aquatischer Organismen könnte noch detaillierter untersucht werden. Auch wären zusätzliche Abklärungen zum Einfluss der Trübung (evtl. als eigenständiger Indikator) zu überprüfen.
Innere Kolmation	Der Zusammenhang zwischen Schwallregime und Kolmation bedarf einer wissenschaftlichen Vertiefung.
Biomasse MZB	Für eine semi-quantitative Prognose dieses Indikators ist die Beschreibung der Wirkungsgefüge <ul style="list-style-type: none"> • von Hydrologie und Morphologie auf die Verdriftung des MZB sowie • von der Verdriftung des MZB auf die Gesamtbiomasse /-abundanz nötig. Detaillierte Driftversuche und Probenahmen an verschiedenen Gewässersystemen könnten zu einem besseren Verständnis beitragen. Dabei sollten sich die Untersuchungen über längere Zeiträume erstrecken, damit nach einem Driftversuch eine ausreichende Wiederbesiedlung des MZB möglich ist.
Artenvielfalt MZB	Die Sensitivität einzelner Arten auf das Abflussregime könnte mit Literaturrecherchen und konkreten Grundlagenforschungen untersucht werden. Zusätzlich könnte die Mobilität ausgewählter Arten erforscht werden, um bei Habitatsmodellen auch instationäre Verhältnisse (z.B. bei Trockenfallen von Gewässerabschnitten) berücksichtigen zu können.
Standorttypische Gemeinschaft MZB	Siehe Indikator Artenvielfalt MZB.
Artenvielfalt Fische	Die Sensitivität ausgewählter Fischarten auf das Abflussregime könnte detailliert untersucht werden.
Lebenszyklen der Leitart(en)	Mit der Untersuchung aller Lebenszyklen kann das fischökologische Potenzial (Populationsstruktur, Biomasse und Fischdichte) möglichst objektiv bewertet werden.
Laichaktivität	Die Habitatsbedingungen während der Paarungszeit sollten mitbeurteilt werden (z.B. wie viele Zeitfenster mit günstigen Bedingungen stehen den Fischen während der Laichzeit zur Verfügung?).
Entwicklung des Laichs	Siehe F3 in Tabelle 3.
Jungfische	Detaillierte Untersuchungen zur Verdriftung, zum Stranden und zur Mobilität von Jungfischen könnten die Aussagekraft von Habitatsmodellen deutlich erhöhen. Beim Stranden von Fischen sollte auch die vorhandene Fischdichte mitberücksichtigt werden.

Tabelle 4: Anregungen für eine Bewertungsmethode zur Beschreibung künftiger Zustände.
Tableau 4: Suggestions pour une méthode d'évaluation visant à la description des états futurs.

sind mit einer Vorhersage von künftigen Zuständen zusätzliche Unsicherheiten (z.B. künftiges Betriebsregime, künftige Steuerung von Zwischenspeichern) verbunden. Ungeachtet dessen, erfordert der ambitionierte Zeitplan zur Sanierung von Schwall/Sunk eine möglichst nachvollziehbare, transparente und dem aktuellen Wissensstand entsprechende Bewertung zukünftiger Varianten. Daher wird seit dem Frühling 2013 die bestehende Bewertungsmethode vom BAFU weiterentwickelt, um den o.g. Ansprüchen möglichst gerecht zu werden (Veröffentlichung geplant für Sommer 2014). Ohne in diese methodische Weiterentwicklung eingreifen zu wollen, erlauben sich die Autoren, basierend auf den gewonnenen Erfahrungswerten, konkrete Anregungen in Form einer Diskussionsgrundlage zu formulieren (Tabelle 4).

6.3 Fallstudie Hasliaare

Aufgrund der sehr guten Datengrundlage und dem Einbezug von Experten und Vertretern der Behörden konnte die Massnahmenplanung für die Sanierung der Hasliaare bereits vor dem offiziellen Zeitplan transparent und nach aktuellem Wissensstand umgesetzt werden. Dafür wurde ein stufenweises Verfahren gewählt (Kap. 2), wobei jeder Arbeitsschritt im Begleitgremium diskutiert und festgelegt wurde. Grundsätzlich dürfte sich dieses Vorgehen auch für andere Sanierungsfälle eignen, sofern auf die lokalen Gegebenheiten eingegangen

und die Methodik dementsprechend angepasst wird.

Mit den Sanierungsvarianten können die Bewertungen der Indikatoren B1, F2 und F5 um eine, resp. zwei Klassen verbessert werden. Bei den übrigen Indikatoren liegt entweder bereits heute eine zufriedenstellende Situation (B2, B3, B4, F3, H1, A1, Q1) vor oder die morphologischen Defizite sind so stark, dass selbst bei einer deutlichen hydrologischen Aufwertung keine oder nur eine geringfügige Verbesserung zu erwarten ist (F1, F4, F5). Da in den nächsten Jahren verschiedene morphologische Aufwertungen in der Hasliaare umgesetzt werden sollen, wurden auch diese künftigen Rahmenbedingungen bei der Auswahl der umzusetzenden Sanierungsvariante mitberücksichtigt. Um einen sachlich fundierten Variantenvergleich durchführen zu können, waren im Vorfeld zahlreiche und umfassende gewässerökologische Untersuchungen nötig. Dabei waren in verschiedenen Bereichen auch immer wieder ökologische Pionierarbeiten erforderlich.

7. Ausblick

Die Bautätigkeiten für das Beruhigungsbecken und den Speicherstollen wurden im Frühjahr 2013 aufgenommen (Bild 9). Die Inbetriebnahme erfolgt voraussichtlich im Jahr 2016. Anschliessend werden die gewässerökologischen Reaktionen mit einem umfassenden Monitoringprogramm nach einem, drei, fünf und zehn Jahr(en) dokumentiert.

Unabhängig von der Komplexität eines konkreten Sanierungsfalls eignet sich das hier beschriebene Vorgehen. Beispielsweise können mit diesem Ansatz Fälle mit oder ohne Kraftwerksausbau untersucht und bewertet werden. Ebenfalls erlaubt die vorgestellte Methodik, den Kostenteiler für den Fall zu bestimmen, bei dem ein Zwischenspeicher neben der hydrologischen Sanierung auch zur Pumpspeicherung eingesetzt werden soll.

