

# Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee

Markierung 2014 und Erfolgskontrollen 2014 - 2018



## Impressum

### Auftraggeber

Departement Bau, Verkehr und Umwelt  
Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei  
Entfelderstrasse 22  
5001 Aarau  
Tel.: 062 835 28 50  
Fax: 062 835 28 59  
E-Mail:[jagd\\_fischerei@ag.ch](mailto:jagd_fischerei@ag.ch)

### Auftragnehmer

Aquabios GmbH  
Les Fermes 57  
CH-1792 Cordast  
Tel: +41 (0)78 835 73 71  
[info@aquabios.ch](mailto:info@aquabios.ch)  
<http://www.aquabios.ch>

### Autoren

Pascal Vonlanthen: [p.vonlanthen@aquabios.ch](mailto:p.vonlanthen@aquabios.ch)

**Zitiervorschlag:** Aquabios 2018. Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Markierung 2014 und Erfolgskontrollen 2014 - 2018. Aquabios GmbH, Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd und Fischerei, Kanton Aargau.

**Foto Titelseite:** Markierungsanlage aufgebaut in der Fischzucht in Nonnenhorn.

### Verdankungen

Wir bedanken uns bei der Sektion Jagd und Fischerei vom Kanton Aargau für den Auftrag. Bei David Bittner, Arno Stöckli, Lukas DeVentura, Daniel Schlunke, Karin Schlunke, Thomas Kreienbühl, bedanken wir uns für die tatkräftige Unterstützung bei den Markierungen und bei der Laborarbeit. Ein besonderer Dank gebührt Martin Fischer vom Netzfischereiverein Hallwilersee und Patrick Truttmann vom Seehotel Delphin für den Fang von Felchen und die zur Verfügungstellung ihrer Zuchtanlage für die Markierungen. Ebenfalls bedanken möchten wir uns bei Heinz Weber und Richi Stadelmann für den Fang von zahlreichen Felchen, die für die Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurden. Bei Erwin Schäffer und Andreas Taverna von der EAWAG bedanken wir uns für das Aufziehen der Felchen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>EINFÜHRUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>AUFTRAG .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>METHODEN: MARKIERUNG UND WIEDERFANG .....</b>	<b>6</b>
4.1	ALLGEMEINES .....	6
4.2	VERSUCHSAUFABU & GRENZEN DER INTERPRETATION .....	6
4.3	VORGEHEN BEI DER MARKIERUNG VON FELCHENEIERN .....	6
4.4	TECHNISCHER ABLAUF MARKIERUNG .....	7
4.5	ANZAHL MARKIERTER FELCHENEIER UND MORTALITÄT .....	8
4.6	BESCHAFFUNG DER KONTROLLFISCHE .....	8
4.7	VORGEHEN ALTERSBESTIMMUNG .....	9
4.8	VORGEHEN UNTERSUCHUNG DER OTOLITHEN .....	9
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>10</b>
5.1	KONTROLLEN .....	10
5.2	ANTEIL MARKIERTER FELCHEN .....	10
<b>6</b>	<b>DISKUSSION DER RESULTATE .....</b>	<b>11</b>
6.1	ANTEIL DER BESATZFISCHE AM FELCHENAUFKOMMEN .....	11
6.2	VERÄNDERUNGEN IM LAICHVERHALTEN .....	12
<b>7</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN .....</b>	<b>12</b>

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Wegen der fehlenden natürlichen Reproduktion wurden die Felchen im Hallwilersee, nachdem die ursprüngliche Population quasi ausgestorben war, durch Besatzmassnahmen gestützt. Heute stellt sich die Frage, ob der Felchenbestand im Hallwilersee allein auf den Besatzmassnahmen der letzten Jahrzehnte beruht oder ob die natürliche Fortpflanzung bereits einen signifikanten Teil zur Felchenpopulation beiträgt.

Um dies herauszufinden wurden im Winter 2013/2014 alle für den Besatz bestimmten Felcheneier des Hallwilersees mit dem Farbstoff Alizarinrot markiert. Als Brütlinge oder Vorsommerlinge wurden die Felchen im Hallwilersee ausgesetzt. Nach dem Wiederfang und der Bestimmung des Jahrgangs wurden die beiden Otolithen aus den Felchen entnommen. Mit einem Fluoreszenzmikroskop wurde dann die Farbmarkierung gesucht.

Die Resultate zeigen, dass von den 0+-Felchen bis zu den 4+-Felchen im Durchschnitt ca. 90% der gefangenen Fische markiert waren. In ei-

nem Gewässer mit funktionierender natürlicher Reproduktion wäre ein deutlich niedriger Anteil von 0 bis 50% an markierten Fischen zu erwarten. Somit muss die natürliche Fortpflanzung der Felchen im Hallwilersee weiterhin als stark beeinträchtigt eingestuft werden.

Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie steht fest, dass das fischereiliche Ziel der Seesanie- rung, nämlich eine funktionierende natürliche Fortpflanzung der Felchen, noch nicht erfüllt ist. Die Bemühungen der Bewirtschaftung der Felchen (künstliche Aufzucht) im Hallwilersee sollten deshalb beibehalten werden. Dies zu- mindest so lange die Felchenfischerei im See erhalten bleiben soll.

