



Wasser Energie Luft
Eau énergie air
Acqua energia aria

3-2017

14. September 2017

Seeorelle, Leichttiere auf der Lahngrube 1 im Wychelbächli (Bild: KWO, Matthias Meyer)

- **Fischgängigkeit und -schutz bei Wasserkraftwerken**
- **eDNA im Wasserbau**
- **Gestaltung Gewässerräume**
- **Wasserhaushalt Schweiz**

Schutzmassnahmen und Monitoring zur Seeforelle im Zuge der Räterichsbodensee-Entleerungen 2014/15 und 2016

Matthias Meyer, Steffen Schweizer, Peter Büsser, Daniel Göz, Andreas Funk, Willy Müller, Martin Flück, Sandro Schläppi, Jan Baumgartner, Kristof Reuther, Kurt Wächter, David Tanno

Zusammenfassung:

Im Zuge der Räterichsbodensee-Entleerungen 2014/15 und 2016 musste in der Hasliaare mit hohen Feststoffkonzentrationen gerechnet werden. Neben den allgemeinen Schutzmassnahmen wurde für die Seeforelle ein spezielles Schutzkonzept erarbeitet.

Dies erfolgte mit dem Ziel, so wenig wie nötig in den Reproduktionsprozess eingreifen zu müssen, bei bestmöglichem Schutz aller Altersstadien. Hierzu wurde ein fischschonendes Leitsystem entwickelt, um die laichbereiten Seeforellen von einem weiteren Aufstieg in der Hasliaare abzuhalten und in die nicht trübstoffbelasteten Zuflüsse umzuleiten.

Im Vorfeld der Seeentleerungen lag bezüglich der Seeforelle eine ungenügende Datengrundlage vor.

Um die Auswirkungen der See-Entleerungen auf die Seeforellenpopulation bestmöglich zu erfassen, wurden verschiedene Monitoringmethoden umgesetzt und diese im Rahmen der zweiten See-Entleerung nochmals intensiviert. Zur Anwendung kamen kamerabasierte Aufsteigerzählungen, Laichgrubenkartierungen, Laichboxenversuche, Bestandsaufnahmen durch E-Befischung sowie ein Resistivity Fish Counter als festinstallierte Fischzählanlage.

Die gewässerökologischen Schutzmassnahmen waren sehr wirkungsvoll. Es ist davon auszugehen, dass der Schaden an Flora und Fauna der Hasliaare stark minimiert wurde und zu grossen Teilen durch eine Intensivierung des Laichfischfangs sowie Aufzucht von Brütlingen kompensiert werden konnte. Es ist anzunehmen, dass die Hasliaare ihren guten ökologischen Zustand in den kommenden Jahren rasch wieder erreichen wird.

Aufgrund der umfangreichen Erhebungen könnte nun auch langfristig aufgezeigt werden, wie sich die Seeforellenpopulation der Hasliaare entwickelt. Die zur Anwendung gekommenen Monitoringmethoden könnten auch an anderen Gewässern wichtige Erkenntnisse zur Seeforelle liefern.

1. Einleitung

Im Rahmen des Projekts «Tandem» baute die Kraftwerke Oberhasli AG (KWO) die Kraftwerkskette vom Räterichsbodensee bis nach Innertkirchen aus. Diese aufwertenden Massnahmen zielen darauf ab, die Stromproduktion mit derselben Wassermenge, durch die Verringerung von Reibungsverlusten, um 70 GWh pro Jahr zu steigern. An der Planung der ökologischen Ausgleichsmassnahmen waren die kantonalen Behörden und Bundesämter, verschiedene Umweltschutzorganisationen, der Bernisch Kantonale Fischereiverband sowie die lokalen Fischer und private Fachbüros beteiligt. 2011 wurde das Projekt ohne Einsprachen der Umweltschutzverbände genehmigt (Schweizer et al. 2012). Während des Begleitgruppenprozesses war bekannt, dass wegen der bau-

lichen Massnahmen der Räterichsbodensee im Winterhalbjahr 2014/15 komplett entleert werden muss. Bei den Bauarbeiten zur ersten See-Entleerung wurde festgestellt, dass das Verschlussorgan, die sogenannte Drosselklappe des Stausees, irreparable Schäden aufwies und ausgetauscht werden musste. Hierzu war eine erneute Entleerung im Februar 2016 nötig. Die ökologischen Auswirkungen, die durch die See-Entleerungen vom 08.11.14 und 06.02.16 sowie das Murgangereignis des Spreitgrabens vom 01.09.15 verursacht wurden, sind in dem Fachartikel «Die Entleerungen des Räterichsbodensees 2014/15 und 2016 – eine gewässerökologische Bestandsaufnahme» thematisiert (Schweizer et al. 2017).

Der hier vorliegende Fachbeitrag beschreibt die gewässerökologischen

Schutzmassnahmen und die Erfolgskontrollen hinsichtlich der Seeforelle im Zuge der beiden See-Entleerungen.

2. Entwicklung der gewässerökologischen Schutzmassnahmen

Aufgrund der Erkenntnisse der Entleerung des Räterichsbodensees aus dem Jahr 1991 war bekannt, welche Auswirkungen der Sedimentaustrag aus dem Stausee auf das unterhalb liegende Fließgewässer haben kann. Damals führten die hohen Trübstoffkonzentrationen und deren Langzeiteinfluss zu einem Totalausfall der Fischfauna in der Hasliaare vom Stausee bis nach Innertkirchen.

Für die Entleerung 2014/15 wurde bereits ab dem Jahr 2011 mit der Entwicklung eines umfangreichen Schutzkonzepts begonnen. Mit den gewässerökologischen Untersuchungen im Rahmen der Restwassersanierung der KWO lagen bereits Grundlagen zur Flora und Fauna der Hasliaare vor (Schweizer et al. 2010).

Hinsichtlich der Seeforelle in der Hasliaare bestanden jedoch noch grosse Wissenslücken. So war z. B. nicht bekannt, wie gross die Population ist.

