



© Meyer, Kraftwerke Oberhasli

## Zur Bedeutung des Abflusses auf die Wanderung der Seeforelle

Im Rahmen eines Videomonitorings wurde das individuelle Verhalten von Seeforellen (*Salmo trutta*) bei ihrem Laichauf- und -abstieg untersucht. Dazu kamen in der Hasliaare 2020/21 zwei Fischwiderstandszähler und ein vollintegriertes Kamerasystem zur Anwendung. Der Wanderkorridor wurde bei verschiedenen Abflüssen vermessen und der Einfluss abiotischer Faktoren statistisch geprüft. Mit 129 Individuen liegt die Zahl der Aufsteiger auf dem Niveau der Vorjahre.

Kristof Reuther, Matthias Meyer, Steffen Schweizer, Stefan Schmutz, Erwin Lautsch und Kurt Pinter

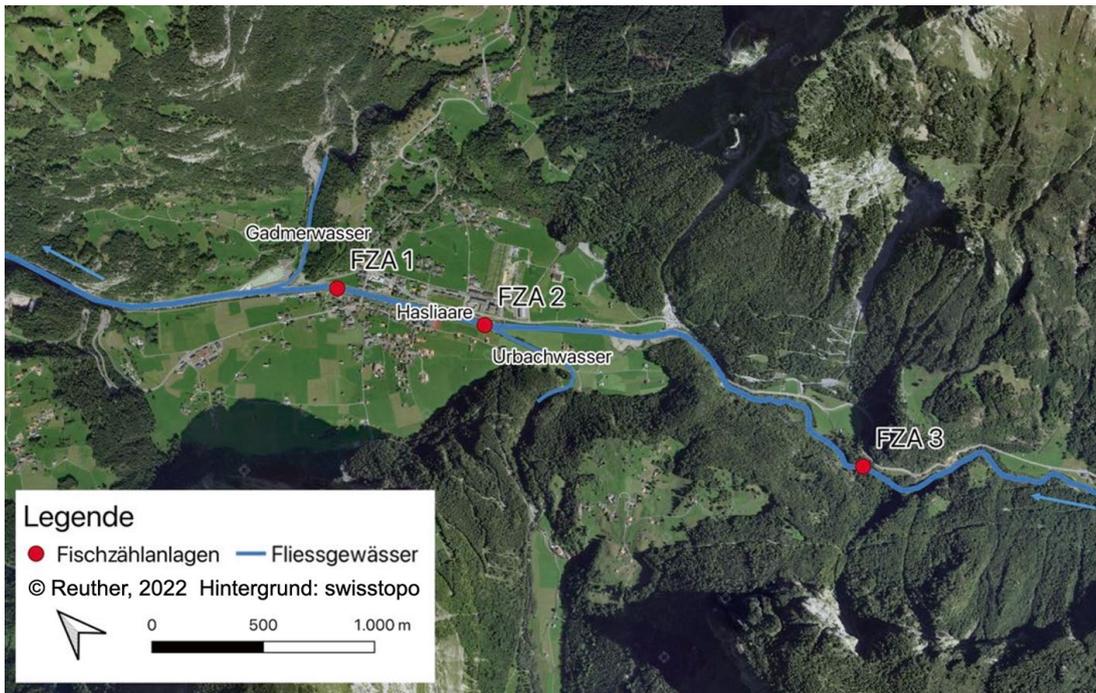
### 1 Ausgangslage

Wanderfischarten sind für einen erfolgreichen Populationserhalt auf eine Vernetzung ihrer im jeweiligen Altersstadium benötigten Habitate angewiesen. Im Falle der im Alpenraum vorkommenden Seeforelle, einem Ökotypus der Atlantischen Forelle (*Salmo trutta*), betrifft dies die großen Voralpenseen sowie ihre Zu- und Abflüsse. Beeinflusst wurde das Seen-Zuflüsse-Kontinuum über viele Jahre durch die Nutzung des Menschen für Zwecke wie Landwirtschaft, Energiegewinnung oder Hochwasserschutz [2]. Die hydromorphologischen Veränderungen haben dazu beigetragen, die natürlichen Bestände der mittlerweile stark gefährdeten Seeforelle zu dezimieren. Für ihre

Laichwanderung benötigt sie Mindestwassertiefen, die in energiewirtschaftlich genutzten Fließgewässern wie der Hasliaare durch geeignete Restwassermengen gewährleistet werden müssen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden wichtige biologische Grundlagen für die ökologischen Bedürfnisse der Seeforelle erhoben [3].

#### 1.1 Fischmigration und Abfluss

Optisch, aber besonders in ihrem Verhalten unterscheidet sich die Seeforelle von der Bachforelle. Dabei zeigt die Seeforelle ein ausgeprägtes Wanderverhalten als Smolt und adulter Fisch, welches für den Populationserhalt essenziell ist. Insgesamt ist noch sehr wenig über ihre Wanderung bekannt und auch der



© verändert nach [1]

**Bild 1:** Untersuchungsgebiet mit Fischzählanlagen

Übergang zur residenten Lebensform der Bachforelle ist fließend [4], [5]. Nach der Abwanderung als Smolt sorgen die nahrungsreichen Bedingungen im See und die räuberische Lebensweise der Seeforelle für ein rasches Wachstum. Untersuchungen in der Hasliaare zeigen, dass die Größe der Erstlaicher etwa 55 cm beträgt bei einem Alter von 3-4 Jahren [6]. Typisch für Seeforellen ist die silberne Farbgebung sowie die Ausbildung großer und spitzer Flossen.