Zudem sollte versucht werden, das veränderte Laichverhalten und der Rückgang des Wachstums der Felchen im Rahmen eines Forschungsprojekts zu untersuchen. Die Vermutung steht im Raum, dass eine fischereilich induzierte Evolution eine Rolle spielen könnte und nicht nur die im See herrschenden Umweltbedingungen.

## 2 EINFÜHRUNG

Viele kommerziell genutzte Fischarten werden in der Schweiz durch Besatzmassnahmen bewirtschaftet. Populationsgrössen schwanken einerseits natürlich und werden andererseits durch die Fischerei beeinflusst. Durch Besatz sollen diese schwankenden Jahrgangsstärken stabilisiert und die fehlende Reproduktion kompensiert werden. [1]. Der Erfolg dieser Massnahmen variiert stark [2–4]. Darüber hinaus werden nach und nach auch die negativen Auswirkungen erkannt, die der Besatz auf die Fitness, die genetische Vielfalt und auf die Erhaltung von lokalen Anpassungen der Populationen haben kann [5–9].

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat aufgrund dieser Erkenntnisse einen Leitfaden publiziert, der eine Aufzuchtpraxis vorschlägt, die zu einer Minimierung dieser negativen Auswirkungen führen soll [5]. Die negativen Auswirkungen der künstlichen Verpaarung und Selektion in den Zuchtbetrieben können

jedoch nur marginal eliminiert werden. Besatzmassnahmen sollten demzufolge nur angewendet werden, wenn sie ertragssteigernd sind und gleichzeitig die natürlichen Populationen nicht gefährden.

Der Hallwilersee leidet schon länger unter den Auswirkungen der Eutrophierung des letzten Jahrhunderts. In den letzten Jahren hat sich die Wasserqualität jedoch wesentlich verbessert [10]. Der volumengewichtete Zirkulationswert (Ende März) des Phosphorgehaltes ist 2013 auf 13µg/l gesunken. Er bewegt sich nun im Bereich des für den Hallwilersee festgelegten Zielbandes von 10-20 µg/l [11]. Wegen Sauerstoffmangels wird das Tiefenwasser des Sees jedoch nach wie vor belüftet und mit Sauerstoff versorgt [10, 12].

Als Indikator für die Gesundheit eines Sees wurde, unter anderem, die Wiederherstellung der natürlichen Fortpflanzung aller Fischarten

definiert, insbesondere der Felchen [13]. Bisherige Studien zeigen jedoch, dass die natürliche Entwicklung der Felcheneier auf dem Seesediment wegen akuten Sauerstoffmangel heute nach wie vor stark beeinträchtigt ist [14, 15].

Wegen der fehlenden natürlichen Reproduktion wurden die Felchen im Hallwilersee, nachdem die ursprüngliche Population quasi ausgestorben war [16], seit Jahren durch Besatzmassnahmen gestützt (Abbildung 2-1). Die heutige Felchenpopulation des Sees entspricht einer Mischung von Felchen unterschiedlichen Ursprungs. So wurden z.B. Gene von Felchen aus dem Vierwaldstättersee-, dem Zürichsee- und dem Neuenburgersee nachgewiesen [17]. Die ursprünglich einheimischen Felchen des Hallwilersees gibt es offenbar nicht mehr.

Heute stellt sich die Frage, ob der Felchenbestand im Hallwilersee allein auf den Besatzmassnahmen der letzten Jahrzehnte beruht oder ob die natürliche Fortpflanzung bereits einen signifikanten Teil zur Felchenpopulation beiträgt. Um dies herauszufinden wurden im Winter 2013/2014 alle für den Besatz bestimmten Felcheneier des Hallwilersees mit dem Farbstoff Alizarinrot markiert [18]. Insgesamt wurden 309 Liter (ca. 27 Mio) Felcheneier markiert.

Der vorliegende Schlussbericht beinhaltet die Resultate der Markierung von 2014 und den jährlich durchgeführten (0+ bis 4+) Erfolgskontrollen von 2014 bis 2018.

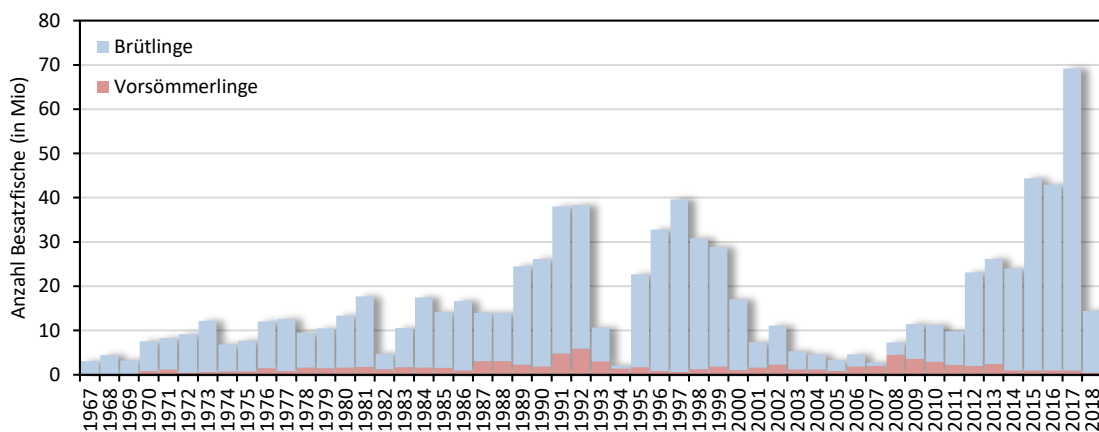


Abbildung 2-1. Jungfischeinsätze im Hallwilersee nach Altersstadium. Daten: Sektion Jagd und Fischerei des Kantons Aargau.