Sowohl die bisher gewonnenen als auch die künftigen Erfahrungswerte können auf Anfrage für andere Sanierungsfälle zur Verfügung gestellt werden.

8. Danksagung

Die in dieser Publikation beschriebenen Arbeiten basieren zu einem grossen Teil auf den Vorarbeiten, Untersuchungen, Erfahrungen und dem einmaligen Wissen von Peter Baumann. Nicht nur in diesem Projekt verbleibt eine grosse Lücke im Fachbereich der Gewässerökologie. Für die sehr konstruktive 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 des Kantons Bern) bedanken. Catherine Mathez (BWU), Bernhard Luder (BAFU), Heinz-Peter Tscholl, Oliver Kost, Jan Baumgartner, Daniel Fischlin (alle KWO) und Michael Döring (EQCharta) gebührt ein grosser Dank für das kritische Durchlesen des Manuskripts.



Bild 9a und 9b: Illustrationen zum Beginn der Bauarbeiten am Beruhigungsbecken.
Fig. 9a et 9b: Illustrations du début des travaux du bassin d'amortissement.

9. Literatur

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., Zürich, Schweiz.

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.

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. 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 hydropowering on the longitudinal zonation patterns of benthic invertebrates in a mountain stream. Internat. Rev. Hydrobiol. 87: 47–60.

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

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

LCH (2010): Abschätzung der dämpfenden Wirkung von grossmassstäblichen Uferauheiten 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.).

LCH (2012): Betrieb des Dämpfungsbeckens Innertkirchen. Bestimmung der Schwallkennwerte für die Hasliaare un-

ter 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 KWOplus (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.).

Maire A. & Theiler Q. (2013): Management of a retention basin to mitigate effects of hydropowering. Final Report des Desing-Projekts «Science et ingenierie de l’environnement 2013. Betreuung Prof. Dr. P. Perona und Dr. S. Schweizer.

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): Fische Stufe F. Methoden zur Untersuchung und Beurteilung der Fliessgewässer. Mitteilungen zum Gewässerschutz Nr. 44. BUWAL: 63 S.

Schneider M. (2001): Habitat und Abflussmodellierung für Fliessgewässer mit unscharfen Berechnungsansätzen. Dissertation, University of Stuttgart, 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 Re-

duktion 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. (2012): Der Begleitgruppenprozess zu den Ausbauprojekten und zur Restwassersanierung im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» 2012(1): 11–17.

Schweizer S., Schmidlin S., Tonolla D., Büsser P., Meyer M., Monney J., Schläppi S., 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., Bieri M., Tonolla D., Monney J., Rouge M. und Stalder P. (2013c): Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände. «Wasser Energie Luft» 2013 (4): 267–274.

Kontaktadresse

Steffen Schweizer
 Dr. sc. ETHZ
 Umweltnaturwissenschaften
 Leiter Fachstelle Ökologie KWO
 Kraftwerke Oberhasli AG
 Grimselstrasse 19
 CH-3862 Innertkirchen
 Tel.: +41 33 982 20 11
 Fax: +41 33 982 20 05
 E-Mail: sste@kwo.ch
 Internet: www.grimselstrom.ch

Instream Measures in einer alpinen Schwallstrecke – eine erste Bilanz von der Hasliaare

Steffen Schweizer, Ralf Grand, Janick Frei, Sandro Schläppi, Matthias Meyer, Michael Döring, Willy Müller, Martin Flück, Martin Bettler, Beatrice Herzog

Zusammenfassung

In der Hasliaare in Innertkirchen wurden im Winter 2014/15 auf einer 300 m langen Flussstrecke fischökologische Aufwertungsmassnahmen in Form von Instream Measures (direkt im Fließgewässer, innerhalb der Dämme) umgesetzt. Aus ökologischer Sicht lag der Hauptfokus auf dem Schaffen von Habitaten für Jungfischstadien der heimischen Forelle (*Salmo trutta*), da diese in der mit Bühnen kanalisierten Strecke bei Abflüssen grösser als 20 m³/s fehlen. In der Planungsphase mussten erstens die dynamischen Anforderungen eines Gebirgsflusses berücksichtigt werden. Zweitens musste bei der ökologischen Aufwertung das Schwall/Sunk-Abflussregime beachtet werden, drittens sollte der Aufwand in einem akzeptablen Verhältnis zum ökologischen Mehrwert stehen und nicht zuletzt mussten die Ansprüche von vielen verschiedenen Akteuren berücksichtigt werden. Als Massnahmen wurde eine Kombination aus Belebtsteingruppen, Wurzelstöcken, Fischunterständen und abgeknickten Bühnen realisiert. Im Sommer und Herbst 2015 erfolgte eine erste Erfolgskontrolle, bei der die fischökologischen Verbesserungen aufgezeigt werden konnten.

Keywords

Schwall/Sunk, Fischökologie, Hasliaare

Mesures Instream dans un tronçon éclusée alpin – un premier bilan de la Hasliaare

Résumé

Dans la Hasliaare à Innertkirchen en hiver 2014/15, des mesures de valorisation de l'écologie des poissons en forme de mesures Instream ont été réalisées sur une distance de 300 m

(directement dans le cours d'eau, à l'intérieur des barrages). Du point de vue écologique, le sujet principal était de créer des habitats pour des stades juvéniles de la truite indigène (*Salmo trutta*), vu qu'elles manquent dans ce tronçon canalisé d'épis lors des débits supérieurs à 20 m³/s. Premièrement, on a dû tenir compte des exigences dynamiques d'une rivière de montagne dans la phase de planification. Deuxièmement, il fallait prêter attention au régime des éclusées lors de la revalorisation écologique. Troisièmement, la charge du travail devait être proportionnellement acceptable en relation d'une plus-value écologique, notamment en tenant compte des exigences des nombreux et différents acteurs. Les mesures prises étaient une combinaison de groupes de pierres vivifiées, rhizomes, abris pour les poissons et des épis cassés. En été et en automne 2015, un contrôle a été effectué au cours duquel une amélioration de l'écologie des poissons a été constatée.