Als gewässerökologisches Ziel wurde im Vorfeld der See-Entleerung definiert, die Auswirkungen auf die unterhalb des Stausees befindliche Hasliaare so gering wie möglich zu halten und das Gewässersystem mit seinen Organismen möglichst schnell wieder in den bestehenden guten ökologischen Ausgangszustand zurückzuführen. Hierzu galt es, umfangreiche Schutzmassnahmen für die Flora und Fauna der Hasliaare zu entwickeln und umzusetzen. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf der gefährdeten Seeforelle. Es zeigte sich, dass erst ab dem Kraftwerk Handeck eine Zugabe von Verdünnungswasser aus dem Gelmersee möglich ist. Für die Organismen des Gewässerabschnittes zwischen dem Räterichsbodensee und dem Kraftwerk mussten anderweitige Schutzmassnahmen getroffen werden.



Die Untersuchungen zeigten, dass ein hohes Wiederbesiedlungspotenzial für die Wirbellosen und für das *Phytobenthos* aus den Zuflüssen vorhanden ist. Lediglich die seltene Rotalge konnte nicht in den Zuflüssen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde entschieden, Steine mit ihrem Bewuchs in ausgesuchte Seitengewässer umzusiedeln. Aus Tierschutzaspekten wurde die Fischfauna, bestehend aus Bachforelle und Bachsaibling, durch eine gross angelegte Ausfischung aus dem Gewässerabschnitt oberhalb des Kraftwerkes Handeck in den Reichenbach umgesiedelt.

Für den maximal möglichen Schutz der aquatischen Organismen in der Hasliaare, unterhalb des Kraftwerkes Handeck, wurde von der Limnex AG ein Trübstoffüberwachungs- und Verdünnungswasserkonzept erarbeitet. Dieses bestand einerseits aus einem System von verschiedenen Online-Überwachungssonden und andererseits aus Modellberechnungen, welche die Trübstoffbelastung und die Belastungsdauer berücksichtigte. Der zentralen Leitstelle der KWO wurden zeitnah Empfehlungen für die allfällige Zugabe von Verdünnungswasser geliefert (Schweizer et al. 2017). Als vorrangige Massnahme, insbesondere im Hinblick auf die Reproduktion, wollte man das Aufsteigen der schweizweit gefährdeten Seeforelle in die trübstoffbelastete Hasliaare oberhalb von Innertkirchen bereits vor der See-Entleerung durch ein mechanisches Leitsystem verhindern (Limnex 2014; Meyer et al. 2015; Limnex 2015).

3. Schutzmassnahmen für die Seeforelle

Sowohl die Restwasserstrecke der Hasliaare als auch ihre Zuflüsse stellen für die Seeforellenpopulation des Brienzensees bedeutende Laich- und Jungfischhabitate dar.

In der Schweiz ist die Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) als stark gefährdete Art in der Roten Liste geführt. Dies ist insbesondere dadurch bedingt, dass sie ein charakteristisches Migrationsverhalten aufweist und in ihrem Lebenszyklus verschiedene Habitatstypen besiedelt. Um zu laichen, steigen die adulten Seeforellen ab September bis Mitte November aus dem Brienzensee in die Oberläufe der Seezuflüsse auf. Im Einzugsgebiet der Hasliaare liegt der Grossteil der Laichareale oberhalb von Innertkirchen, vor allem im Hauptfluss selbst, aber auch in den beiden Nebenflüssen Urbach- und Gadmerwasser (Meyer 2010; Büsser 2014).

Der eigentliche Laichprozess der Seeforelle findet hauptsächlich im November statt.

Hierzu legt der Rogner eine Laichgrube an und vergräbt darin die Eier, die durch den Milchner befruchtet wurden (Bild 11). Nach dem Laichprozess wandern die adulten Seeforellen in den Brienzensee zurück. Die Forellenlarven schlüpfen im Kieslückensystem und verlassen dieses, sobald ihr Dottersack aufgebraucht ist.

Die Jungfische leben ein bis zwei Jahre im Geburtsgewässer und wandern anschliessend in den See ab. Aufgrund der guten Nahrungsverfügbarkeit wachsen die Tiere im See sehr schnell heran und kehren ab einem Alter von drei Jahren als geschlechtsreifer Fisch in ihr Geburtsgewässer zurück.

Im Zuge der See-Entleerungen wurde für die Seeforelle ein Schutzkonzept mit dem Ziel erarbeitet, so wenig wie nötig in den Reproduktionsprozess eingreifen zu müssen und gleichzeitig einen bestmöglichen Schutz aller Altersstadien zu gewährleisten.

3.1 Installation der Seeforellenweiche

Für den Erhalt der Seeforellenjahrgänge 2014/15 und 2015/16 entwickelte die Fachstelle Ökologie der KWO ein mobiles fischschonendes Leitsystem für aufsteigende Wandersalmoniden. Hierdurch sollten die laichbereiten Seeforellen von einem weiteren Aufstieg in der Hasliaare oberhalb der Mündung des Urbachwassers abgehalten und idealerweise in die Zuflüsse umgeleitet werden (Meyer et al. 2015).

Das Ziel war, die natürliche Reproduktion der Seeforelle vom Hauptgewässer in die Seitengewässer zu verlagern. Denn es musste davon ausgegangen werden, dass der Fischlaich in der Hasliaare oberhalb von Innertkirchen trotz Verdün-

nungswasserzugabe durch die Kolmation des Interstitials stark geschädigt würde. Durch den Eintrag von Feinsedimenten würden die Poren des Kieslückensystems verstopft und die Sauerstoffversorgung der darin befindlichen Forelleneier unterbrochen.

Erste Feldversuche mit dem Leitsystem fanden für vier Wochen in der Laichperiode 2012 statt.

Neben der fischökologischen Funktionsfähigkeit für die Zielart musste das Leitsystem so konzipiert sein, dass es den starken hydraulischen Belastungen im Gebirgsbach für mehrere Monate standhält. Zugleich durfte keine Gefahr für die Hochwassersicherheit bestehen, da in der Hasliaare prinzipiell mit hohem Geschiebetrieb zu rechnen ist.

Die sogenannte Seeforellenweiche ist überwiegend aus Bambus hergestellt und wurde im Rahmen der ersten See-Entleerung auf eine Gesamtlänge von 15 m ausgelegt.