### 3 AUFTRAG

Im Rahmen eines wissenschaftlichen Versuches am Hallwilersee wurden die Otolithen von Felchen im Eistadium (Primordialstadium) mit Alizarinrot S (ARS) markiert. Die *Aquabios GmbH* wurde beauftragt, diese Markierung 2014 durchzuführen. Folgende Anforderungen wurden gestellt:

- Aufbau einer Markieranlage in der Fischzucht Delphin zur Markierung bzw. Haltung von Felchenlaich.
- Durchführung der Markierung von ca. 350l Felchenlaich mit ARS im Januar- März 2014 Bereitstellung aller benötigten Utensilien und Chemikalien.
- 2014 bis 2018 Untersuchung der Otolithen und Altersbestimmung von im See gefangenen Felchen.
- Erstellung eines Berichtes. Dieser beschreibt den technischen Ablauf der Markierung von 2014 und die Resultate der Markierungskontrollen.



## 4 METHODEN: MARKIERUNG UND WIEDERFANG

### 4.1 ALLGEMEINES

Der Erfolg von Besatzmassnahmen wird idealerweise mit einem Versuch nach dem BACI (Vorher-Nachher-Kontrolle-Einfluss)-Design untersucht [19, 20]. Dazu müssten standardisierte Befischungen in Jahren mit und ohne Besatz durchgeführt werden. Wäre der Versuch mit diesem Design gemacht worden, hätte der Felchenbesatz in mehreren Jahren eingestellt werden müssen. Dies ist allerdings

aus fischereilicher Sicht kaum durchsetzbar, da davon ausgegangen werden muss, dass die natürliche Fortpflanzung der Felchen im See nicht ausreicht um den Bestand zu erhalten [15]. Aus diesen Gründen wurde für die Kontrolle der Besatzeffizienz im Hallwilersee mit einem Markierungsexperiment untersucht.

### 4.2 VERSUCHSAUFABU & GRENZEN DER INTERPRETATION

Die Studie ist nach dem Prinzip «mark-and-recapture» aufgebaut (engl. für markieren und wiederfangen). Dabei werden Besatzfische mit einer bestimmten Methode markiert. Zur Kontrolle der Besatzeffizienz wird die besetzte Kohorte während mehrerer Jahre untersucht. Die gefangenen Fische werden als erstes mittels Altersbestimmung dem richtigen Jahrgang zugeordnet. Bei Fischen aus der besetzten Kohorte wird anschliessend überprüft, ob sie eine Markierung tragen. Anhand des Anteils an markierten Fischen können Rückschlüsse auf die Überlebensfähigkeit der Besatzfische und damit unter Umständen auf den Erfolg der Besatzmassnahmen, respektive vorhandene Naturverlaichung, gezogen werden.

In dieser Studie wurden die Otolithen (Hörknöchelchen) der Felchen im Eistadium mit Alizarinrot eingefärbt. Als Brütlinge oder Vorsommerlinge wurden die Felchen im Hallwilersee ausgesetzt. Nach dem Wiederfang und der Bestimmung des Jahrgangs wurden die beiden Otolithen aus den Felchen entnommen. Mit einem Fluoreszenz-Mikroskop wurde dann die Farbmarkierung gesucht.

Die Schwierigkeit besteht darin, dass durch einen Markierungsversuch nicht nachgewiesen

werden kann, ob sich die Besatzfische tatsächlich zum vorhandenen Bestand addieren [2, 20]. Das ist nur dann der Fall, wenn keine starke innerartliche Konkurrenz vorliegt. Das ist jedoch laut Einschätzung von Experten bei Fischen wenig wahrscheinlich [2]. Man geht davon aus, dass die besetzten Fische der innerartlichen Konkurrenz mit wilden Artgenossen ausgesetzt werden. Dies kann kurzfristig zu einer Erhöhung des Bestands führen, aber nicht zwingend zu einem höheren nutzbaren Bestand (kein höherer Ertrag). Inwiefern dichteabhängige Prozesse im Gange sind, kann indikativ überprüft werden, indem der Anteil markierter Fische über einen längeren Zeitraum untersucht wird. Nimmt der Anteil der Besatzfische am Fischbestand mit der Zeit ab, ist davon auszugehen, dass die innerartliche Konkurrenz stark ist. Dieser Rückschluss ist aber nur dann möglich, wenn Besatzfische eine geringere Fitness aufweisen. Kann eine solche Abnahme nachgewiesen werden oder führt das Markierungsexperiment zu einem Resultat, das keine eindeutigen Rückschlüsse zulässt, dann sollte ein Experiment mit Besatzverzicht durchgeführt werden, um den realen Besatzerfolg ermitteln zu können.

### 4.3 VORGEHEN BEI DER MARKIERUNG VON FELCHENEIERN

Die Markierung der Felchenotolithen wurde analog zum Vorgehen am Bodensee von 2003 [21] durchgeführt. Markiert wurden Felcheneier, die sich im Primordialstadium befanden,

d.h. dass sich die Otolithenknochen im Embryo bereits ausgebildet hatten. Am Hallwilersee war dies ca. 3 bis 4 Wochen vor dem

Schlupftermin der Fall. Die Entwicklung der Eier wurde vor Ort kontinuierlich überprüft.