Während die Laichwanderung generell durch die Wassertemperatur und Photoperiode sowie das Reifestadium der Eier initiiert wird, können lokal Veränderungen von Umweltparametern, wie Abfluss, Luftdruck oder Wassertemperatur, eine Wanderbewegung auslösen oder gar unterbrechen [7], [8]. Dabei findet die auf- und abwärts gerichtete Wanderung vornehmlich bei Dunkelheit statt [9], [12]. In der Literatur werden ansteigende Wasserstände häufig als Auslöser für Fischwanderung postuliert, wobei der Morphologie des Gewässers ebenfalls eine große Bedeutung zukommt [10]. In kleinen Fließgewässern kann dies dazu führen, dass die Wanderung bei niedrigen Wasserständen verhindert wird, ebenso können hohe Abflüsse eine flussaufwärtsgerichtete Wanderung verzögern [11].

### Kompakt

- Die eingesetzte Methode eignet sich für das Videomonitoring und die Individuenunterscheidung adulter Seeforellen bei deren Laichmigration.
- Der Abfluss ist während der Untersuchungsperiode für die Zielart nicht limitierend.
- Der Abfluss begünstigt den Fischabstieg von Seeforellen-Laichtieren.

Durch ihre Größe und morphologische Ausprägung gelten Seeforellen als ausgesprochen schwimmstark. Damit sind sie in der Lage, Flachwasserriffel und Felsabstürze bis zu einer gewissen Höhe zu überwinden, um die stromaufwärts gelegenen Laichhabitats zu erreichen [10]. Der kumulative Effekt dieser pessimalen Stellen kann die maximale Wanderdistanz verringern, weshalb besonders in Restwasserstrecken während der Laichwanderung für ausreichende Wassertiefen im Wanderkorridor zu sorgen ist.

Biologische Grundlagen für geeignete Mindestwassertiefen, welche eine freie Fischwanderung ermöglichen, sind bis dato noch nicht vorhanden oder basieren auf Experteneinschätzungen [4].

### 1.2 Forschungsziel

Ziel der Untersuchung ist es, die Laichmigration der Seeforelle in der Hasliaare hinsichtlich der vorherrschenden Abflüsse und Wassertiefen in der hydromorphologisch veränderten Restwasserstrecke zu analysieren. Es soll eruiert werden, ob und ab wann der Abfluss in der Hasliaare einen limitierenden Faktor für die Wanderung der Seeforelle darstellt. Des Weiteren soll überprüft werden, ob die Ergebnisse aus der vorherigen Laichsaison zum Einfluss von Umweltparameter auf den Fischauf- und -abstieg bestätigt werden [9]. Dabei kommt der schonungsvollen Methode des Videomonitorings eine besondere Bedeutung zu.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Hasliaare im Berner Oberland stellt mitsamt ihren Zuflüssen (Gadmerwasser, Urbachwasser, Wychelbächli) ein wichtiges

Reproduktionsgebiet für die dort natürlich vorkommende Seeforelle dar [4], [6]. Seit über 100 Jahren wird sie zur Stromgewinnung genutzt und die Stauseen im vergletscherten Einzugsgebiet haben einen wesentlichen Einfluss auf den Basisabfluss. Vom Brienersee flussauf unterliegt die Hasliaare auf etwa 15 km periodischen Pegelschwankungen (Schwall-Sunk) bis nach Innertkirchen, wo das turbinierte Wasser zurückgeleitet wird. In Innertkirchen münden die Zubringer Wyhelbächli, Gadmerwasser und Urbachwasser. Trotz der hydrologisch starken Einschränkungen findet die Seeforelle in der Restwasserstrecke ein geeignetes Laich- und Jungfischhabitat vor. Besonders die Urweidschlucht flussauf Innertkirchen zeigt im sehr dynamischen Zwischeneinzugsgebiet einen naturnahen Charakter mit teils hohen Abstürzen, die den Wanderperimeter je nach hydromorphologischer Begebenheit nach oben hin begrenzen. Dieser Bereich stellt das Hauptlaichgebiet der Seeforelle dar. Die Talstrecke im Abschnitt Innertkirchen ist durch starke Begradigung und Breiten zwischen 10 und 30 m gekennzeichnet. Die Fischregion kann dem Epirhithral (Obere Forellenregion) zugeordnet werden. Das Untersuchungsgebiet in der Restwasserstrecke reicht vom unteren Ende der Urweidschlucht flussab bis kurz vor die Mündung des Gadmerwassers (**Bild 1**).

### 3 Methodik

#### 3.1 Datenerhebung

Für die Erfassung von Seeforellenaufsteigern kamen zwei Fischwiderstandszähler (Aquantic Logie 2100C, Distanz:

690 m) (**Bild 2**) und ein vollintegriertes Unterwasserkamerasystem (Hydro Cam) der Firma I Am Hydro GmbH zum Einsatz. Beide Systeme ermöglichen durch Beleuchtungseinheiten eine permanente Registrierung von Fischbewegungen.