Mots-clés

Éclusée, écologie des poissons, Hasliaare (Aar de Hasli)

Instream Measures in un tratto alpino soggetto a deflussi discontinui – un primo bilancio della Hasliaare

Riassunto

Nell'inverno 2014/15, lungo un tratto di 300 m della Hasliaare a Innertkirchen, sono state realizzate misure di risanamento dell'ecologia della fauna ittica tramite Instream Measures (direttamente nel corso d'acqua, all'interno degli'argini). Dal punto di vista ecologico, l'obiettivo principale era la creazione di habitat per gli avannotti della trota indigena (*Salmo trutta*), siccome

mancano in questo tratto canalizzato con pennelli di correzione quando la portata supera i 20 m³/s. Durante la pianificazione si è prima di tutto proceduto a considerare i bisogni dinamici tipici di un fiume alpino. Per il risanamento ecologico è in seguito stato tenuto conto dei deflussi discontinui. Inoltre bisognava che gli sforzi e i costi rimanessero in un rapporto accettabile paragonati al valore aggiunto dell'ecologia. Infine c'erano da considerare le richieste da parte di molte parti interessate. Le misure realizzate comprendono mucchi di massi, ceppi, nascondigli per i pesci e pennelli non dritti. Un primo controllo dei risultati ha avuto luogo nell'estate e autunno 2015, durante il quale sono stati registrati miglioramenti dell'ecologia dei pesci.

Parole chiave

Deflussi discontinui, ecologia dei pesci, Hasliaare

1. Ausgangslage und Rahmenbedingungen

Die Aare in Innertkirchen liegt morphologisch am Übergang vom alpinen Wildfluss zum Talgewässer. Der Gefällsknick am oberen Ende des Talbodens ist markant und führte über die Jahrtausende zur Aufschwemmung der Ebene. Das ab hier noch ca. 1 % steile Gerinne durchquert anschliessend das Dorf Innertkirchen und weite landwirtschaftlich genutzte Flächen bevor es in die Aareschlucht mündet und dann weiter ins Haslital fliesst. Die Hauptzuflüsse hier oben sind das Urbachwasser und das Gadmerwasser. Seit der Aarekorrektur Ende des 19. Jahrhunderts weist die Aare beinahe durchgehend ein Doppeltrapezprofil zur Aufrechterhaltung des Geschiebetransportes auf. Das ca. 15 m breite Mittelgerinne ist



Abbildung 1: Hasliaare in Innertkirchen: Bühnenstrecke vor Umsetzung der Musterstrecke.

Fig. 1: Hasliaare à Innertkirchen: tronçon à épis avant la mise en œuvre du tronçon modèle.

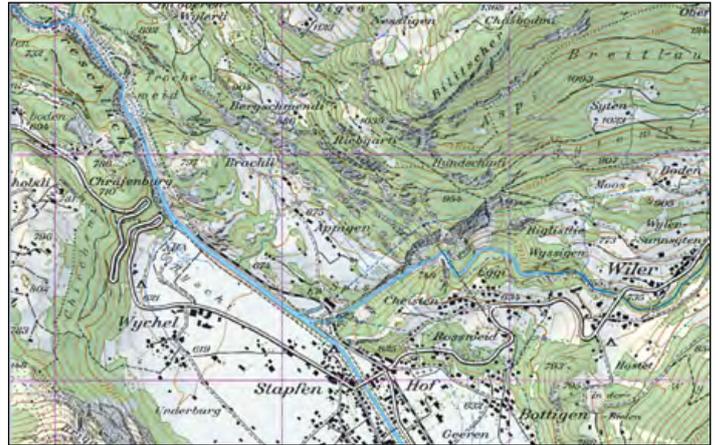


Abbildung 2: Situationsplan und Lage der Musterstrecke, Ausschnitt aus der Landeskarte 1:25'000, ohne Massstab.

Fig. 2: Plan de situation et position du tronçon expérimental, extrait de la carte nationale 1:25'000. Sans échelle.

mit trocken gemauerten Bühnen unterschiedlichen Alters verbaut. Der Abstand der Bühnen beträgt rund 20 m. Sie liegen rechtwinklig zur Flussaxe. Der hier behandelte Projektperimeter der 'Musterstrecke' liegt unterstrom der Wasserrückgabe der KWO (Abb. 1 und 2). Im Rahmen des Investitionsprojekts 'Tandem' erfolgte eine Schwallanierung gemäss revidiertem Gewässerschutzgesetz (Schweizer et al. 2016). Die Aare ist hier oben noch ein überaus dynamisches Gewässer. Das 100-jährliche Hochwasser wird am rund 10 km stromabwärtsliegenden Pegel mit gut 500 m³/s angegeben. Zudem führt die Aare im Hochwasserfall oder bei Murgängen (beispielsweise Spreit- oder Rotlavi) sehr grosse Mengen an Geschiebe mit sich.

Die Aare zwischen Innertkirchen und dem Brienersee ist ein wichtiger Lebensraum für Bach- und Seeforellen. Obwohl die Naturverlaidung nachweislich funktioniert, haben Zustandsuntersuchungen ergeben, dass es insbesondere an geeigneten Jungfischhabitaten (insbesondere Flachuferzonen und strömungsberuhigten Bereiche), Blickschutz vor Fressfeinden und strukturreichen Bereichen mangelt. Bei der Planung für die ökologischen Aufwertungen wurde daher der Fokus auf das Schaffen von ausreichenden Lebensräumen für Jungfische gelegt – unter Berücksichtigung der variierenden Abflussbedingungen bei Sunk und Schwall.

Bedingt durch den harten Uferverbau des Beruhigungsbeckens zur Schwalldämpfung bei der Wasserrückgabe der KWO wurden Ersatzmassnahmen notwendig. Es wurde entschieden - unter der Prämisse der hohen Belastungen der 'alpinen' Aare -, hier verschiedene 'Instream' Massnahmen («Ökomöblierung») im Rahmen einer Musterstrecke zu erstellen und sowohl ihre ökologische Wirkung wie auch ihre bauliche Umsetzbarkeit und Stabilität 1:1 zu testen.