Die Qualität der Markierung nimmt merklich ab, wenn die Eier zu früh markiert werden. Wird zu spät markiert, dann verlieren die Eihüllen an Robustheit, was zu einer erhöhten Mortalität der Embryonen führt (Schlupf während der Markierung). Das ideale Zeitfenster

für die Markierung beträgt somit eine bis zwei Wochen.

Die Markierung von Eiern ist zeitlich effizienter als die Markierung der Larven, da eine deutlich höhere Anzahl Fische in einem Durchgang markiert werden kann. Am Hallwilersee wurden pro Durchgang maximal 501 Felchenlaich markiert. Dies entspricht ca. 4.25 Millionen Felcheneiern.

#### 4.4 TECHNISCHER ABLAUF MARKIERUNG

Die Markierungen erfolgten an verschiedenen Tagen zwischen dem 17. Januar und dem 8. März 2014. Vor dem Start der Markierung wurde in einem ersten Schritt entmineralisiertes Wasser hergestellt (Leitfähigkeit ca. 8  $\mu$ s).

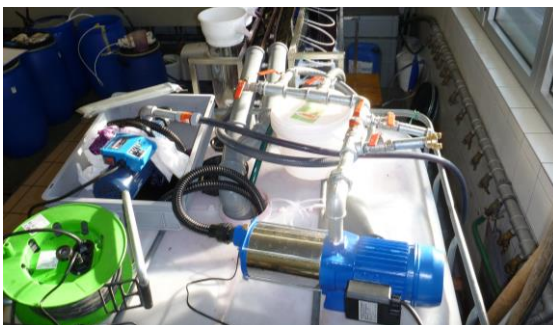
TRIS und Alizarinrot S (ARS) wurden anschließend in einer Konzentration von 1g/l dazugegeben.



**Abbildung 4-1.** Links: Entmineralisiertes Wasser in der Anlage. Rechts: Anlage nach der Zugabe von TRIS und Alizarinrot S.

Eine bis zwei Pumpen, je nach Bedarf, waren für die Zirkulation der Lösung im Einsatz. Dabei wurde die Farbstofflösung zuerst durch ein

Kühlbecken gepumpt, bevor die zu markierenden Eier durchflossen wurden. Das Kühlbecken wurde kontinuierlich mit 2.6°C kühlem Wasser durchflossen.



**Abbildung 4-2.** Links: Pumpen, die für den Wasserdurchfluss im Einsatz waren; Rechts: Der Farbstoff durchfließt das Kühlbecken in drei Kühlschlaufen, bevor die Eier mit der Lösung durchflossen werden.

Die Eier wurden in einer mobilen Zugerglasanlage mit einer maximalen Kapazität von ca. 70l für 24 Stunden der Alizarinrotlösung ausgesetzt. Von der Zugerglasanlage floss die Farblösung nach dem Durchfließen der Eier wie-

der zurück in das Rundbecken, wo der Kreislauf von neuem begann. Allfällig abgeschwemmte Eier wurden durch einen kleinen Kescher aufgefangen. In der Regel handelte es sich dabei um bereits vor dem Experiment abgestorbene Eier.



**Abbildung 4-3.** Links: Zugerglasanlage, die kontinuierlich mit Alizarinrotlösung durchflossen wird. Rechts: Allenfalls aus der Zugerglasanlage austretende Eier werden durch ein Netz aufgefangen. Die Farbstofflösung fließt zurück in das Reservebecken und wird mit Sauerstoff angereichert.

Die Temperatur, der Sauerstoffgehalt, der pH-Wert und die Leitfähigkeit im Rundbecken wurden regelmässig manuell überprüft. Die Eier wurden durch die Verantwortlichen der

einzelnen Fischzucht abgeholt und bis zum Schlüpfen weiter erbrütet. Die Markierlösung wurde nach der Markierung durch ein Fachunternehmen entsorgt.

#### 4.5 ANZAHL MARKIERTER FELCHENEIER UND MORTALITÄT

2014 wurden insgesamt 309l (ca. 26 Mio) Felcheneier markiert. Dies entspricht 100% der insgesamt im See eingesetzten Felchenlarven. Die Mortalitäten lagen in der Regel unter 1%. (sieben Markierungstage die zwischen dem 17 Januar und dem 19 Februar stattfanden).

Bei den zwei letzten Markierungen vom 27. Februar und vom 7. März kam es zu einer erhöhten Mortalität (14 bzw. 21%). Dazu kam es,

weil die Entwicklung der Eier bereits zu stark fortgeschritten war. Nach der Markierung konnte keine erhöhte Mortalität bei der Eientwicklung und beim Schlupf beobachtet werden.

Die Markierung mit Alizarinrot S ist nach Ansicht aller Zuchtbetreiber weitgehend problemlos abgelaufen.

#### 4.6 BESCHAFFUNG DER KONTROLLFISCHE

Der Fang der Felchen wurde 2014, 2015 und 2016 durch Heinz Weber und Richi Stadelmann durchgeführt. 2017 und 2018 steuerten alle Netzfischer Fische bei (Richard Stadelmann, Patrick Truttmann, Martin Fischer). Dazu wurden Bodennetze und Schwebnetze eingesetzt.