Der Fischwiderstandszähler wurde für die Zielfischart Seeforelle und die Begebenheiten in der Hasliaare über mehrere Jahre durch die Installation von Kameras in der Zählkammer sowie einem Leitsystem (Seeforellenweiche) optimiert, welche die Erfassungsgenauigkeit wandernder Seeforellen maximieren [6], [12]. Die Standorte der Fischzählanlagen (FZA) wurden so modelliert, dass der Wanderkorridor durch die Zählkammer verläuft, aufgrund der Leitströmung von Forellen gut wahrgenommen wird und deren Wanderung nicht unterbricht. Der restliche Fließquerschnitt ist durch die Installation der Seeforellenweiche für adulte Seeforellen unpassierbar gestaltet. Die Signale des Fischwiderstandszählers werden durch die Videokameras validiert, durch diese können Forellen anhand ihres Punktmusters unterschieden und über mehrere Fischzählanlagen verfolgt werden. Die Fischgröße kann anhand der bekannten Elektrodenabstände geschätzt werden.

Das vollintegrierte Unterwasserkamerasystem wurde am unteren Ende der Urweidschlucht an einem Prallhang mit großer Pooltiefe (Holding-Pool) installiert. Die Unterwasserkamera wurde für das Videomonitoring von Fischen entwickelt und der integrierte Tag- und Nachtsensor erfasst Migrationsbewegungen mithilfe einer Bewegungserkennungssoftware. Durch ein Kabel ist das unter Wasser verbaute Kameramodul mit einer Loggerbox verbunden, welche die Stromzufuhr gewährleistet und einen Fernzugriff auf die Kamera ermöglicht. Der Schlucht-



**Bild 2:** Fischwiderstandszähler (FZA 1) mit Leitsystem



**Bild 3:** Beispielhafte Analyse des Punktmusters zur Individuen Unterscheidung von Seeforellen

Standort wurde mithilfe einer temporären Leitbühne aus Steinen so modelliert, dass der gesamte Wanderkorridor durch den Kamerawinkel erfasst ist. Eine umfassende, technische Beschreibung der Systeme ist den vergangenen Seeforellen-Untersuchungen an der Hasliaare zu entnehmen [1], [9], [12].

Der Abfluss sowie die Wassertemperatur wurden mithilfe einer Pegelsonde sowie Temperaturloggern kontinuierlich in der Restwasserstrecke gemessen. Weitere abiotische Parameter, wie Luftdruck und Globalstrahlung, wurden aus Online-Quellen des Bundesamtes in 10-Minuten-Intervallen bezogen. Entlang des Wanderkorridors zwischen den beiden Fischwiderstandszählern wurde in etwa 2-m-Abständen die Wassertiefe bei unterschiedlichen Abflusssituationen gemessen. Der Wanderkorridor wurde bei jeder Messung individuell anhand der augenscheinlich tiefsten Rinne entlang des Gewässerabschnitts festgelegt. Zusätzlich

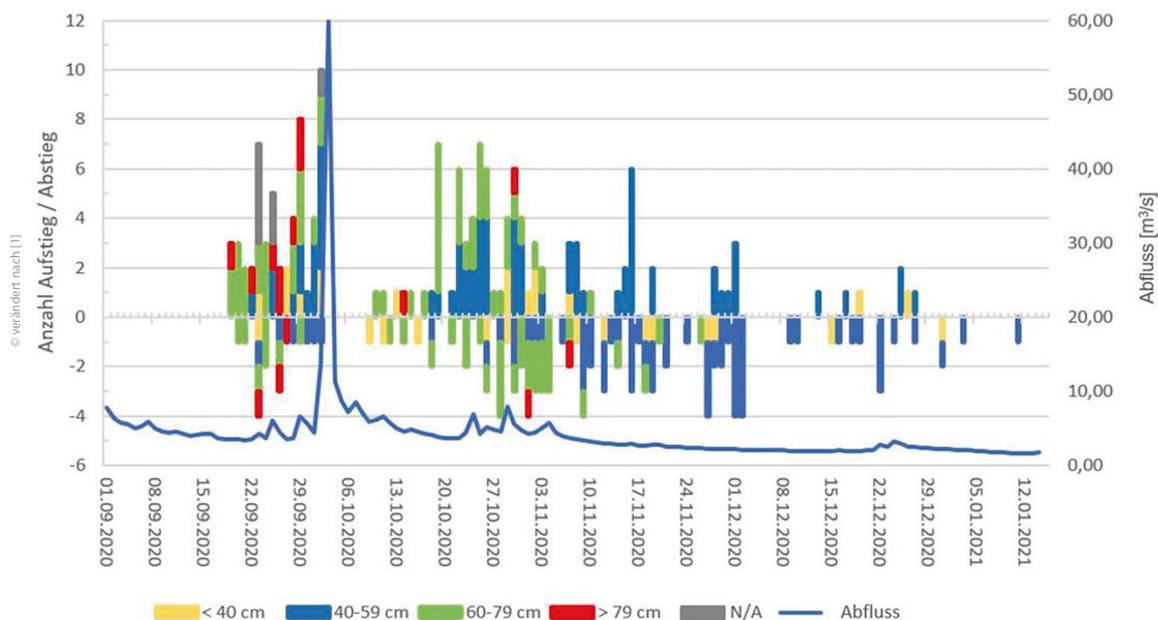
wurde ein 2-D-hydrodynamisches Modell erstellt, um die Wassertiefen bei niedrigeren als den gemessenen Abflüssen zu bestimmen.