Die entsprechenden Massnahmen wurden im Rahmen eines früheren Artikels (Bettler e.a., 2014) an dieser Stelle bereits beschrieben und im Winter 2014/2015 baulich realisiert.

2. Ziele

Folgende Hauptziele wurden bei der Projektierung der Musterstrecke verfolgt:

1. Das Gewässer soll fischökologisch aufgewertet werden. Es fehlten in erster Linie Jungfischhabitats sowie Rückzugsgebiete in der Schwall-Sunk-Strecke.
2. Das Mittelgerinne musste erhalten bleiben (Sicherstellung des Geschiebetriebes).
3. Die Einbauten müssen den sehr hohen Belastungen eines steilen, stark geschiebeführenden Alpenflusses standhalten.

Damit aus dem Fallbeispiel auch künftig ähnliche Projekte profitieren können, wurde eine erste Erfolgskontrolle durch

den Werkeigentümer im Sommer/Herbst 2015 durchgeführt. Dieses Monitoring wird im 2016 weitergeführt.

3. Ausgeführte Instream-Massnahmen

1. Wurzelstöcke/Steinlinsen/Asthäufen: Während Steinlinsen und Asthäufen am Übergang zum Vorland angeordnet wurden, wählte man für Wurzelstöcke Positionen direkt im Wasser. Neben einer gewissen Strömungsberuhigung bieten diese vor allem auch Blickschutz gegen Fressfeinde. Dabei spielt das Gefüge mit der räumlichen Textur in Lage und Höhe und der inneren Struktur der Ökomöblierung eine wichtige Rolle. Die Hohlräume sollten bei verschiedenen Abflüssen möglichst immer unter Wasser liegen, aber auch nicht eingelandet und damit unwirksam werden.
2. Fischunterstände aus Holzkästen und Einzelstämmen (Abb. 4): Aufgrund der regelmässigen Pegeländerungen infolge von Schwall/Sunk und der häufig geschiebeführenden Hochwasserabflüsse ist die Anordnung in Lage und Höhe für die Funktionsfähigkeit entscheidend.
3. Blocksteingruppen: Mit diesem Baustein wurde die insgesamt eher monotone Gewässersohle strukturiert. Ziel dieser Massnahme ist eine Erhöhung der Strömungsvariabilität und eine Erleichterung der lateralen Migration der Fische. Zusätzlich wird dieser Baustein auch eingesetzt um

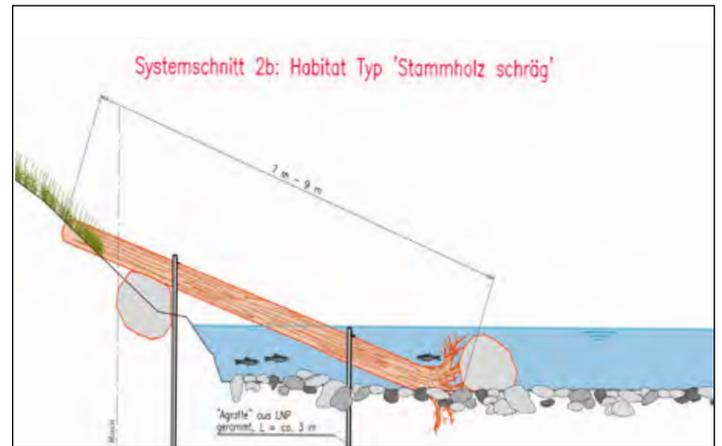
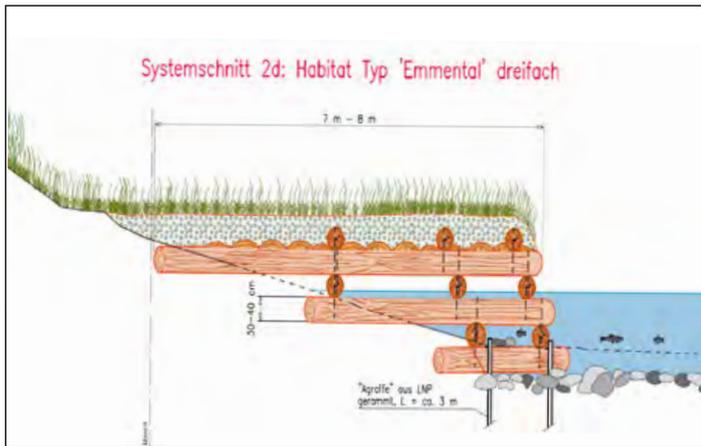


Abbildung 3 Normalprofile Fischunterstände.
Fig. 3: Profil normal abris de poissons.

die Strömung in Richtung der Fischunterstände zu lenken.

4. Hakenbuhne: Einzelne bestehende Buhnen wurden zur Erhöhung der Strömungsvariabilität umgebaut. Es wurde an einer Buhne ein Fortsatz rechtwinklig gegen die Fließrichtung an den bestehenden Buhnenkopf angebaut.
5. Raubäume: Raubäume (Abb. 3 und 5) sind ein bekanntes und verbreitetes Element zur Aufwertung von Gewässerbereichen mit einem sehr guten Kosten-Nutzen-Verhältnis. Im Rahmen der Musterstrecke sollten insbesondere Erfahrungswerte gesammelt werden, wie lange die Raubäume unter dem vorherrschenden Wasser- und Geschieberegime intakt

bleiben, resp. wie häufig diese ersetzt werden müssen.