Die Seeforellenweiche wurde am 22.09. installiert und bis zum 27.11.14 im Gewässer belassen. Durch die Massnahme verschob sich das potenzielle Laichareal der Seeforellenaufsteiger in das Urbachwasser, die Hasliaare bis zum Leitsystem, das Gadmerwasser und das Wychelbächli (Bild 1). Während der Laichzeit 2014 konnte somit der Grossteil der Laichtiere von einem weiteren Aufstieg in die Hasliaare oberhalb des Leitsystems abgehalten werden.

Die Seeforellen, die in die Hasliaare oberhalb der Urbachmündung aufsteigen wollten, konnten später in den Zuflüssen oder in der Hasliaare unterhalb des Leitsystems selbst bei der natürlichen Reproduktion beobachtet und nachgewiesen werden.

Am 21.10.14 kam es durch starke Regenfälle zu einer Abflussspitze von über 10 m³/s, bei der sich zwei von fünf Zaun-

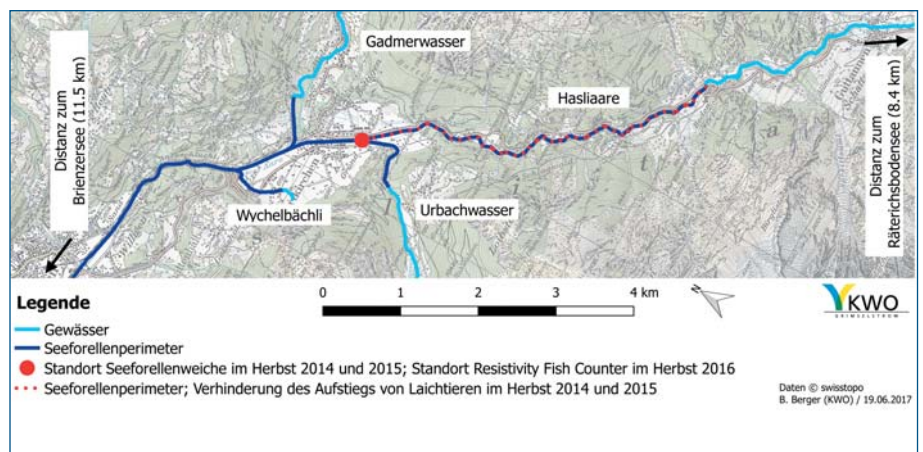


Bild 1. Der Seeforellenperimeter in der Hasliaare (Karte: Benjamin Berger).

segmenten auf die Gewässersohle legten. Dadurch verlor die Seeforellenweiche für etwa drei Stunden ihre fischökologische Leitwirkung.

Bei anschliessenden Elektrobefischungen oberhalb der Seeforellenweiche wurden die Seeforellen, die das Leitsystem überwinden konnten, eingefangen und in die Brutanstalt in Meiringen gebracht oder unterhalb der Seeforellenweiche wieder ausgesetzt (Meyer et al. 2015).

In der Laichzeit 2014 wiesen wenige Rogner leichte Quetschungen im Bereich der Augenpartie auf. Dieses Verletzungsbild dürfte im Zusammenhang mit dem Versuch stehen, die Seeforellenweiche zu passieren (Göz 2015).

Durch die Praxiserfahrungen aus dem Installationszeitraum 2014 wurde das Seeforellen-Leitsystem für den Einsatz im Folgejahr optimiert.

Hierzu wurde die Seeforellenweiche am selben Standort von 15 m auf 21 m verlängert, um einen höheren Durchfluss bei Hochwasser zu ermöglichen. Der lichte Stababstand bei den aufstiegsrelevanten Segmenten wurde auf ca. 38 mm verringert (Bild 2). Zum Erhalt des Seeforellenjahrgangs 2015/16 erfolgte die Installation der Seeforellenweiche am 19.09. das Leitsystem wurde bis zum 27.11.15. in der Hasliaare belassen.

Die fischökologische Funktionsfähigkeit der Seeforellenweiche war während des gesamten Installationszeitraums 2015 gewährleistet. Durch die Verlängerung auf 21 m konnte das Leitsystem selbst bei einem Hochwasserabfluss von 16 m³/s am 20.11.15 fischökologisch funktionfähig gehalten werden (Basiabfluss im Herbst ca. 1.5 m³/s).

Nach Göz (2016) konnten im gesamten Installationszeitraum 2015 weder Seeforellen-Laichtiere auf den Laicharealen in der Hasliaare oberhalb der Seeforellenweiche noch Verletzungsmuster, die von dem Leitsystem stammen könnten, nachgewiesen werden.

Um den Verlust an Laichhabitaten während des Installationszeitraums der Seeforellenweiche zu verringern, wurden vor der Laichzeit 2014 und 2015 Geschlebedotierungen im Urbachwasser am Ende des Seeforellenperimeters durchgeführt.

3.2 Ausbau der Brutanstalt in Meiringen und Intensivierung des Seeforellen-Laichfischfangs

Um während der See-Entleerungen die Hälterungskapazität für Laichtiere in der Brutanstalt in Meiringen zu erhöhen und den Laich zur Aufzucht von Jungforellen nutzen zu können, wurden im Aussenbereich der Anlage drei grosse Rundbecken, inklusive der entsprechenden Wasser- und Abwasseranschlüsse, installiert. Für die Aufzucht der Dottersackbrütlinge wurde ein spezielles Aufzuchtsieb angefertigt.

Durch den Fischereiverein, das Fischereiinspektorat und die Fachstelle Ökologie der KWO wurde der Seeforellen-Laichfischfang 2014 intensiviert und 98000 Seeforelleneier für den Wiederbesatz 2015 gewonnen. Der reguläre Besatzplan des Fischereiinspektorats sieht 40000 Seeforelleneier vor. Aufgrund der unvorhergesehenen zweiten See-Entleerung wurden die Seeforellenbrütlinge nicht wie vorgesehen in der Hasliaare ausgesetzt, sondern in deren Zuflüsse sowie in weitere Fließgewässer im Einzugsgebiet des Brienersees.

Durch den intensivierten Laichfischfang im Herbst 2015 konnten 70000 Seeforelleneier befruchtet werden. Die Seeforellenbrütlinge wurden im Frühjahr 2016 ausschliesslich in der Hasliaare und deren Zuflüssen besetzt.