Das Alter aller Fische, für die Schuppenproben vorhanden waren, wurde bestimmt. Sämtliche Fische, die von der richtigen Kohorte (2014) abstammten, wurden untersucht. Ein Teil der Fische, die einer anderen, nicht markierten Kohorte angehörten, wurden als Negativkontrollen verwendet. Als Positivkontrollen dienten Felchen, die zwei Jahre lang an der EAWAG in einem Aquarium aufgezogen wurden



**Tabelle 4-1.** Anzahl untersuchter Felchenproben aus dem Hallwilersee.

Jahr	Alter Felchen	Anzahl untersuchte Proben	Anzahl untersuchte Otolithen	Anzahl Felchen vom See und richtige Kohorte	Anzahl positive Kontrollen	Anzahl negative Kontrollen
2014	0+	144	95	66	10	19
2015	1+	135	97	52	18	27
2016	2+	140	120	83	0	37
2017	3+	89	53	12	0	41
2018	4+	103	79	56	0	23
<b>Total</b>	<b>alle</b>	<b>611</b>	<b>444</b>	<b>269</b>	<b>28</b>	<b>147</b>

#### 4.7 VORGEHEN ALTERSBESTIMMUNG

Für die Altersbestimmung wurden oberhalb der Seitenlinie auf der Höhe der Rückenflosse, oder in der Nähe des Kopfes einige Schuppen entnommen. Die Schuppen wurden von Hand gereinigt und auf einen Objektträger fixiert

und anschliessend mit Hilfe einer 20- bis 40-fachen Vergrösserung untersucht. Anhand der Jahresringe (Abbildung 4-4) auf den Schuppen wurde das Alter der Felchen bestimmt.

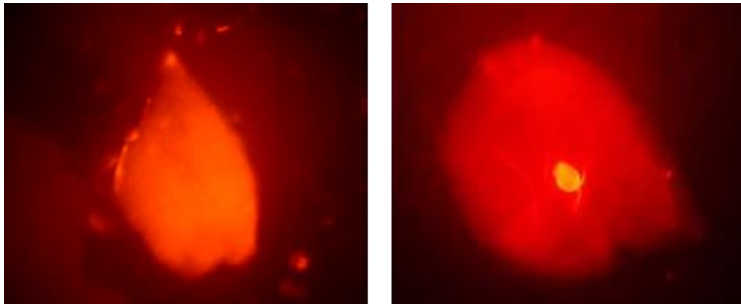


**Abbildung 4-4.** Beispiel einer Schuppe von einem 2+-Felchen aus dem Hallwilersee. Die Jahresringe sind mit roten Indikatoren markiert.

#### 4.8 VORGEHEN UNTERSUCHUNG DER OTOLITHEN

Im Labor wurden die zu untersuchenden Fische seziiert und die Otolithen extrahiert. Dabei wurde der Kopf der Fische in der Mitte in Längsrichtung geteilt. Die Otolithen (die beiden Sagittae) wurden mit einer feinen Pinzette entnommen, gereinigt und getrocknet. Danach wurden sie mit der gewölbten Form nach oben (die „Sulcus acusticus“ Rinne nach unten) auf einem Mikroskop-Objektträger fixiert.

Die Markierungen auf den Otolithen wurden schliesslich mit einem Fluoreszenzmikroskop (BP 546nm/FT 580nm/LP 590nm) bei einer bis zu 70-fachen Vergrösserung überprüft. Die Otolithen wurden geschliffen bis eine Markierung oder der Nukleus sichtbar waren. Die Markierung ist unter dem Mikroskop als ein gelblich leuchtender Kreis zu erkennen (Abbildung 4-5).



**Abbildung 4-5.** Links: Beispiel eines nicht markierten Otolithenknochens. Rechts: Beispiel eines markierten Otolithenknochens. Die fluoreszierende Fläche im Nukleus des Knochens ist klar erkennbar.

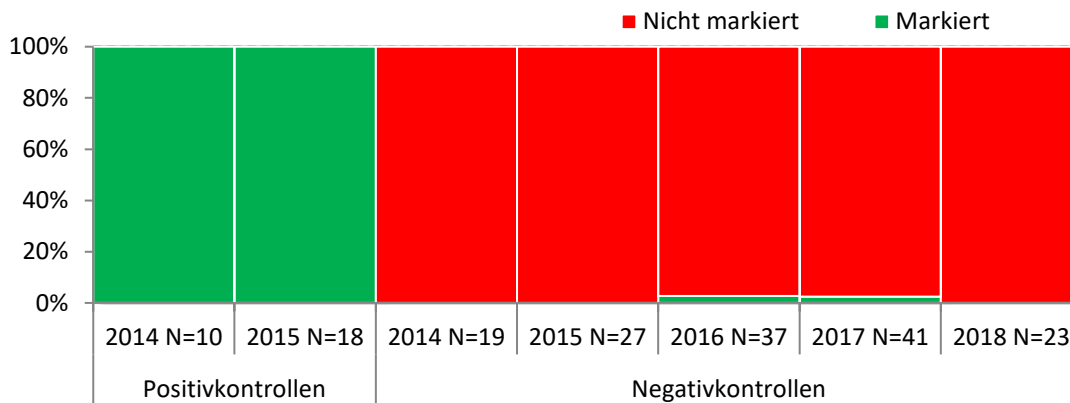
## 5 ERGEBNISSE

### 5.1 KONTROLLEN

Bei allen 0+- (Quetschpräparat der Larven) und 1+-Positivkontrollen (einzelne Otolithen mit Schleifen des Knochens) konnte die Markierung der Otolithen einwandfrei nachgewiesen werden. Alle im See gefangenen Felchen, die älter oder jünger als der markierte Jahrgang waren und somit theoretisch keine Markierung aufweisen sollten, wiesen bei der Kontrolle, mit der Ausnahme von zwei Proben,

keine Markierung auf (Abbildung 5-1). Die beiden Ausnahmen gehörten der Kohorte von 2013 an, stammen also vermutlich vom Markierungsversuch von 2013 ab [22].