### 3.2 Datenauswertung

Die Auslesung der drei Zählanlagen und Videosequenzen erfolgte mindestens einmal täglich. Grundlage der Seeforellenzählung war deren Unterscheidung anhand des individuellen Punktmusters [11] (**Bild 3**). Dadurch lassen sich auch Mehrfachlaicher identifizieren. Pro Standort wurde eine detaillierte Excel-Liste (Erfassungszeitpunkt, Bewegungsrichtung, Fischart, geschätzte Fischlänge, Geschlecht, ID und Name) sowie ein Individuen-Katalog geführt, für den jede erfasste Seeforelle mit den bereits katalogisierten abgeglichen wurde, bevor ihr eine neue ID zugeordnet wurde. Forellen über 40 cm wurden eindeutig Seeforellen zugeordnet,

während kleinere Forellen im Einzelfall anhand visueller Betrachtung des Flossenbilds und Färbung dem Ökotyp Bachforelle oder Seeforelle zugeordnet wurden. Am Ende des Untersuchungszeitraums wurden jeder Fischbewegung die oben genannten Umweltparameter zugeordnet.

Analog zu den Erhebungen im Jahr 2019 [9] wurde für die statistische Datenanalyse ein zufällig generierter Datensatz mit gleicher Stichprobenmenge aus den Rohdaten der Umweltparameter generiert, zu deren Zeitpunkt keine Fischpassage nachgewiesen wurde. Dieser wurde als Absenz-Datensatz behandelt, während die tatsächlichen Wanderbewegungen als Präsenz-Datensatz galten. Für jede Bewegungsrichtung (aufwärts bzw. abwärts) wurde der Einfluss der abiotischen Parameter mittels Entscheidungsbaum-Analyse in mehreren Schritten geprüft. Dieses grafische Verfahren zeigt sowohl die Haupt- als auch Interaktions-



**Bild 4:** Fischauf- und -abstiegsbewegungen an Fischwiderstandszähler 1 über den Untersuchungszeitraum mit Abflussganglinie

effekte der Umweltparameter für die Zielgrößen Absenz und Präsenz. Die Modellgüte wurde durch eine Kreuztabellenanalyse errechnet und anschließend die Signifikanz der einzelnen Interaktionspfade mittels einer lokalen Residualanalyse geprüft.

#### 4 Resultate

Die Seeforellenaufsteigerzählung erfolgte im Zeitraum zwischen 18.09.2020 und 12.01.2021. Nach einem Hochwasserereignis am 02.10.2020 musste die Seeforellenzählung für den Wiedereinbau der Zählanlagen für sechs Tage unterbrochen werden. Hohe Trübung infolge von Hochwasserereignissen reduzierte die Erfassungsgenauigkeit der Videokameras teilweise.

Anhand der insgesamt 564 Wanderbewegungen an den drei Fischzählanlagen konnten 129 Individuen dem Ökotyp Seeforelle und acht Forellen dem Ökotyp Bachforelle zugeordnet werden. Die Bachforellen wurden im Zuge der Datenanalyse nicht weiter berücksichtigt. Neben See- und Bachforelle wurde in der Schlucht auch eine Barbe nachgewiesen. Von 118 Individuen, deren Geschlecht sich eindeutig bestimmen ließ, überwogen die Rogner mit 67 % ( $n = 79$ ) im Vergleich zu 33 % Milchnern ( $n = 39$ ). In der ermittelten Fischlänge lag der Durchschnitt bei den Rognern bei 51 cm, bei den Milchnern waren es 63 cm. Der größte Aufsteiger, ein Milchner, maß etwa 87 cm. Die erste Seeforelle wurde am untersten Fischwiderstandszähler am 19.09.2020 registriert, die letzte verließ die Restwasserstrecke flussab am 11.01.2021. Ein Abgleich mit den Seeforellenindividuen aus dem Vorjahr offenbarte zwei eindeutige Mehrfachlaicher.

##### 4.1 Wanderverhalten der Seeforellen

Während zu Beginn der Laichperiode noch große Seeforellenindividuen bis 87 cm anzutreffen waren, stiegen ab Anfang November nur noch Individuen mit maximal 60 cm Länge auf (**Bild 4**). Die Milchner hielten sich dabei deutlich länger im