4. Umweltüberwachung vor, während und nach den See-Entleerungen

Im Gegensatz zur Bestandsabschätzung einer Bachforellenpopulation ist die Erfassung von Seeforellenaufsteigern im freien Fließgewässer recht kompliziert. Im Fall der Hasliaare und ihrer Zuflüsse lagen über die Anzahl der Laichtiere keine Grundlagen vor. Es war bekannt, wie viele Laichtiere beim jährlichen Seeforellen-Laichfischfang gefangen wurden. Aber diese Zahlen sind stark abhängig von der Befischungsintensität und lassen kaum Rückschlüsse auf die Individuenanzahl der Population zu.

Um die Auswirkungen der Räterichsbodensee-Entleerungen 2014/15 und 2016 auf die Seeforellenpopulation in der Hasliaare oberhalb der Aareschlucht sowie ihrer Zuflüsse bestmöglich zu erfassen, wurden verschiedene Monitoringmethoden umgesetzt und im Zuge der zweiten See-Entleerung nochmals intensiviert. Zur Anwendung kamen kamerabasierte Aufsteigerzählungen, Laichgrubenkartierungen, Laichboxenversuche sowie Bestandsaufnahmen durch E-Befischungen.

Am ehemaligen Standort der Seeforellenweiche wurde in der Laichzeit 2016 die Zählung der Aufsteiger durch einen festinstallierten Resistivity Fish Counter fortgeführt.

Um Mehrfachlaicher oder Überspringer zu identifizieren, wurden alle beim



Bild 2. Die Seeforellenweiche in der Laichperiode 2015 (Bild: Andrea Bernhardt).



Bild 3. Seeforellenmilchner an der Weiche in 2014 (Bild: Matthias Meyer).

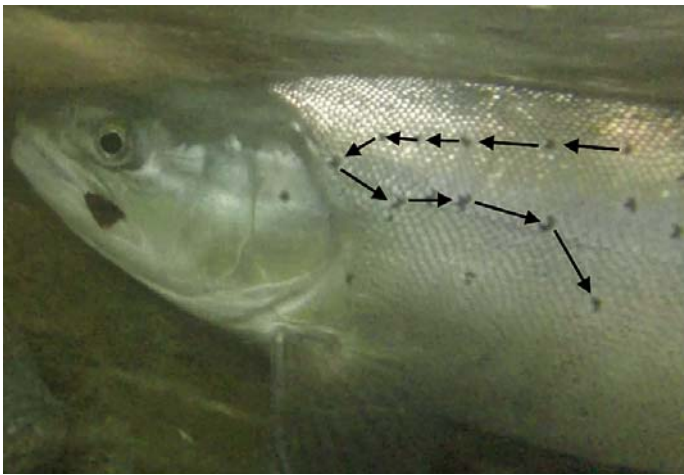


Bild 4. Erstnachweis ID «Molly» vom 13.10.14 am Standort der Seeforellenweiche (Bild: Daniel Göz).

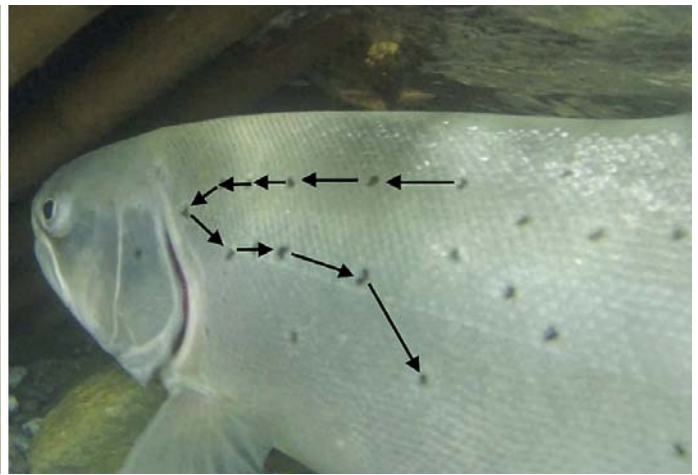


Bild 5. Rückkehrernachweis ID «Molly» vom 12.10.15 am Standort der Seeforellenweiche (Bild: Daniel Göz).

Laichfischfang gefangenen Individuen fotografiert und anhand ihres individuellen Punktmusters mit den Aufsteigern aus 2014 und 2015 verglichen.

4.1 Kameramonitoring

In der Laichzeit 2014 und 2015 erfolgte die Erfassung der Seeforellenaufsteiger durch ein mobiles Kameramonitoring. Aufgrund des installierten Leitsystems war davon auszugehen, dass Seeforellen mehrfach versuchen würden, in die Hasliaare oberhalb der Urbachmündung einzusteigen. Die Monitoringmethode musste daher eine individuengenaue Erfassung der Seeforellen-Laichtiere ermöglichen. In Zusammenarbeit von *Daniel Göz* mit der Fachstelle Ökologie der KWO und in Abstimmung mit dem Fischereinspektorat wurde ein mobiles und flexibles Kameramonitoring entwickelt und umgesetzt. Hierzu erfolgte mindestens einmal wöchentlich eine Überprüfung aller potenziellen Forellenunterstände im Seeforellenperimeter mit einer Unterwasserkamera sowie alle paar Stunden eine Besichtigung der Seeforellenweiche.

2016 wurden ebenfalls alle beim Laichfischfang gefangenen Seeforellen fotografiert, um Rückkehrer und Überspringer zu identifizieren.

In der Laichzeit 2014 konnten an der Seeforellenweiche in der Hasliaare, im Urbach, im Gadmerwasser, dem Wychelbächli sowie in der Brutanstalt Meiringen zwischen dem 22.09. und 27.11.14 insgesamt 118 Seeforellen-Individuen (darunter 4 Totfunde) anhand ihrer äusserlichen Merkmale (Punktmuster) eindeutig charakterisiert werden. Es waren 68 % (n = 80) weibliche und 32 % (n = 38) männliche Tiere. Die Zahl der Aufsteiger im Projektzeitraum 2014 wird mit einem geschätzten Korrekturfaktor auf ca. 159 Seeforellen kor-

rigiert, die in die Hasliaare ab Eingang Aareschlucht eingestiegen sind (Göz 2015).