Die Kontrollen bestätigen, dass die Erkennung der Markierung zweifelsfrei möglich ist und die gewonnenen Ergebnisse verlässlich sind.



**Abbildung 5-1.** Anteil der untersuchten Kontrollfische, für die eine Markierung festgestellt wurde (positiv) oder nicht (negativ). Bei Positivkontrollen wurde erwartet, dass alle Fische eine Markierung aufweisen. Bei Negativkontrollen wurde erwartet, dass alle Fische keine Markierung besitzen.

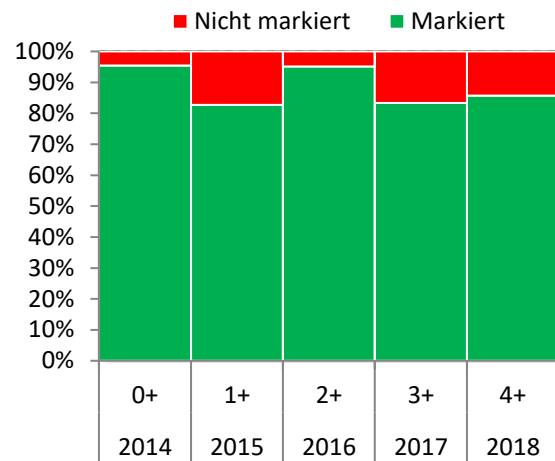
### 5.2 ANTEIL MARKIERTER FELCHEN

Die Untersuchungen von 2014 hatten ergeben, dass bei den 0+-Felchen, die im Hallwilersee gefangen wurden, 63 von 66 Individuen markiert waren (95 %, Konfidenzintervall 90.4 %-100 %, Abbildung 5-2, Tabelle 5-1). Im Bericht von 2015 wurden bei den 1+-Felchen 43 von den 55 untersuchten 1+-Felchen als markiert angegeben. Eine Nachkontrolle der

Altersbestimmung und der Markierung hat ergeben, dass bei drei Fischen das Alter falsch bestimmt wurde. Daher wurden die Werte für 2015 in diesem Bericht angepasst. Damit sind nun von 52 1+-Felchen 43 markiert (83 %, Konfidenzintervall 72.3 % - 93.1 %) und neun (17 %) nicht markiert.

2016 waren bei den 2+-Felchen 79 von den 83 untersuchten Proben markiert. Dies entspricht 95 % der gefangenen 2+-Fische. Die 95% Konfidenzintervalle bei 83 untersuchten Tieren liegen bei 90.5 %-99.8 %. Aus den Fängen der Berufsfischer von 2017 stammten nur 12 Proben aus der Kohorte von 2014. Von diesen 12 Proben waren 10 markiert (83.3 %) und zwei nicht markiert. Wegen der kleinen Stichprobe ist auch das Konfidenzintervall mit 61.3 % - 100% sehr gross.

2018 stammten 56 der untersuchten Proben aus der richtigen Kohorte. 48 waren markiert (85.7 %) und acht waren nicht markiert. Das Konfidenzintervall lag bei 86.6 % - 93.9 %. Über alle Jahre gesehen wurden 269 Proben aus der Kohorte von 2014 untersucht. 243 waren markiert (90.3%). Das Konfidenzintervall liegt bei 86.8 % - 93.9 %.



**Abbildung 5-2.** Anteil der besetzten (markierten) Felchen an der Jahrgangskohorte 2014, ausgehend von der Anzahl wiedergefangener, markierter Individuen innerhalb der Stichprobe.

**Tabelle 5-1.** Anteil der besetzten (markierten) Felchen an der Jahrgangskohorte 2014, ausgehend von der Anzahl wiedergefangener, markierter Individuen innerhalb der Stichprobe. Das Konfidenzintervall zeigt mit einer Wahrscheinlichkeit von 95%, wie gross der Anteil der besetzten Felchen am Felchenbestand im See effektiv ist.

Jahr	Alter Felchen	Anzahl untersuchte Otolithen	Anzahl positiv	Anzahl negativ	Anteil markierte Felchen	Konfidenzintervall (95%)
2014	0+	66	63	3	95.5%	90.4% - 100%
2015	1+	52	43	9	82.7%	72.3% - 93.1%
2016	2+	83	79	4	95.2%	90.5% - 99.8%
2017	3+	12	10	2	83.3%	61.3% - 100%
2018	4+	56	48	8	85.7%	76.5% - 95%
Total	alle	269	243	26	90.3%	86.8% - 93.9%

## 6 DISKUSSION DER RESULTATE

### 6.1 ANTEIL DER BESATZFISCHE AM FELCHENAUFKOMMEN

Die Resultate des Markierungsversuches der Hallwilerseefelchen mittels Alizarinrotfärbung zeigen, dass von den 0+-Felchen bis zu den 4+-Felchen im Durchschnitt ca. 90% der gefangenen Fische markiert waren. In einem Gewässer mit funktionierender natürlicher Reproduktion wäre ein deutlich niedriger Anteil von 0 bis 50% an markierten Fischen zu erwarten [2, 3]. Somit muss die natürliche Fortpflanzung

der Felchen im Hallwilersee weiterhin als stark beeinträchtigt eingestuft werden.

