

Untersuchung über die Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2013

im Auftrag des Kantons Aargau,
Departement Bau, Verkehr und Umwelt,
Abteilung für Umwelt
CH-5001 Aarau

Aufnahme vom 19. Februar 2013



März 2013

Impressum:

LIMNOS Fischuntersuchungen

Dr. Rudolf Müller

Bärhalten 1

6048 Horw

Tel. 041 340 32 80

Fax 041 340 42 63

rudolf.mueller@swissonline.ch

Horw, 1. März 2013

Titelbild: Probenahme an der Probenahmestelle vor der Betonmauer zwischen Birwil und Schwaderhof (Stelle 1) am Hallwilersee am 19. Februar 2013.

Einholen der Schlittendredge durch Mitarbeiter des Departemets Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau (Foto R. Müller).

1. Auftrag

Die trophische Entwicklung des Hallwilersees geht in eine Richtung, welche die natürliche Fortpflanzung der Felchen wieder als möglich erscheinen lässt. Zwar hat die Fortpflanzung der Felchen im See noch nicht wirklich eingesetzt. Die Wahrscheinlichkeit nimmt aber von Jahr zu Jahr zu, dass dies wieder möglich werden könnte. Aus diesem Grunde ist der Kanton Aargau interessiert, die Wiederherstellung der natürlichen Fortpflanzung der Felchen zu dokumentieren, auch wenn es noch einige Jahre dauern dürfte, bis diese wieder in grösserem Umfang eintreten wird. Der Zustand des Sees ist inzwischen jedenfalls wieder so gut, dass mit dieser Möglichkeit zu rechnen ist (Abb. 1). Es dürfte aber immer noch einige Jahre dauern, bis auf die intensive Besatzwirtschaft verzichtet werden kann, welche die Felchenpopulation in den vergangenen Jahren am Leben erhalten hat. Die Tatsache, dass in der Vergangenheit in einzelnen Jahren schlüpfbereite Felcheneier gefunden wurden, hat mit dem Seezustand direkt nicht viel zu tun, sondern beruht auf der zunehmenden Präsenz der Wasserpflanzen, welche ein viel günstigeres Substrat für die Entwicklung darstellen als der eigentliche Seeboden. Wasserpflanzen, darunter vor allem auch Kronleuchteralgen der Gattung *Chara*, sind in den letzten Jahren wieder etwas häufiger im See aufgetreten, dies sicher auch im Zuge der Besserung des Seezustands.

Der vorliegende Bericht ist der vierte Fortschrittsbericht über die Untersuchungen an Felcheneiern im Hallwilersee, welche seit dem März 2010 im Auftrag des Kantons Aargau vorgenommen werden. Vorgeschichte und Auftrag für diese Untersuchungen sind im Bericht vom März 2010 beschrieben. Die in diesen Fortschrittsberichten beschriebenen Arbeiten stellen einen wichtigen Aspekt der Erfolgskontrolle bei den Bemühungen zur Sanierung des Hallwilersees dar. Dieser Aspekt ist von grosser Bedeutung für eine Erfolgskontrolle der Seesanierung: Ziel dieser Sanierungsbemühungen ist unter anderem, allen natürlicherweise im See vorkommenden Arten eine ausreichende natürliche Fortpflanzung zu ermöglichen und damit deren Fortbestand zu sichern. Dies gilt in besonderem Masse für die bezüglich Eutrophierung empfindlichen Felchen, welchen im Hallwilersee heimisch sind und welche die Grundlage einer einträglichen Fischerei darstellen.

2. Probenahmen und Aufarbeitung der Proben

Die Probenahme im Hallwilersee für das Einsammeln der Felcheneier fand im Jahr 2013 am 19. Februar bei ruhigem, sonnigem und windstillem Wetter statt. Der See war zum Zeitpunkt der Probenahme eisfrei. Der für die Probenahme gewählte Termin war zwar etwas früh. Da sich die Laichzeit der Felchen aber über die Monate November bis Januar erstreckt, und da der Wintereinbruch bereits vor Ende Oktober 2012 stattfand, war zu erwarten, dass die ältesten entwickelten Eier trotzdem kurz vor dem Schlüpfen standen.