In der Laichzeit 2015 konnten im Projektperimeter zwischen dem 18.09. und 27.11.15 159 Seeforellen-Individuen anhand ihrer äusserlichen Merkmale eindeutig charakterisiert werden. Es waren 75 % (n = 120) weibliche und 25 % (n = 39) männliche Tiere.

Die Zahl der Aufsteiger im Projektzeitraum 2015 wird mit einem Korrekturfaktor auf ca. 215 Seeforellen geschätzt, die in die Hasliaare ab Eingang Aareschlucht eingestiegen sind (Göz 2016).

Insgesamt konnten durch das Kameramonitoring vier Seeforellenrogner nachgewiesen werden, die in der Laichperiode 2014 und auch 2015 aufgestiegen sind (vgl. *Bilder 4* und *5*). Dies entspricht einer Rückkehrerrate von 2.5 % (Göz 2016).

Im Jahr 2016 konnten anhand von Kameraaufnahmen 70 Individuen erfasst werden. Davon wurden drei weibliche Seeforellen bereits im Jahr 2015 nachgewiesen. Daraus ergibt sich eine prozentuale Rückkehrrate von 4.3%. Sogenannte Überspringer aus dem Jahr 2014 konnten im Erfassungszeitraum 2016 nicht nachgewiesen werden (Göz 2017).

Der Wanderhöhepunkt im Projektzeitraum 2014 war in Innertkirchen an der Seeforellenweiche am 17.10.14 mit 12 nachgewiesenen Individuen und im Projektzeitraum 2015 mit 16 Individuen am 03.11.15. (Göz 2015; Göz 2016).

4.2 Resistivity Fish Counter

In der Hasliaare und im Urbachwasser bei Innertkirchen hat die Fachstelle Ökologie der KWO in Zusammenarbeit mit Peter Büsser einen Resistivity Fish Counter



Bild 6. Standort des installierten Resistivity Fish Counters in der Hasliaare im Herbst 2016 (Bild: Kristof Reuther).

zur Seeforellen-Aufsteigerzählung 2016 eingesetzt. Seit 1950 werden mit dieser Methode in Grossbritannien Lachse und Meerforellen beim Aufstieg zu ihren Laichgründen gezählt sowie Fischaufstiegsanlagen auf ihre Funktionsfähigkeit überprüft. Hierzu werden durch den potenziellen Wanderkorridor quer zur Strömung drei parallel verlaufende Elektroden verlegt und mit dem Aufzeichnungsgerät verbunden (Bild 6). In der Hasliaare wurden Stahlseile als Elektroden verwendet. Die Fischzählanlage wurde jeweils über die gesamte Gewässerbreite auf der Sohle, ohne den Einsatz von Maschinen, eingebaut (Bild 7). Ein Resistivity Fish Counter misst stetig den elektrischen Widerstand zwischen den Elektroden. Passiert ein Fisch die Messstelle, erhöht er für einen kurzen Moment die Leitfähigkeit. Der Counter registriert die Veränderung in Form einer Sinuskurve, die anhand ihrer Amplitude ausgewertet wird. Das Gerät schätzt mithilfe von gespeicherten Referenzkurven die Grösse des Fisches.

Zur Kalibrierung der Fischzählungen wurden Versuche mit toten Fischen (Alet) gemacht. Des Weiteren wurde eine Unterwasserkamera vom 02.11. bis 10.11.16 über Nacht fest installiert und der Aufnahmebereich mit einer Lampe ausgeleuchtet. Durch die auf Filmen nachgewiesenen auf- und absteigenden Seeforellen konnten Rückschlüsse auf den methodischen Fehlerquotienten sowie auf die Längenklassen gezogen werden. Ebenso war es möglich, Verhaltensweisen zur Migration im Wanderkorridor zu dokumentieren (Meyer & Reuther 2016; Bild 8).

Um bei der Auswertung ausschliesslich Seeforellen zu berücksichtigen, waren nur die Fischzählungen von Relevanz, die auf eine Fischgrösse von über 50 cm Länge schliessen liessen (vgl. Kap. 4.5).

Die Anzahl der «Aufwärts-Zählungen» des Fish Counters in der Hasliaare oberhalb der Urbachmündung wurde letztlich auf mindestens 300 Seeforellen veranschlagt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine gewisse, aber unbestimmbare Anzahl Fische vermutlich mehrfach über die Messstelle auf- und abwanderte.

Als Schlussfolgerung kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der Laichtiere 2016 mindestens in derselben Grössenordnung wie in den Jahren 2014 (159 Stk.) und 2015 (215 Stk.) liegt (vgl. Kap. 4.1).

2016 fiel der Wanderhöhepunkt für die aufsteigenden Seeforellen mit 14 vom Resistivity Fish Counter als «Up» (Signal



Bild 7. Einbauweise der Elektroden (Bild: Matthias Meyer).

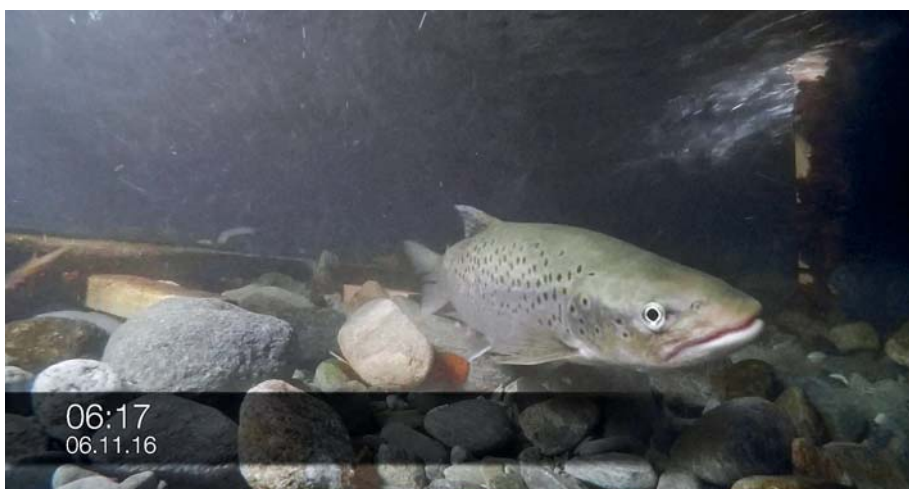


Bild 8. Screenshot aus dem Video zur Kalibrierung des Resistivity Fish Counters – Nachweis einer aufsteigenden Seeforelle vom 06.11.16 (Meyer & Reuther 2016).

für Aufsteiger) registrierten Individuen auf den 03.11.16. Bei den absteigenden Seeforellen war es der 16.11.16 mit 8 Individuen, die als «Down» (Signal für Absteiger) registriert wurden.