4. Konstruktive Aspekte

Generell bildeten, wie oben beschrieben, v.a. die zu erwartenden Einwirkungen aus Strömungsdruck, Geschiebetrieb (und damit verbundenen Kolkphänomenen und Erddruck aus Anlandungen), Anprall und dgl. die grösste Herausforderung für Planung und Bau von Ufer- und Sohlenverbauungen mit guter Funktionsfähigkeit als Lebensraum. In der Literatur ist eine Vielzahl von 'weichen' Verbauungen beschrieben und es bestehen seit der 'Wiederentdeckung' der ingenieurbioologischen Bauweisen nun auch bereits wieder mehrere Jahrzehnte praktischer Erfah-

rung. Der allergrösste Teil solcher Massnahmen wird aber an wesentlich kleineren und flacheren Gerinnen realisiert. Die Vervielfachung der einwirkenden Kräfte durch eine steilere Sohle oder Geschiebetrieb wird durch den Nicht-Ingenieur nur zu oft unterschätzt. An der Musterstrecke wurde diesem Umstand damit begegnet, dass versucht wurde, klassische Elemente der Gerinnestrukturierung mit massiveren Mitteln, guten Fundationen und oft auch Rückverankerungen zu realisieren. Die einfachen Wurzelstöcke im Uferbereich wurden mit Drahtseilen zurück gebunden, welche ihrerseits an gerammten Stahlprofilen befestigt wurden.



Abbildung 4 Erstmals nach dem Bau teilweise gefluteter Holzkasten, Foto: K. Inäbnit, KWO.
Fig. 4: Caisse en bois partiellement inondée pour la première fois. Photo: K. Inäbnit, KWO.



Abbildung 5: massiv mit Stahlseilen und gerammten Stahlprofilen gesicherter Stamm, Foto: K. Inäbnit, KWO.
Fig. 5: Tronc consolidé avec des câbles d'acier massifs et des profils en acier. Photo: K. Inäbnit, KWO.

Für die Wurzelstöcke weiter im Gerinne wurden gestumpfte Wurzelstöcke (Wurzelstöcke mit einem mehrere Meter langen Stammstück) verwendet, wobei der Stamm in die Flusssohle eingegraben wurde. Die Ausführung dieser Variante führte zu grossen Baugruben und einem sehr hohen Aufwand.

Die Holzkästen wurden in erster Linie im Untergrund fundiert und nur leicht in den Damm eingebunden, da bei Verschiebungen oder Verdrehungen der Stämme sonst hohe Kräfte im Dammkörper erzeugt würden. Auch dies führte zu sehr grossen Baugruben und (im lockeren Kies der Aare) trotz Fangdämmen vielen Pumpenstunden.

Die Verankerung der Raubäume erfolgte ebenfalls mittels Stahlseilen an gerammte Stahlprofile in der Böschung. Weiter wurden 'Agraffen' aus schweren Normstahlprofilen geschweisst und in den Boden gerammt. Die Rammtiefe betrug bei allen solchen Verankerungen jeweils mehrere Meter.

Die Fischunterstände sollten sich möglichst dauerhaft im Wasser befinden, aber dennoch möglichst nicht eingelandet werden. Diese Aufgabe wurde so gelöst, dass die optimale Lage zwischen den Bühnen gesucht wurde (Strömungsbild im Bühnenfeld bei verschiedenen Abflüssen), so dass die Werke sandfrei bleiben oder periodisch wieder freigespült werden.

Eine grosse Herausforderung bildet auch immer der Anschluss an bestehende Mauerwerke, v.a. wenn sie älteren Datums sind. Unterschiedliche Konstruktionsarten und Steingrössen können in den meisten Fällen nicht stabil kraftschlüssig verbunden werden. So wurden früher - als Arbeitskräfte billig waren und Material teuer - oft aufwändig gemauerte, sauber verfügte und glatte Trockenmauerwerke erstellt, teilweise aus behauenen Steinen, welche im Verbund tragen und so im Verhältnis zur Steingrösse sehr hohe Stabilitäten aufweisen. Im Gegensatz dazu werden heute meist schwere Einzelblöcke verwendet - Material ist billig geworden und Arbeit teuer. Diese beiden Materialien lassen sich ohne Einsatz von Beton kaum verbinden. Ein Aufbrechen der Pflasterung würde den Verbund zerstö-

ren und mit grossen Blöcken kann der Kraftschluss nicht hergestellt werden. Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Einbau der Massnahmen mit solchen Mitteln im Gegensatz zu ingenieurbioologischen Bauweisen an kleinen Gewässern keine Kostenersparnis mehr darstellt - Beschaffung und v.a. Einbau sind aufwändig und teuer. Allerdings rechtfertigt eine Verbesserung der Lebensräume die Umsetzung von entsprechenden Massnahmen.

5. Monitoring

Im Mai 2015 und im November 2015 erfolgte eine Bestandsaufnahme, um die gewässerökologische Wirkung in der Realität beurteilen zu können. Im Rahmen des Monitoringprogramms konnte zudem das Verhalten der Elemente bei einem ausserordentlichen, hochkonzentrierten Abfluss, welcher durch einen Murgang (Spreitlau) im Oberlauf der Aare ausgelöst wurde, sowie bei kleineren Hochwasserereignissen ausführlich dokumentiert werden. Trotz dem wiederholten Auftreten von extrem hohen Geschiebefrachten, konnte nur eine mässige Versandung der Elemente festgestellt werden. Stark verlandet ist die Hakenbuhne, da auf einen strömungserzeugenden Durchlass unter der Bühne hindurch während der

Ausführung verzichtet wurde (dies wäre nur mit einem kompletten Abbruch und Neubau der Bühne möglich gewesen). Hinsichtlich Strömungs- und Breitenvariabilität konnte eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Ausgangszustand erreicht werden. Besonders während Niedrigwasser ist die Strukturvielfalt sehr gut erkennbar (Abb. 6). Aber auch bei Schwallabfluss bieten die verschiedenen Elemente ein diverses Strömungsmuster, wodurch die Fläche an strömungsberuhigten Zonen verglichen mit dem Ausgangszustand deutlich angestiegen ist. Im November 2015 erfolgte auf einer Fläche von ca. 0.1 ha bzw. auf einer Länge von ca. 100 m eine quantitative Elektrofischung entlang der Aufwertungen. Es wurden total 86 Bachforellen gefangen, davon 60 % Jungfische (0+ und 1+). Die Gesamtfischdichte sowie die 0+-Dichte (rund 55%) können für alpine Verhältnisse als gut eingestuft werden.