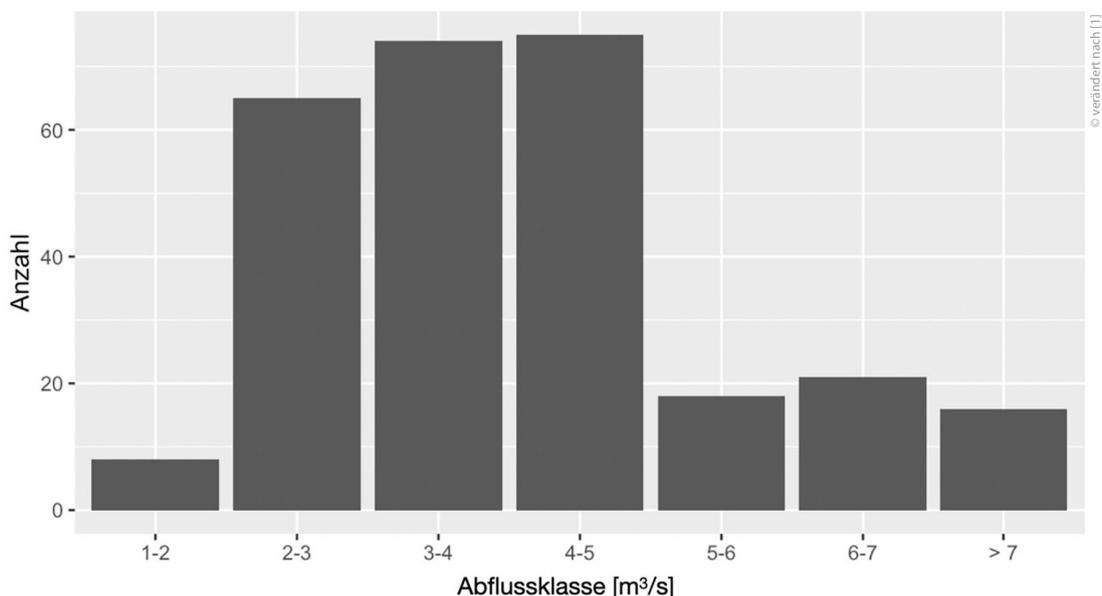
Untersuchungsgebiet auf (Median: 24 Tage,  $n = 9$ ) als die Rogner (Median: 10 Tage,  $n = 26$ ), wobei die geringe Stichprobenzahl der Milchner zu berücksichtigen ist, was auf die schnellere und somit schwieriger zu erfassende Passage flussab durch die Zählkammer zurückzuführen ist. Während der Untersuchungsperiode konnten bis Anfang Dezember nahezu täglich Wanderbewegungen von Seeforellen registriert werden.

Zwischen Oktober und November wechselte das Verhältnis zwischen Aufstiegs- und Abstiegsbewegungen und Anfang November kann, gestützt durch persönliche Beobachtungen bei den Laichplätzen, als Hauptlaichzeit (Peak-spawning) bezeichnet werden.

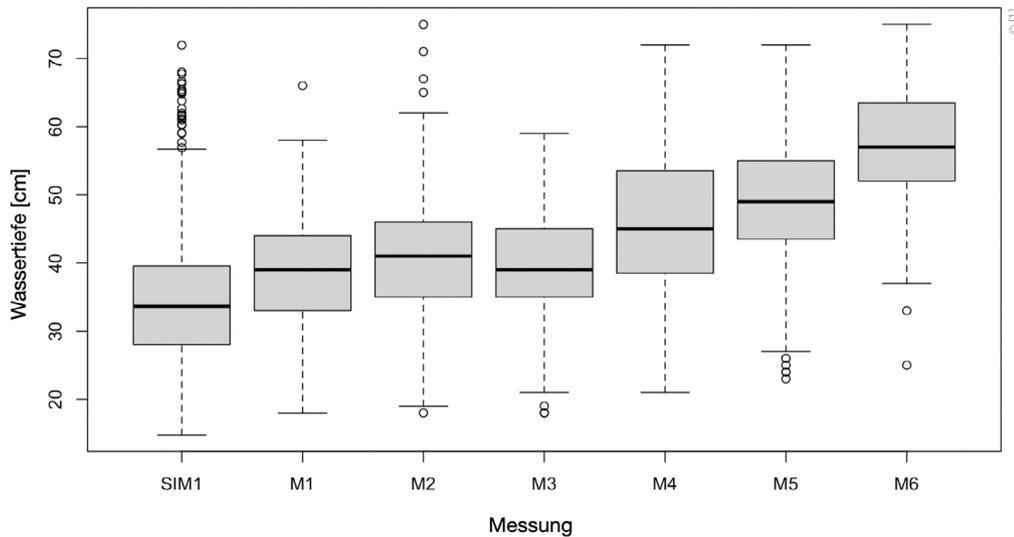
##### 4.2 Einfluss von Abfluss und Wassertiefe auf das Wanderverhalten

Der Abfluss im Untersuchungszeitraum variierte zwischen 1,7 m<sup>3</sup>/s und 60,1 m<sup>3</sup>/s. Im Mittel lag dieser bei 4,1 m<sup>3</sup>/s. Während zu Beginn des Untersuchungszeitraums noch hohe Abflüsse und regelmäßige Schwankungen nach Regenereignissen vorherrschten, kann die Situation ab Mitte November als Niedrigwasserphase beschrieben werden, in der ein Abfluss von 3 m<sup>3</sup>/s nur einmalig überschritten wurde. Die meisten Seeforellen nutzten ein Spektrum zwischen 2 m<sup>3</sup>/s und 5 m<sup>3</sup>/s für ihre Wanderung. Migrationsbewegungen wurden während aller Abflüsse in der Niedrigwasserphase nachgewiesen und eine Unterbrechung konnte nicht festgestellt werden. Es zeigte sich, dass eine Erhöhung des Abflusses durch Regenereignisse zu einem Anstieg der flussaufwärtsgerichteten Wanderungen führte, während ansteigende Wasserstände tendenziell eher die Fischabstiegsbewegungen begünstigten. Der niedrigste Abfluss während einer aufwärtsgerichteten Bewegung war 2,0 m<sup>3</sup>/s, für den Abstieg lag dieser Wert bei 1,7 m<sup>3</sup>/s.

Seeforellen nutzten ein deutliches Spektrum zwischen 2 m<sup>3</sup>/s und 5 m<sup>3</sup>/s für ihre Wanderung (**Bild 5**). Dies deckt sich mit den vorherrschenden Abflüssen während des Untersuchungszeitraums.