Aus der seit 1989 in 17 Jahren durchgeführten Studie der Eientwicklung geht hervor, dass der Anteil an Eiern, die sich im See entwickeln konnten, zugenommen hat [15]. Die Resultate dieses Markierungsversuches bestätigen, dass ein kleiner Anteil Felchen aus der natürlichen

Fortpflanzung stammt und/oder auch teilweise aus dem flussaufwärtsliegenden Baldeggersee abgewandert ist.

Der Anteil an nicht markierten Fischen hat mit der Zeit aber nicht zugenommen und liegt vier Jahre nach der Markierung bei ca. 14 % (Konfidenzintervall 5%-24%). Dass der Anteil von Jahr zu Jahr leicht schwankt kann grösstenteils

durch die statistische Ungenauigkeit (Konfidenzintervall) der Stichprobengrösse erklärt werden. Dazu kommen vereinzelt Fehler bei der Altersbestimmung. Gerade bei 3+- und 4+- Felchen hat sich gezeigt, dass die Altersbestimmung im Frühling manchmal fehlbehaftet war. Dies weil der neue Jahresring nicht immer sichtbar war. Die Erkennung der Markierung als solche war sehr zuverlässig (Vgl. Resultate von Negativ-/Positivkontrollen)

## 6.2 VERÄNDERUNGEN IM LAICHVERHALTEN

Die Fortpflanzungsgewohnheiten der Hallwilerseefelchen haben sich im Verlauf der letzten Jahrzehnte stark verändert. So schreibt Steinmann 1950, dass der Hallwilerseebalchen im Flachwasser ablaicht [23]. Fatio [23, 24] wiederum soll von Fischern erfahren haben, dass die Felchen im See im 18. Jahrhundert tiefer gelaicht hätten. Heute wiederum laichen die Felchen im See recht tief (pers. Auskunft Martin Fischer).

Interessant ist auch die Beobachtung, dass Hallwilerseebalchen um die 1900er Jahre maximal 28 cm gross wurden und zwischen 150-200 g schwer waren [23]. Erst während der starken Eutrophierungsphase wurden die Fische deutlich länger und schwerer [23].

Aus diesen historischen Zitaten ist abzuleiten, dass das heutige Laichverhalten, auch wenn bekannt ist, dass es sich nicht mehr um den ursprünglichen Hallwilerseefelchen handelt [17], nicht zwingend unnatürlich ist. Aufgrund des Sauerstoffmangels in der Tiefe sollte die Frage jedoch aufgeworfen werden, wieso sich die Felchen, die noch vor ein paar Jahrzehnten

eher in Ufernähe ablaichten, heute in der Tiefe laichen, obwohl sich die Eier dort nur schlecht entwickeln können?

Die Vermutung liegt nahe, dass dem nicht die natürliche Selektion, sondern eher eine durch die Bewirtschaftung und die Nutzung der Felchen verursachte Selektion zu Grunde liegt. Diese Hypothese zu überprüfen ist nicht einfach, liegt aber im Bereich der Möglichkeiten von wissenschaftlichen Genomanalysen [25]. Damit könnte überprüft werden, wie sich das Genom der Felchen mit der Zeit verändert hat und ob dies in Zusammenhang mit dem Wachstum und/oder dem Laichverhalten liegt.

Falls der Beweis erbracht würde, dass es sich dabei um eine durch die Fischerei verursachte "Fehlevolution" handelt, dann könnten allenfalls Massnahmen ergriffen werden, um diese künstlich induzierte Fehlentwicklung rückgängig zu machen. Eine mögliche Massnahme wäre z.B. die Förderung von schneller Wachsenden und Uferlaichenden Felchen im See.

## 7 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

Sowohl die Untersuchung der Entwicklung der Felcheneier als auch der Markierungsversuch haben gezeigt, dass die natürliche Fortpflanzung im Hallwilersee nach wie vor stark beeinträchtigt ist. Gemäss Gewässerschutzverordnung (GschV) vom 28. Oktober 1998, Anhang 11, Art 1, Bst. f gilt unter anderem auch folgendes Ziel für die nachhaltige Gesundung des Hallwilersees:

*"Die Wasserqualität muss so beschaffen sein, dass Stoffe, die durch menschliche Tätigkeit ins Gewässer gelangen, die Fortpflanzung, Entwicklung und Gesundheit empfindlicher Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen nicht beeinträchtigen"*



**Aufgrund der Ergebnisse dieser Studie steht fest, dass das fischereiliche Ziel der Seesanie- rung, nämlich eine funktionierende natürli- che Fortpflanzung der Felchen, noch nicht er- füllt ist.**

Die Resultate zeigen aber auch, dass zumin- dest ein kleiner Teil der Felchen im See aus der natürlichen Reproduktion stammen könnte. Es kann aber auch nicht ausgeschlossen wer- den, dass nicht markierte Felchen teilweise aus dem Baldeggersee in den Hallwilersee ab- gewandert sind.