Allerdings ist es schwierig abzuschätzen, welche Auswirkungen der im Sommer 2015 erfolgte Murgang sowie die Räterichsbodenseentleerung 2014/15 auf den Fischbestand hatten. Weitere Kontrollbefischungen in den Folgejahren werden diesbezüglich mehr Aufschluss geben. Grundsätzlich kann aus den Erhebungen und Bege-

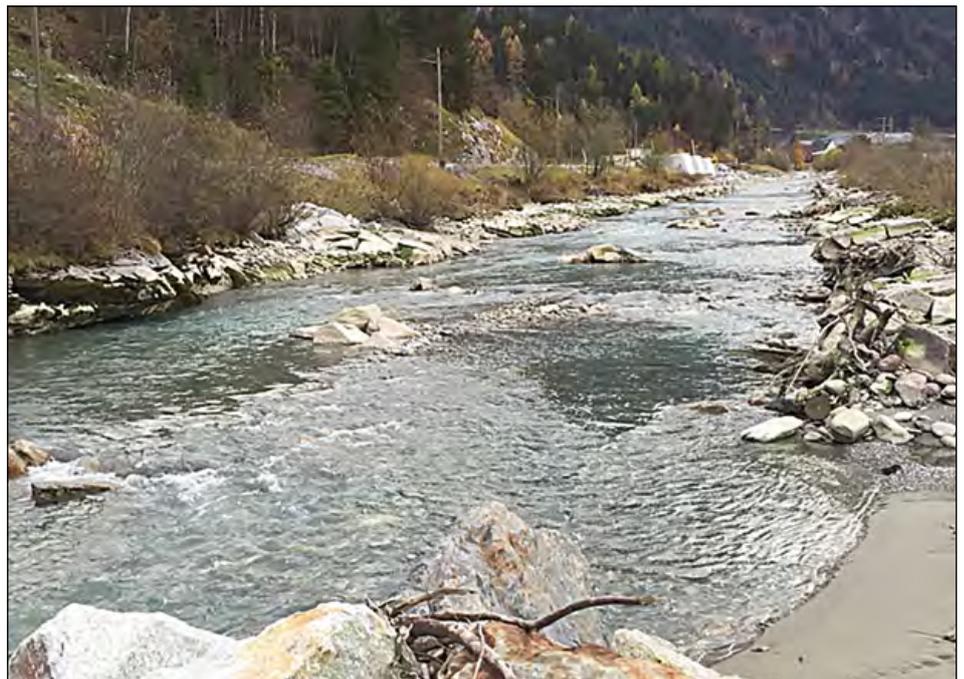


Abbildung 6: Ausschnitt der Musterstrecke bei Niedrigwasser.
Fig. 6: Extrait du tronçon expérimental en période d'étiage.

hungen aber geschlossen werden, dass die Jungfische die Aufwertungen gut annehmen. Die Ergebnisse dieser ersten Erfolgskontrolle können sowohl aus gewässerökologischer als auch aus der Perspektive des Hochwasserschutzes deshalb gesamthaft als durchaus positiv und vielversprechend beurteilt werden.

6. Fazit

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass einige der etablierten Aufwertungsmassnahmen bei sorgfältiger Vorplanung auch an sehr dynamischen Gewässern eingesetzt werden können und sich somit auch hier Bemühungen um die verbesserte Strukturierung des Gewässers und der Schaffung von Lebensräumen lohnen. Die Planungsphase hat aber gezeigt, dass bei der Umsetzung auch die hydraulischen Belastungen, die konstruktive Ausbildung und die Kosten beachtet werden müssen.

7. Ausblick

Im Zuge der Umsetzung des Gewässerrichtplans Hasliaare sind unterhalb von Innertkirchen zwischen Meiringen und Brienz insgesamt vier Musterstrecken vorgesehen, um Erkenntnisse für die wasserbautechnische und ökologische Umsetzung zu gewinnen. An der Fachhochschule Rapperswil wird momentan im Auftrag der Schwellenkorporation Meiringen und der finanziellen Unterstützung des Renaturierungsfonds des Kantons Bern in einem hydraulischen Versuch die Anwendung der Resultate des Projekts OptiFlux an einer ersten umfassenden Teststrecke in Meiringen

(Balm-ARA) untersucht. Dabei sollen die Elemente der verschiedenen Habitatsdimensionen – Lenkbuhnen, Flachufer (Makroskala) und Ökomöblierung (Mesoskala) – an die örtlichen Gegebenheiten optimal angepasst werden. Die Musterstrecke soll nach Vorliegen der Ergebnisse zügig bewilligt und realisiert werden.

Weiter werden analog der Musterstrecke KWO, wo möglich, OptiFlux-Elemente in laufende Wasserbauprojekte im Berner Oberland integriert und weitere Bauweisen und Techniken getestet. Gemäss den Auftragszielen des Projekts OptiFlux sollen die Massnahmen jedoch nur dort zur Anwendung kommen, wo dies eine wenig oder unveränderbare, statische Gerinnemorphologie und ein allenfalls namhafter Geschiebetrieb kombiniert mit kleinem Gefälle erforderlich macht, ansonsten gelten die allgemeinen Ziele eines zeitgemässen Wasserbaus und der Gewässerrevitalisierung.

8. Literaturverzeichnis

Bettler M., Herzog B. (2015): Fliessgewässer im alpinen Raum: Möglichkeiten und Grenzen der Ingenieurbiologie. Ingenieurbiologie 2015.

Patt, H. & Gonsowski, P. Wasserbau; Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen (7. Aufl.). Springer, Wien

Schweizer, S., Neuner J. und Heuberger N. (2009). Bewertung von Schwall/Sunk – Herleitung eines ökologisch abgestützten Bewertungskon-

zepts. In «Wasser Energie Luft» 2009 (3): 194–202.

Schweizer, S. et al. (2013). Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare; Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme. In «Wasser Energie Luft» 2013 (3): 191–199.