**Bild 5:** Verteilung der beim Fischwiderstandszähler (FZA 1) registrierten Seeforellenbewegungen auf Abflussklassen



**Bild 6:** Wassertiefen entlang des Wanderkorridors zwischen PZA 1 und 2 in der Talstrecke bei verschiedenen Abflusssituationen

Die gemessenen Wassertiefen im Wanderkorridor (SIM1 = 1,0; M1 = 2,0; M2 = 2,2; M3 = 2,4; M4 = 3,2; M5 = 3,7; M6 = 5,4 m<sup>3</sup>/s) variierten zwischen 18 cm und 75 cm (**Bild 6**). Der Median der gemessenen Abflüsse M lag zwischen 39 cm und 57 cm. Die gemessenen Wassertiefen nahmen nahezu linear mit dem Abfluss zu. Für die Wassertiefen bei einem simulierten Abfluss von 1 m<sup>3</sup>/s wird ein Minimum von 15 cm angegeben, der Median liegt bei 34 cm.

Abflusshöhe und flussaufwärts gerichtete Schwimmgeschwindigkeit zeigten keinen eindeutigen Trend. Seeforellen benötigten ein Minimum von 0,14 h/100 m, im Mittel waren es 1,46 h/100 m. Flussabwärts gerichtete Schwimmgeschwindigkeiten zeigten eine große Varianz. Besonders Rogner stiegen mit bis zu 0,02 h/100 m ab, im Mittel waren es 0,79 h/100 m (**Bild 7**).

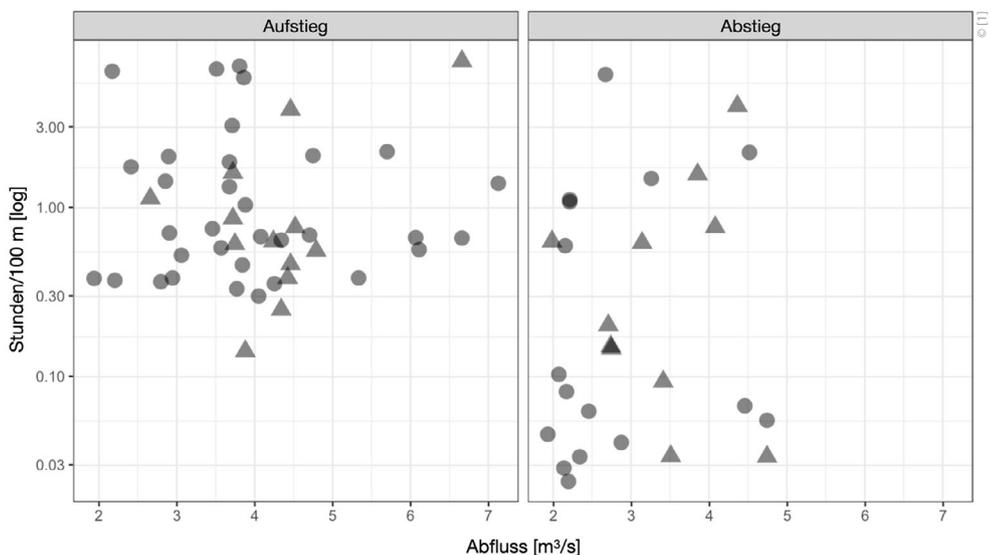
Im deutliche und von Kaskaden geprägten Abschnitt zwischen FZA 2 und dem vollintegrierten Kamerasystem (Distanz: 2,1 km) konnten die Wandergeschwindigkeiten nur für sechs aufsteigende und zwei absteigende Seeforellen bestimmt werden. Im Mittel benötigten aufsteigende Seeforellen 3,91 h/100 m und

damit mehr als doppelt so lange wie in der Talstrecke, ein Milchner benötigte dabei nur 0,86 h/100 m für diesen durch Kaskaden geprägten Gewässerabschnitt. Absteigende Seeforellen benötigten 0,12 h/100 m und 2,45 h/100 m, im Mittel waren es 1,29 h/100 m.

### 4.3 Abiotische Umweltparameter

Die Entscheidungsbaumanalyse (TREE; nicht dargestellt) ergab, dass Wassertemperatur, Globalstrahlung, Abfluss und Luftdruck einen Einfluss auf die Wanderung der Seeforellen besitzen. Für den Aufstieg typisch waren Zeitpunkte mit einer Wassertemperatur >6,7 °C in Kombination mit einer Globalstrahlung ≤225 W/m<sup>2</sup>, die auf die Wanderung in der Dunkelheit hinweist.

Beim Fischabstieg bevorzugten Seeforellen Zeitpunkte mit einem Abfluss >3,3 m<sup>3</sup>/s bei einer Globalstrahlung von ≤341 W/m<sup>2</sup> und einem Luftdruck von ≤951 hPa. Dies drückt aus, dass erhöhte Abflüsse für die Abwanderung in der Dunkelheit bevorzugt werden. Beide beschriebenen Pfade sind statistisch



Geschlecht  
 ● Rogner  
 ▲ Milchner

**Bild 7:** Schwimmgeschwindigkeiten von aufsteigenden (n = 54) und absteigenden Seeforellen (n = 27) bei unterschiedlichen Abflüssen und Geschlecht zwischen FZA 1 und 2

gesichert ( $p < 0,05$ ). Die Güte der Modelle von Auf- und Abstieg (Reproduktion der Wanderungseffekte) wird mit 85 % respektive 77 % angegeben und unterstreicht die Aussagekraft.