**Aufgrund aller vorliegenden Ergebnisse soll- ten die Bemühungen der Bewirtschaftung der Felchen (künstliche Aufzucht) im Hallwilersee beibehalten werden. Dies zumindest so lange die Felchenfischerei im See erhalten bleiben soll.**

Weiter sollte versucht werden, mit der EA- WAG ein Projekt anzugehen, um die Verände- rung des Felchengenoms über die Zeit zu un- tersuchen. Das Forschungsinstitut verfügt über das Knowhow, um solche Analysen durchzuführen.

## 8 LITERATURVERZEICHNIS

1. Gmünder, R. 2002. *Erfolgskontrolle zum Fischbesatz in der Schweiz*. MITTEILUNGEN ZUR FISCHEREI NR. 71. Bern: Bundesamt für Umwelt.
2. Eckmann, R., M. Kugler, and C. Ruhle. 2007. Evaluating the success of large-scale whitefish stocking at Lake Constance. In *Biology and Management of Coregonid Fishes - 2005*, ed. M. Jankun, P. Brzuzan, P. Hliwa, and M. Luczynski, 60:361–368. Advances in Limnology. Stuttgart: E Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
3. Araki, H., and C. Schmid. 2010. Is hatchery stocking a help or harm? Evidence, limitations and future directions in ecological and genetic surveys. *Aquaculture* 308: 2–11.
4. Steffens, W. 1995. Yield and stocking of vendace (*Coregonus albula*) in northeast Germany. *ERGEBNISSE DER LIMNOLOGIE* 46: 405–412.
5. Largiader, C. R., and D. Hefti. 2002. *Genetische Aspekte des Schutzes und der nachhaltigen Bewirtschaftung von Fischarten*. MITTEILUNGEN ZUR FISCHEREI NR. 73. Bern: Bundesamt für Umwelt.
6. Cattaneo, F., K. Winkler, D. Grimardias, H. Persat, and S. Weiss. 2011. *Caractérisation génétique des populations d'ombre commun (Thymallus thymallus) de Suisse et France transfrontalière*.
7. Vonlanthen, P., Y. Marbach, and O. Seehausen. 2010. *Genetische Differenzierung der Äschen im Kanton St. Gallen*. Kastanienbaum: EAWAG.
8. Milot, E., C. Perrier, L. Papillon, J. J. Dodson, and L. Bernatchez. 2013. Reduced fitness of Atlantic salmon released in the wild after one generation of captive breeding. *Evolutionary Applications* 6: 472–485.
9. Frankham, R., J. D. Ballou, and D. A. Briscoe. 2002. *Introduction to Conservation Genetics*. Cambridge,: Cambridge University Press.
10. Stöckli, A. 2015. Hallwilersee - nachhaltige Gesundheit sicherstellen. *Umwelt Aargau* 69: 23–28.
11. Aquaplus. 2005. *Kieselalgen im tieferen Sedimentkern des Hallwilersees zur Präzisierung der biologischen Sanierungsziele*. Zug: Aquaplus.
12. Stöckli, A. 2010. Dem Hallwilersee geht es immer besser. *Umwelt Aargau Nr. 49*.
13. Schmid, M., and A. Stöckli. 2007. Die Überdüngung des Hallwilersees- eine Krankheitsge- schichte. *Umwelt Aargau, Sondernummer 24*.
14. Müller, R. 2007. Warum können sich die Felchen noch nicht natürlich vermehren? *Umwelt Aargau, Sondernummer 24*.
15. Müller, Rudolf. 2014. *Untersuchung über die Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2014*. Horw: LIMNOS Fischuntersuchungen.

16. Vonlanthen, P., D. Bittner, A. G. Hudson, K. A. Young, R. Müller, B. Lundsgaard-Hansen, D. Roy, C. R. Largiadèr, and O. Seehausen. 2012. Anthropogenic eutrophication drives extinction by speciation reversal in adaptive radiations. *Nature* 482: 375–362.
17. Hudson, A. G., P. Vonlanthen, and O. Seehausen. 2011. Rapid parallel adaptive radiations from a single hybridogenic ancestral population. *Proc. R. Soc. B.* 278: 58–66.
18. Aquabios. 2014. *Otolithenmarkierung der Felcheneier vom Hallwilersee - 2014 - Ergebnisse der Markierung*. Châttonaye: Aquabios GmbH.
19. Smith, E.P. BACI design. In *Encyclopedia of environmetrics*. Vol. Volume 1. Chichester, U.K.: Wiley.
20. Guillerault, N., D. Hühn, J. Cucherousset, R. Arlinghaus, and C. Skov. 2018. Stocking for Pike Population Enhancement. In *Biology and Ecology of Pike*, ed. C. Skov and P. A. Nilsson. London: CRC Press.
21. Eckmann, R. 2003. Alizarin marking of whitefish, *Coregonus lavaretus* otoliths during egg incubation. *Fisheries Management and Ecology* 10: 233–239. doi:10.1046/j.1365-2400.2003.00345.x.
22. Aquabios. 2013. *Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Vorstudie*. Châttonaye: Aquabios.
23. Steinmann, P. 1950. Monographie der schweizer Koregonen. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* 12+13.
24. Fatio, V. 1890. Histoire naturelle des poissons. In *Faune des vertébrés de la Suisse*, ed. H. Georg. Genève et Bale.
25. Frei, David. 2018. Whole-genome sequencing of an extinct whitefish species reveals extensive introgression after speciation reversal. MsC, Bern: Universität Bern.