Durch die Kameraüberwachung des Resistivity Fish Counters konnte festgestellt werden, dass einige aufsteigende Seeforellen nur als «Event» erfasst wurden, weshalb die Zahl der aufwärts migrierenden Tiere höher ist. Ein Event ist ein Signal, das der Counter im Abgleich mit den Referenzkurven nicht als Fisch erkennt. Diese Messungenauigkeit lässt sich mit der Einbauweise im Gewässer erklären. Anstatt die Elektroden direkt zu passieren, verweilten einige Aufsteiger auf ihnen. Diese Problematik konnte noch im Projektverlauf gelöst werden.

4.3 Laichgrubenkartierungen

Die Erhebung der Laichgrubenkartierung 2015 erfolgte zwischen dem 05.11.

und dem 24.11.15 in Anlehnung an das Programm «Laichzeit!» der Schweizer Fischereiberatungsstelle (FIBER). Zusätzlich zu der FIBER-Methodik wurden weitere gewässer- und laichgrubenspezifische Daten, wie etwa die Wassertiefe der Laichgruben, mittels Unterwasseraufnahmen erhoben. Später dienten diese Aufnahmen unter anderem als Grundlage für die Auswertung von präferierten Laichgrubentiefen.

Durch eine regelmässige Begehung des Laichperimeters konnten auch Aussagen zur zeitlichen Entstehung der Laichgruben getroffen werden.

Das Untersuchungsgebiet der Laichgrubenkartierung 2015 beinhaltete die Hasliaare in der Restwasserstrecke bis zur Seeforellenweiche, das Gadmer- und Urbachwasser sowie das Wychelbächli im Talboden von Innertkirchen.

In der Laichzeit 2015 wurden insgesamt 149 Seeforellen-Laichgruben und



166 deutlich identifizierbare Seeforellen-Eiablageplätze nachgewiesen (Urbachwasser: 55, Hasliaare: 82, Gadmerwasser: 22 und Wychelbächli: 7).

Der Modus der Laichgrubentiefe (= Wassertiefe), also der am häufigsten auftretende Einzelwert liegt bei 32 cm und weist eine Einzelhäufigkeit von 20 auf. Auch die Gruppe 31 bis 33 cm, die den Modus beinhaltet, weist mit 35 Merkmalen die höchste Häufigkeit der zugrunde liegenden Datenreihe auf. Der Mittelwert der Wassertiefe aller Eiablageplätze liegt bei 30.9 cm und der Median bei 31 cm (Funk et al. 2015).

In der Laichzeit 2015 fiel der Scheitelpunkt der Hauptlaichzeit, das sogenannte «peak spawning», für den Seeforellenperimeter oberhalb der Aareschlucht auf den 11.11. und 12.11.15. Die erste Laichgrube entstand in der Nacht vom 20.10. auf den 21.10.15 im Urbachwasser. Die Wassertemperatur in den Laichgewässern des Seeforellen-Laichperimeters 2015 lag zwischen dem 05.11. bis 18.11.15 in einem konstanten Bereich bei max. 7.3°C (Urbachwasser) und min. 6.4°C (Gadmerwasser).

Ab dem 20.11.15 ereignete sich ein Kälteeinbruch, und die Wassertemperaturen sanken bis zum 24.11.15 auf 3.4°C in der Hasliaare, 3.1°C im Urbachwasser und 1.4°C im Gadmerwasser. Hingegen blieb im Wychelbächli (Quellbach) die Wassertemperatur konstant auf 7.2°C.

Die Beobachtungen zeigten, dass alle Seeforellen-Laichgruben, mit Ausnahme des Quellbachs, vor dem Kälteeinbruch geschlagen wurden. Im Wychelbächli wurden die Laichgruben jedoch erst nach den tiefen Wassertemperaturen in den anderen Fließgewässern nachgewiesen. Noch während der Laichgrubenkartierung vom 24.11.15 konnten dort laichende Seeforellen beobachtet werden (Funk et al. 2015; vgl. Bilder 9 und 10).

4.4 Laichboxenversuche

Um die natürliche Reproduktion zu überprüfen, wurden in der Hasliaare in den Winterhalbjahren 2010/11 und 2011/12 Laichboxenversuche mit Bolliger-Laichboxen durchgeführt.

Aufgrund der hohen Trübungswerte in der Hasliaare im Zuge der Räterichsbodensee-Entleerung wurde auf eine Versuchsreihe im Winterhalbjahr 2014/15 verzichtet.

Erstaunlicherweise konnten in der Hasliaare im Bereich der Urweidschlucht ab dem 02.06.15 einige 0+ Salmoniden nachgewiesen werden. Aus diesem Grund



Bild 9. Seeforellen-Laichtiere auf der Laichgrube 1 im Wychelbächli am 24.11.15 (Bild: Matthias Meyer).



Bild 10. Eine Laichgrubentiefe von ca. 18 cm konnte bei der Kartierung nach Funk et al. (2015) nachgewiesen werden (Bild: Andreas Funk).

wurden im Winter 2015/16 in der Hasliaare und ihren Zuflüssen Laichboxen mit jeweils 50 Bachforelleneiern zur Überprüfung der natürlichen Reproduktion installiert, um Erkenntnisse für die Räterichsbodensee-Entleerung 2016 hinsichtlich der Auswirkungen von Trübstoffen auf Forelleneier zu gewinnen. Hierbei wurde ein besonderer Fokus auf den Seeforellen-Laichperimeter gelegt.

In der Laichperiode 2010/11 konnten in der Hasliaare Schlupfraten von 19 %, bis 96 %, mit einem Durchschnitt der 6 eingebrachten Laichboxen von 73 %, und in 2012/13 von 20 bis 100 %, mit einem Durchschnitt der 9 eingebrachten Laichboxen von 80 %, nachgewiesen werden (Meyer 2011; Meyer 2012).