Schweizer S., Schmidlin S., Bieri M., Büsser P., Meyer M., Money J., Schläppi S., Schneider M., Tonolla D., Tuhtan J. und Wächter K. (2016): Die erste Schwallsanierung der Schweiz: Die Hasliaare als Fallbeispiel. WasserWirtschaft 1: 10–15.

Speerli, J. & Schneider, L. (2013). Modellversuche OptiFlux – Strukturverbesserungen in Talflüssen. Zwischen- und Schlussbericht. www.be.ch/fischerei/publikationen.

Kontakt

Steffen Schweizer, Kraftwerke Oberhasli AG, E-Mail: sste@kwo.ch

Martin Bettler, Herzog Ingenieure AG
E-Mail: bettler@herzog-ingenieure.ch

Beatrice Herzog, Herzog Ingenieure AG
E-Mail: herzog@herzog-ingenieure.ch

Willy Müller, Fischereinspektorat des Kantons Bern,
E-Mail: willy.mueller@vol.be.ch

Erschliessung Alp Spycherberg, Innertkirchen

Silvio Corti

Ausgangslage

Die Spycherberg-Alp, wie es der Name schon sagt, liegt oben am Spycherstutz und gehört zur Gemeinde Innertkirchen. Die Alp liegt auf einer Höhe von 1434 m und dient als Alpkäserei. Bisher war die Alpbewirtschaftung nur mit einer Materialbahn möglich. Nach langem hin und her mit verschiedenen Ämtern, konnte die Alp endlich mit einer Alpstrasse erschlossen werden. Durch die Erschliessung dieser Alpstrasse wurden zum Teil sehr steile Böschungen erstellt, welche mit einer Handansaat nicht erfolgreich begrünt werden konnten. Die Exposition der Böschungen war sonnig bis halbschattig.

Die Firma Hydrosaat AG «und alles wird grün» wurde hinzugezogen. Mit der hydraulischen Ansaat, auch Nasssaat genannt, wird eine erfolgreiche Begrünung von Böschungen und Flächen sichergestellt. Die bearbeiteten Flächen werden somit optimal in die Umgebung integriert.

Im Qualitätssicherungs-Handbuch sind die Arbeitsabläufe klar beschrieben. Eine fachgerechte und einwandfreie Arbeitsausführung der Begrünung wird gewährleistet.

Besichtigung und Flächenaufnahme

Als erstes erfolgt eine Baustellenbesichtigung. Dabei stellte der zuständige technische Berater der Firma Hydrosaat AG fest, dass die von der ökologischen Baubegleitung vorgeschlagene Saatgutmischung UFA-Alpenrasen nicht die optimale Mischung für diesen Standort, Bodentyp und Nutzung ist. Nach Rücksprache mit der ökologischen Baubegleitung wurde diese Samenmischung, mit der vorgeschlagenen Mischung UFA «Rätia Eiger Alpin» ergänzt. Bei der Flächenaufnahme wurden gemeinsam die zu begrünenden Flächen ausgemessen und markiert. Die Markierung mit den eingefärbten Holzpflocken dient den Arbeitern zur Sicherstellung der definierten Ansaatflächen.

Da sich die Hydranten im Talboden befinden, wurde das Wasser für die Nassansaat aus dem nahegelegenen Bach entnommen. Somit konnten zahlreiche Fahrten eingespart und unnötige CO₂-Belastungen vermieden werden. Die benötigte Wasserbezugsbewilligung wurde durch die Bauleitung eingeholt.

Begrünung

Die Nasssaat - auch Ansaat im Anspritzverfahren oder hydraulische Begrünung genannt - erfolgte in zwei Etappen. Diese wurden gemäss dem Baufortschritt geplant und ausgeführt.

Die Ansaat der ersten Etappe mit einer Fläche von 3500 m² erfolgte im August 2013 und die zweite Etappe mit einer Fläche von 2100 m² im Juni 2014.

Verwendete Materialien

Das ausgeführte Geosystema-System besteht aus folgenden Materialien:

- Zellulose, ist eine organische Substanz zur Förderung der Keimung
- Zusatzstoff «provide@Verde», versorgt magere Böden mit Nährstoffelementen und bewirkt eine rasche Etablierung der Vegetationsdecke
- Samenmischung UFA «Alpenrasen» und UFA «Raetia Eiger Alpin»
- Dünger und Bodenverbesserer mineralisch/organischer Art
- GeoTak als organischen Kleber
- Doppelte Mulchabdeckung, bestehend aus Hydromulch und Häcksel aus Pflanzenfasern

Sämtlich verwendete Produkte, sind organischer Struktur und biologisch abbaubar.

Ausführung

Zusammen mit einem Lageplan und einer Materialliste pro Maschine wird gewährleistet, dass die korrekten Materialmengen auf die zu begrünenden Flächen aufgespritzt werden.

Bei diesem Verfahren werden sämtliche Materialien mit Wasser in einem Tank (Hydroseeder) zu einer homogenen Masse gemischt und auf die zu begrünenden Flächen aufgespritzt. Somit wird eine gute Fixierung des Saatgutes auf der Bodenoberfläche gewährleistet. Durch die Zugabe eines organischen Bodenverbesserers wird die Bildung einer guten Durchwurzelung gefördert. Nach dem Abtrocknen der ausgebrachten Begrünungsmischung werden mit diesem Verfahren die Oberflächen gleichzeitig vor Erosion geschützt und eine stabile Vegetationsdecke bildet sich. Es entwickelt sich ein ideales Mikroklima, welches die Keimung des Saatgutes unterstützt und fördert. Trotz allem ist eine erfolgreiche Begrünung immer noch vom Wetter abhängig.

Resultat und Erfolgskontrolle

Das Qualitätssicherung-System stellt sicher, dass die vorgeschriebenen Materialmengen pro m² auf die Ansaat-Fläche ausgebracht werden. Der Zeitpunkt der Erfolgskontrolle wird auf Grund der angesäten Samenmischung festgelegt. Das Ergebnis der Kontrolle wird in einem Baustellenprotokoll festgehalten. Bei eventuellen Mängeln werden diese nach Absprache mit der Bauleitung behoben, und eine weitere Kontrolle wird festgelegt. Das Ziel ist eine vollständige Begrünung.