## 5 Diskussion

In der vorliegenden Studie konnten 129 Seeforellenindividuen anhand ihres charakteristischen Punktmusters eindeutig unterschieden werden. Durch die Messunterbrechung sowie nicht-individuenschlechte Videosequenzen ist davon auszugehen, dass die tatsächliche Zahl an Seeforellenaufsteigern etwas höher liegt und damit in der Größenordnung der vergangenen Jahre [9]. Auch die Resultate zur Populationsstruktur hinsichtlich Geschlechterverhältnis und Fischlängen decken sich mit vergangenen Erhebungen [1], [9]. Durch die Positionierung der FZA 1 am Beginn der Restwasserstrecke kann angenommen werden, dass nahezu alle Fische, die die Hasliaare als Laichgewässer nutzen, erfasst wurden.

Die Schwimmgeschwindigkeiten zeigen keinen klaren Zusammenhang mit den auftretenden Abflüssen. Dies könnte an der relativ kurzen Distanz von 690 m oder den Begebenheiten in der begradigten Restwasserstrecke liegen, in der sich kaum tiefe Ruhe-Pools und Flachwasserriffel befinden. Über die Bedingungen in der Schluchtstrecke lassen die vorhandenen Daten aufgrund der geringen Stichprobe keine gesicherten Aussagen über den Einfluss des Abflusses auf die Fischwanderung zu. Dieser war im Mittel um  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$  höher als im Vorjahr [9].

Die Resultate zeigen, dass der Abfluss in der Hasliaare nicht als Auslöser für aufwärtsgerichtete Fischbewegung gesehen werden kann; er begünstigt jedoch den Fischabstieg, wie die Analysen der TREE-Analyse bestätigen und wie auch die Untersuchung von Greter in der Hasliaare gezeigt hat [9]. Dessen Ergebnisse der statistischen Datenanalyse hinsichtlich des Einflusses abiotischer Faktoren auf die Wanderbewegungen von Seeforellen können im Rahmen dieser Arbeit bestätigt werden, die auch auf die Wanderung in der Dunkelheit hinweist.

Die Hasliaare weicht in ihrem derzeitigen hydromorphologischen Zustand stark vom natürlichen Zustand ab. Die Bedingungen der Hasliaare als Wanderkorridor und der Einfluss abiotischer Faktoren sind daher nur bedingt mit denen unbeeinflusster Gewässer vergleichbar. Die Untersuchungsergebnisse lassen jedoch den Schluss zu, dass unter den beobachteten Abflussbedingungen, in Kombination mit der veränderten Morphologie, der Wanderkorridor in Innertkirchen ausreichende Wassertiefe für eine freie Fischwanderung bietet.

Der Einfluss der Schwall-Sunk-Erscheinungen auf die Laichwanderung im unteren Gewässerabschnitt der Hasliaare war nicht im Fokus dieser Studie und stellt eine weitere mögliche Forschungsfrage dar.

Der Fischwiderstandszähler mit Leitsystem sowie das vollintegrierte Unterwasserkamerasystem haben sich für das Videomonitoring bewährt und unterscheiden sich besonders im Wartungsaufwand, der durch die Reinigung des Leitsystems beim Fischwiderstandszähler deutlich grösser ist. Gleichzeitig ist dadurch die Erfassungsgenauigkeit höher als dies bei der Unter-

wasserkamera im freien Fließgewässer der Fall ist. Durch den flexiblen Einbau sowie Größe und Fernübertragung kann diese jedoch die Wirkungskontrollen in kleinräumigen Verhältnissen wie Fischaufstiegsanlagen vereinfachen. Das Leitsystem und die Modellierung des Gerinnequerschnitts haben dafür gesorgt, dass Forellen beim Aufstieg einer gut ausgeprägten Leitströmung im Wanderkorridor folgen und durch die Zählkammer geleitet werden konnten. Optimierungen an der Zählkammer, wie die veränderte Positionierung der Unterwasserkameras und der Einsatz eines zweiten Scheinwerfers, haben das System weiter für die Zielfischart Seeforelle in der Hasliaare optimiert.

Beide Systeme haben das Potenzial als standardisierte Methoden für das Videomonitoring von Fischen. Im Falle von Salmoniden eignen sich beide Anlagen, diese anhand ihres einzigartigen Punktmusters zu differenzieren [11], bei einer gleichzeitig großen Stichprobe und einer geringen Beeinflussung ihres Wanderverhaltens.

## 6 Ausblick

Die vorliegende Studie legt biologische Grundlagen vor, die für die Planung im Rahmen der Sanierung Fischgängigkeit und Restwasser europaweit von essenzieller Bedeutung und bisher, besonders zur Seeforelle, kaum vorhanden sind. Eine weitere Auswertung der in dieser Studie erhobenen Daten sowie von weiteren bereits durchgeführten und geplanten Untersuchungen sind vorgesehen, um die Bedürfnisse der Seeforellen hinsichtlich ihres Wanderverhaltens besser verstehen zu können. Weitere Studien an Restwasserstrecken und in hydrologisch unbeeinflussten Gewässersystemen sind für eine fundierte Kenntnis über erforderliche Mindestwassermengen für die Seeforelle dringend notwendig. Um den Lebenszyklus der Seeforelle besser zu verstehen, sollte auch die Abwanderung der juvenilen Seeforellen-Smolts in den See hinsichtlich des Einflusses abiotischer Faktoren, Zeitpunkt, Abwandergröße und Genetik für die unterschiedlichen Seesysteme untersucht werden.