Im Winterhalbjahr 2015/16 konnten 4 der 6 Laichboxen, die in der Hasliaare

installiert waren, nicht mehr geborgen werden, da diese im Zuge der See-Entleerung durch Geschiebeakkumulation massiv überlagert oder durch Erosion verdriftet wurden.

Trotz des Trübstoffeinflusses durch die See-Entleerung 2016 konnte eine erfreulich hohe Schlupfrate bei den zwei wiedergefundenen Laichboxen nachgewiesen werden (Hasliaare Guttannen – 56 % Schlupfrate; Hasliaare Innertkirchen – 76 % Schlupfrate).

Im Gadmerwasser lag die Schlupfrate bei 94 % und im Urbach bei 100 %.

Der Schlupfzeitpunkt variierte in den einzelnen Gewässern stark.

So war Anfang März ein Grossteil der Larven in den Laichboxen der Hasliaare und im Urbach im Talboden von In-

nertkirchen geschlüpft. Im Gadmerwasser hingegen befanden sich noch alle Eier im Augenpunktstadium. Bei einer Elektrofischung konnten am 05.03.16 bereits die ersten Brütlinge, die das Interstitial verlassen hatten, im relativ warmen Wychelbächli nachgewiesen werden. (Meyer et al. 2016).

4.5 E-Befischungen

Bestandsaufnahmen durch E-Befischungen stellten eine wichtige Monitoringmethode dar, um Erkenntnisse zur Entwicklung der Fischfauna in der Hasliaare zu gewinnen.

In Hinblick auf die Seeforelle lassen sich mit dieser Methode vor allem Aussagen zu den Juvenilstadien treffen.

Im Vorfeld der Räterichsbodensee-Entleerung wurden in den Jahren 2011 und 2012 Bestandsaufnahmen der Fischfauna an 10 Gewässerabschnitten der Hasliaare und des Urbachwassers durchgeführt (Büsser 2011 & Büsser 2013). Im März 2015 wurden die Fischbestandsaufnahmen nach der See-Entleerung 2014/15 an 6 Gewässerabschnitten wiederholt (Büsser 2015). Um eine breit abgestützte Gesamtübersicht der Fischbestandsentwicklung zu erhalten, wurden zusätzlich E-Befischungsdaten der Eawag, des Fischereiinspektorats sowie der Fachstelle Ökologie der KWO hinzugezogen.

Nach der zweiten Räterichsbodensee-Entleerung wurde auf eine Fischbestandserhebung im Frühjahr 2016 verzichtet, da bereits ein breit angelegter Fischbesatz mit diversen Grössen erfolgt war.

Durch die Räterichsbodensee-Entleerung 2014/15 hat eine Verschiebung der Fischdichten von den oberen Gewässerabschnitten unterhalb des Kraftwerks Handeck in Richtung Innertkirchen stattgefunden. Beobachtungen zeigen, dass zudem viele Fische durch die lang anhaltende Verdünnungswasserzugabe bis in den Brienzensee verdriftet wurden (Limnex 2017). In dem Gewässerabschnitt der Hasliaare zwischen dem Kraftwerk Handeck und Innertkirchen hat die Dichte des Forellenbestandes abgenommen. In der Restwasserstrecke bei Innertkirchen ist die Bestandsdichte ungefähr gleich geblieben, und ab der Wasserrückgabe konnte eine bis zu 10-fache Bestandszunahme nach der See-Entleerung 2014 nachgewiesen werden (Schläppi 2015).

Um Erkenntnisse zu den Längensklassen der Seeforellenaufsteiger zu erhalten, wurden aus dem Laichfischfang 2015 alle Seeforellenaufsteiger, die in die Brutanstalt kamen, vermessen. Hierbei



Bild 11. Laichendes Seeforellenpärchen in der Hasliaare oberhalb von Innertkirchen im Herbst 2016 (Bild: Matthias Meyer).

wurden, unabhängig von der Grösse, alle laichreif gefangenen Individuen entnommen (Funk et al. 2015). Die Stichprobe entspricht in etwa 23 % der nachgewiesenen Seeforellen (vgl. Kap. 4.1).

Der Durchschnitt aller vermessenen Tiere lag bei 58 cm, der Median bei 59 cm.

Bei den Rognern war das durchschnittliche Laichtier 55.6 cm gross; der Median lag bei 56 cm. Bei den Milchnern lag die durchschnittliche Laichtiergrösse bei 65.6 cm, der Median bei 70 cm. Das grösste nachgewiesene Individuum war ein Milchner, mit einer Länge von 87 cm (Funk et al. 2015). Das grösste Laichtier der Brutanstalt 2014 war ebenfalls ein Milchner der 92 cm aufwies (Göz 2015).

Der Rogner ID «Molly» wurde 2014 und 2015 in die Brutanstalt gebracht.

Mit 70 cm Länge war die Seeforelle der grösste gemessene Rogner der 27 weiblichen Laichtiere in der Brutanstalt im Jahre 2015. Der Fisch ist innerhalb eines Jahres um 13 bis 15 cm gewachsen.

5. Fazit

Die gewässerökologischen Schutzmassnahmen im Zuge der Räterichsbodensee-Entleerungen 2014/15 und 2016 waren sehr wirkungsvoll. Es ist davon auszugehen, dass der Schaden an Flora und Fauna dank der realisierten Schutzmassnahmen der Hasliaare stark minimiert wurde bzw. zu grossen Teilen kompensiert werden konnte (Schweizer et al. 2017). Somit ist anzunehmen, dass die Hasliaare in den

kommenden Jahren ihren guten ökologischen Zustand rasch wieder erreichen wird. Hinsichtlich der Seeforelle lag im Vorfeld der See-Entleerungen eine ungenügende Datengrundlage vor. Aufgrund der umfangreichen Erhebungen aus der Laichzeit 2014, 2015 und 2016 könnte nun aufgezeigt werden, wie sich die Seeforellenpopulation der Hasliaare oberhalb der Aareschlucht entwickelt. Aufgrund der erfolgreichen Schutzmassnahmen, dem hohen Potenzial und der Widerstandsfähigkeit der Seeforellenpopulation in der Hasliaare kann davon ausgegangen werden, dass das durch die See-Entleerungen verursachte Schadensausmass am Bestand als nicht erheblich erachtet wird. Allfällige Schäden am Seeforellenbestand würden sich in den nächsten zwei bis drei Jahren z. B. durch einen deutlichen Rückgang der Anzahl aufsteigender Laichtiere zeigen.