Randbedingungen

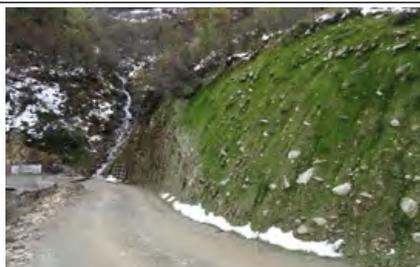
Auf einen zusätzlichen Erosionsschutz mit Kokos- oder Jutenetzen wurde verzichtet, damit Ziegen und auch das Wild sich nicht in den Netzen verfangen und verletzen.

Als Erosionsschutz könnte auch das bewährte Produkt, «Hydrosaat Protect» als flüssiger Erosionsschutz eingesetzt werden. Dieses Produkt besteht aus einer eigens entwickelten Mischung aus Holzfasern und Wasser. Es wird in mehreren Arbeitsgängen auf die Böschungen aufgespritzt. Nach dem Abtrocknen bildet sich eine vliesähnliche Schicht. Diese verhindert das Auswaschen des Saatgutes sowie der Bodenfeinanteile. Diese Methode aus natürlichen Rohstoffen passt sich auch einer unebenen Oberflächenstruktur ideal an und bildet keine Gefahr für Tiere. Aus Kostengründen wurde jedoch darauf verzichtet.

Besichtigung, Flächenaufnahme, Beratung zur optimalen Auswahl Saatgut und Erosionsschutz
Offtererstellung.



Nach 2 Monaten kann eine gleichmässige Begrünung festgestellt werden.



Es ereigneten sich auch kleinere Erosionsschäden.



Erosions- und Frostschäden wurden behoben und im Juni 2014 nochmals angesät.



Erfolgreiche Begrünung nach 2 Monaten.



Anschrift des Verfassers

Silvio Corti
Hydrosaat AG
Roemerswil 11
CH-1717 St. Ursen
E-Mail: hydrosaat@hydrosaat.ch
Tel.: ++41 26 322 45 25
Fax: ++41 26 323 10 77

Editorial	2
Fachbeiträge	
Gewässerökologische Aufwertungen im Rahmen der Restwassersanierung und der Ausbauprojekte an der Grimsel	4
Der Begleitgruppenprozess zu den Ausbauprojekten und zur Restwassersanierung im Oberhasli	16
Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli als wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWOpus	24
Die KWO saniert die von ihr genutzten Gewässer	38
Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 1a: Gewässerökologische Bestandsaufnahme	45
Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 1b: Ökologische Bewertung des Ist-Zustands anhand der 12 Indikatoren der aktuellen BAFU-Vollzugshilfe	56
Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare – Phase 2a: Konstruktion repräsentativer Abflussganglinien für künftige Zustände	66
Schwall/Sunk-Sanierung in der Hasliaare - Phase 2b: Ökologische Bewertung von künftigen Zuständen	76
Instream Measures in einer alpinen Schwallstrecke – eine erste Bilanz von der Hasliaare	89
Projektsteckbrief	
Erschliessung Alp Spycherberg, Innertkirchen	94



INGENIEURBIOLOGIE
GÉNIE BIOLOGIQUE
INGEGNERIA NATURALISTICA
INSCHENIERA BIOLOGICA

Verein für Ingenieurbiologie
Association pour le génie biologique

Verein für Ingenieurbiologie
 c/o HSR Hochschule für Technik Rapperswil
 ILF-Institut für Landschaft und Freiraum
 Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil
 Tel.: +41 (0)55 222 47 90
 E-Mail: sekretariat@ingenieurbiologie.ch



Europäische Föderation für Ingenieurbiologie
Federazione Europea per l'Ingegneria Naturalistica
European Federation for Soil Bioengineering
Fédération Européenne pour le Génie Biologique
Federación Europea de Ingeniería del Paisaje

Dipl.-Ing. Rolf Studer
 Verein für Ingenieurbiologie in der Schweiz
 Route du Coteau 63, CH-1752 Villars-sur-Glâne
 Tel.: +41 26 401 02 45
 Mail: rolfaugust.studer@gmail.com
 http://www.ingenieurbiologie.ch

Inserate

Inseratentarif für Mitteilungsblatt / Tarif d'insertion dans le bulletin

Der vorliegende Tarif ist gültig für eine Ausgabennummer.

Le présent tarif comprend l'insertion pour une parution.

1 Seite	Fr. 750.–	2/3 Seite	Fr. 550.–	1/2 Seite	Fr. 400.–
1/3 Seite	Fr. 300.–	1/4 Seite	Fr. 250.–	1/8 Seite	Fr. 150.–
Separate Werbebeilage beim Versand:		1 A4-Seite	Fr. 1000.–		
		jede weitere A4-Seite	Fr. 300.–		

Inseratenannahme: Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, ALN, Abteilung Landwirtschaft, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: +41 43 259 27 64, Fax: +41 43 259 51 48, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch

Link auf der Internetseite des Vereins / Liaison internet sur la page web de l'association: Fr. 750.– pro Jahr / par an.

Oder bei Inseraten im Mitteilungsblatt im Wert von mindestens Fr. 750.– pro Jahr.

Contre publication d'encarts publicitaires dans le journal Génie Biologique pour Fr. 750.– par an au moins.

Kommende Hefte / Carnets à venir

Heft:	Redaktionsschluss:	Thema:	erscheint:	Redaktion:
Nr. 2/2016	30. Juni 2016	Wegleitung Seeufer	August 2016	Monika La Poutré
Nr. 3/2016	30. Juni 2016	Hochlagenbegrünung	August 2016	Christian Rickli
Nr. 4/2016	15. Oktober 2016	Gewässer	Dezember 2016	Röbi Bänziger

Fachbeiträge sind gemäss den redaktionellen Richtlinien zu verfassen und bis zum Redaktionsschluss an Roland Scheibli, Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Landschaft und Natur, Walcheplatz 2, Postfach, 8090 Zürich, Tel.: + 41 43 259 27 64, E-Mail: roland.scheibli@bd.zh.ch einzureichen.