### Autoren

**Kristof Reuther, M. Sc.**  
**Dipl.-Ing. (FH) Matthias Meyer**  
**Dr. Steffen Schweizer**  
 Kraftwerke Oberhasli AG  
 Grimselstrasse 19  
 3862 Innertkirchen, Schweiz  
 kristof.reuther@kwo.ch  
 matthias.meyer@kwo.ch  
 steffen.schweizer@kwo.ch

**Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Kurt Pinter**  
**Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Stefan Schmutz**  
**Prof. Dr. Dr. Erwin Lautsch**  
 Universität für Bodenkultur  
 Gregor-Mendel-Straße 33/DG  
 1180 Wien, Österreich  
 kurt.pinter@boku.ac.at  
 stefan.schmutz@boku.ac.at  
 erla42@gmx.de

## Literatur

- [1] Reuther, K.: Migration of the lake-run brown trout (*Salmo trutta*) in the Hasliaare river under special consideration of discharge and water depth. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien, 2022.
- [2] Schmutz, S.; Sendzimir, J. (Hrsg.): Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable Future. In: Aquatic Ecology Series (2018), Number 8.
- [3] BAFU (Hrsg.): Erhaltung und Förderung der Wanderfische in der Schweiz - Zielarten, Einzugsgebiete, Aufgaben. Bern, 2017.
- [4] Haas, R.; Peter, A.: Lebensraum Hasliaare 2009: Eine fischökologische Zustandserhebung zwischen Innertkirchen und Brienzensee. Technical report, Eawag, Kastanienbaum, 2009.
- [5] Ruhlé, C.; Ackermann, G.; Berg, R.; Kindle, T.; Kistler, R. et al.: Die Seeforelle im Bodensee und seinen Zuflüssen: Biologie und Management. In: Österreichs Fischerei 58 (2005), S. 230-262.
- [6] Meyer, M.; Schweizer, S.; Göz, D. et al.: Die Seeforellenweiche - ein mobiles Leitsystem für aufsteigende Wandersalmoniden. In: Wasser-Wirtschaft 105 (2015), Heft 7/8, S. 37-41.
- [7] Jonsson, N.: Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. In: Nordic Journal of Freshwater Research 66 (1991), S. 20-33.
- [8] Aarestrup, K.; Nielsen, C.; Koed, A.: Net ground speed of downstream migrating radio-tagged Atlantic salmon (*Salmo salar L.*) and brown trout (*Salmo trutta L.*) smolts in relation to environmental factors. In: Hydrobiologia (2002), Nr. 483, S. 95-102.
- [9] Greter, R.; Meyer, M.; Pinter, K.; Döring, M.; Schweizer, S. et al.: Die Seeforellenlaichwanderung in der Hasliaare 2019 im Kontext abiotischer Faktoren. In: WasserWirtschaft 111 (2021), Heft 2-3, S. 33-40.
- [10] ONEMA (Hrsg.): The ICE protocol for ecological continuity. Assessing the passage of obstacles by fish. Concepts, design and application. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, 2014.
- [11] Hertig, A.: Monitoring von Seeforellenlaichtieren in kleinen Seezuflüssen. In: WasserWirtschaft 109 (2019), Heft 2-3, S. 19-22.
- [12] Meyer, M.; Schweizer, S.; Ruckli, J.; Greter, R.; Ravessoud, T.: Seeforellen-aufsteigerzählung Gadmerwasser 2018. Technical report, Kraftwerke Oberhasli AG, Innertkirchen, 2019.

Kristof Reuther, Matthias Meyer, Steffen Schweizer, Stefan Schmutz, Erwin Lautsch and Kurt Pinter

### The importance of discharge on the migration of lake trout

The study examined the barely investigated upstream and downstream migration of the lake-run brown trout (*Salmo trutta*) in the Hasliaare in Switzerland. The video monitoring setup of two resistivity fish counters and a multi-spectral underwater camera system provided a permanent registration of migratory movements. The migration corridor between the counters was analysed towards limitations of discharge and water depth. Environmental parameters were analysed with the use of regression tree analysis regarding their influence on the migration. 129 lake trout spawners were differentiated through their unique spot pattern, which allowed conclusions to be drawn about their migratory behaviour. Water depth did not show to be a limiting factor during the spawning period and provided migrating fish with suitable water depths. The results demonstrate that both video monitoring setups provide harmless and effective methods for migratory salmonids in open river stretches, especially regarding critically endangered fish populations.



Mehr erfahren durch aktuelle Berichterstattung branchenübergreifend zu den Themen **Wasser, Abfall, Energie, Umwelt und Recht**. Informieren Sie sich zehn Mal im Jahr mit den aktuellen Ausgaben zum Vorteilspreis sowie exklusiv für alle Abonnenten kostenlos das digitale und interaktive E-Magazin und das PDF-Archiv mit allen Fachbeiträgen seit 1999.



[www.wasserundabfall.de](http://www.wasserundabfall.de)