Für die Erfassung von Seeforellenaufsteigern im Fliessgewässer stehen nur wenige Monitoringmethoden zur Verfügung, die in der Praxis erfolgreich eingesetzt werden konnten. Durch die im Seeforellenperimeter der Hasliaare zur Anwendung gekommenen Methoden könnten auch zukünftig andernorts wichtige Erkenntnisse zur Populationsgrösse sowie zum Wanderverhalten der auf- und absteigenden Seeforellen in die bzw. aus den Laichhabitaten gewonnen werden.

Je nach fischökologischer Fragestellung lässt sich mithilfe des entwickelten Leitsystems in Kombination mit einer

Reuse oder des Resistivity Fish Counters beispielsweise der Funktionsnachweis von Sohlengleiten realisieren. Mittels des Kameramonitorings können Seeforellen, ähnlich wie bei einer E-Befischung, in kleineren Fließgewässern nachgewiesen und gegebenenfalls individuell genau bestimmt werden.

Literatur

- Büsser, P. (2011). Elektroabfischungen im Sommer 2011. Bern: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Büsser, P. (2013). Elektroabfischungen im Sommer 2012. Bern: Exceltabelle im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Büsser, P. (2014). Voruntersuchungen zur Entleerung des Räterichsbodensees im Winter 2014/15 – Laichgrubenkartierung und Gewässermorphologie in der Aare im Herbst 2013. Bern: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Büsser, P. (2015). Elektroabfischungen im Frühjahr 2015. Bern: Exceltabelle im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Funk, A., Meyer, M., Gremion, J., Frei, J. (2015). Laichgrubenkartierung Hasliaare, Wychelbächli, Gadmer- und Urbachwasser im Seeforellenperimeter 2015. Innertkirchen: Bericht der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Göz, D. (2015). Kamerabasiertes Monitoring des Seeforellen-Laichaufstiegs in der Hasliaare, Schweiz 2014. Frankfurt: Bericht im Auftrag des Fischereiinspektorats des Kantons Bern.
- Göz, D. (2016). Kamerabasiertes Monitoring des Seeforellen-Laichaufstiegs in der Hasliaare, Schweiz 2015. Frankfurt: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Göz, D. (2017). Kamerabasiertes Monitoring des Seeforellen-Laichaufstiegs in der Hasliaare, Schweiz 2016. Frankfurt: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Limnex (2014). KWO Räbo-Entleerung Winter 2014/15. Umweltüberwachungskonzept und Begleitmassnahmen. Brugg: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Limnex (2015). KWO Räbo-Entleerung Winter 2016 – Umweltüberwachungskonzept und Begleitmassnahmen. Brugg: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Limnex (2017). Entleerung des Räterichsbodensees 2014/15 und 2016 – Schlussbericht. Brugg: Bericht im Auftrag der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Meyer, M. (2010). Möglichkeiten der Habitatoptimierung für die Seeforelle (*Salmo trutta lacustris*) im Einzugsgebiet des Brienzensees (Berner Oberland, Schweiz). Höxter: Diplomarbeit an der Hochschule Ostwestfalen-Lippe.
- Meyer, M. (2011). Die Reproduktion der Bachforelle (*Salmo trutta fario*) in der Hasliaare – Installation von Laichboxen im Winterhalbjahr 2010/11. Innertkirchen: Bericht der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Meyer, M. (2012). Die Reproduktion der Bachforelle (*Salmo trutta fario*) in der Hasliaare – Installation von Laichboxen im Winterhalbjahr 2011/12. Innertkirchen: Bericht der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Meyer, M., Schweizer, S., Göz, D., Funk, A., Schläppi, S., Baumann, A., Baumgartner, J., Müller, W., Flück, M. (2015). Die Seeforellenweiche – ein mobiles Leitsystem für aufsteigende Wandersalmoniden. Springer: Wasserwirtschaft (7/8): S. 37–41.
- Meyer, M., Funk, A., Gremion, J., Frei, J., Schweizer, S., Baumgartner, J., Holenstein, C. (2016). Untersuchungen zur Reproduktion der Forelle (*Salmo trutta*) in der Hasliaare – Installation von Laichboxen im Winterhalbjahr 2015/16. Innertkirchen: Bericht der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Meyer, M., Reuther, K. (2016). Resistivity Fish Counter Hasliaare – Nachweis Seeforelle. Innertkirchen: Dokumentation der Kraftwerke Oberhasli AG. (<https://vimeo.com/190058446>; Abruf 21.06.2017)
- Schläppi, S. (2015). Übersicht zu Elektro-Befischungsergebnissen an 11 Standorten der Hasliaare von 2009 – 2015. Innertkirchen: Bericht der Kraftwerke Oberhasli AG.
- Schweizer S., Meyer M., Heuberger N., Brechbühl S., Ursin M. (2010). Zahlreiche gewässerökologische Untersuchungen im Oberhasli. Wichtige Unterstützung des partizipativen Begleitprozesses von KWOplus. «Wasser Energie Luft» (4): S.289–300.
- Schweizer S., Zeh Weissmann H., Ursin M. (2012). Der Begleitgruppenprozess zu den Ausbauprojekten und zur Restwassersanierung im Oberhasli. «Wasser Energie Luft» (1): S.11–17.
- Schweizer, S., Meyer, M., Wächter, K., Tanno, D., Schläppi, S., Büsser, P., Baumann, A., Baumgartner, J., Flück, M., Müller, W., Zeh, M. (2017). Die Entleerungen des Räterichsbodensees 2014/15 und 2016 – eine gewässerökologische Bestandsaufnahme. «Wasser Energie Luft» (1): S.11–18.

Anschrift des Verfassers

Matthias Meyer, Dipl.-Ing. (FH), Fachspezialist
Gewässerökologie, Tel. +41 33 982 28 69
matthias.meyer@kwo.ch
Kraftwerke Oberhasli AG, Grimselstrasse 19
CH-3862 Innertkirchen