Für die Probenahme diente wieder eine modifizierte kleine Schlittendredge (Abb. 2). Die Dredge wiegt leer 12 kg, der zylindrische Sammelkorb ist 80 cm lang und hat eine Sammelbreite von 31.3 cm. Die Maschenweite des Metallgitters im Sammelkorb beträgt 1.0 mm. Der Endverschluss ist für die Entnahme des Sammelgutes demontierbar. Das mit Sediment und den darin befindlichen Objekten wie Blattfragmente, Schilffasern, Schnecken- und Muschelschalen gefüllte Gerät ist zwar recht schwer, es kann aber zu zweit von Hand eingeholt werden. Eine Krananlage auf dem Boot ist somit nicht notwendig.

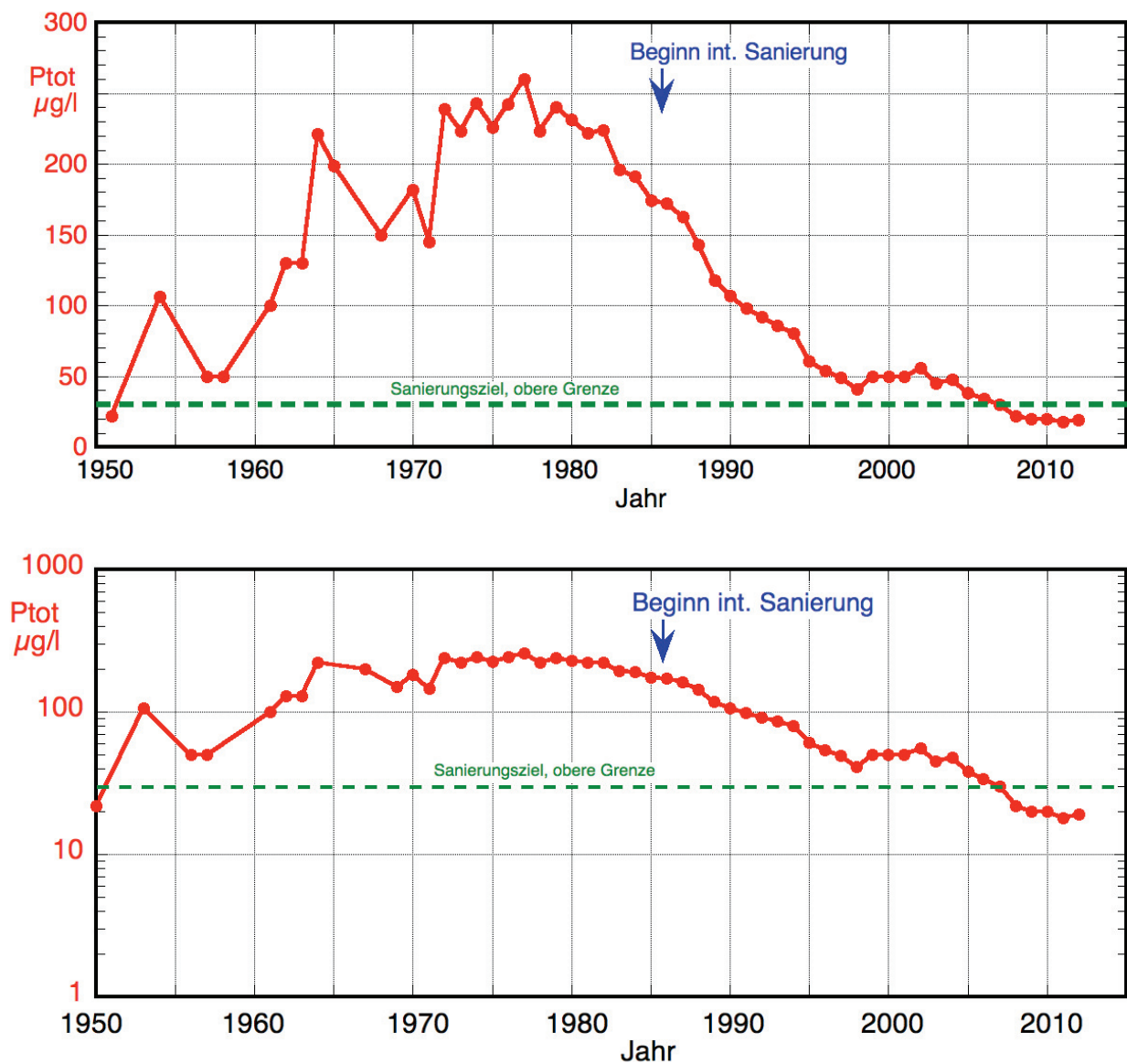


Abbildung 1: Entwicklung der Gesamtphosphor-Konzentration im Hallwilersee von 1950 bis 2012. Messwerte anlässlich der Frühjahreszirkulation. Die gestrichelte Linie bezeichnet das Sanierungsziel von 30 µg Gesamt-Phosphor pro Liter. Daten Kt. AG.

Oben: lineare Darstellung; unten: semilogarithmische Darstellung.

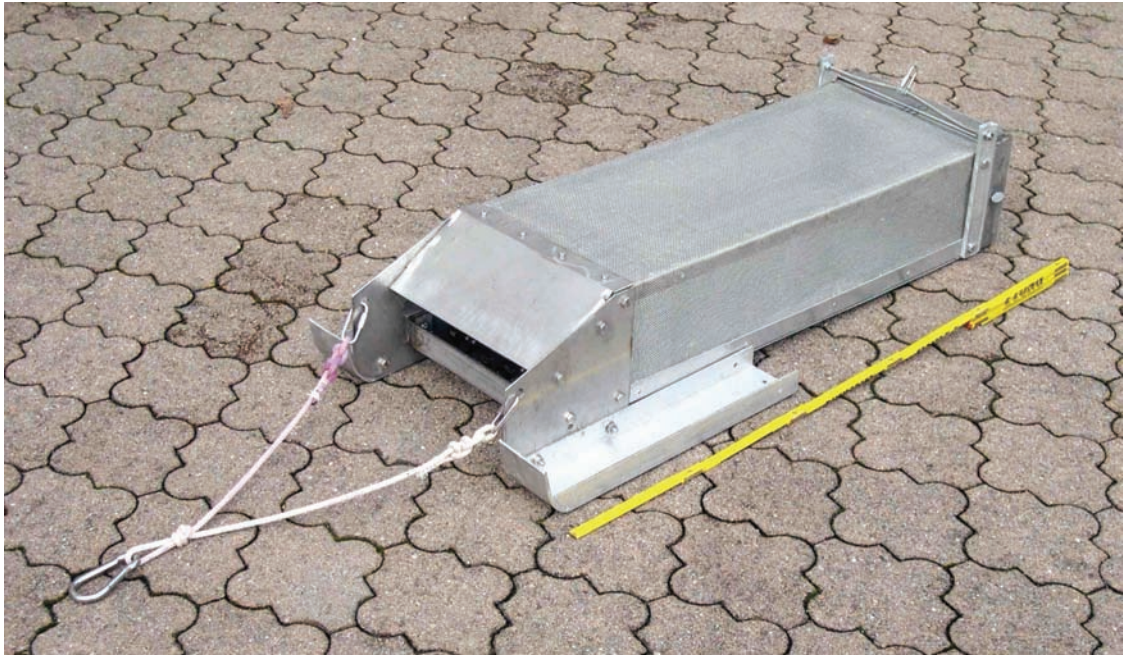


Abbildung 2: Kleine Schlittendredge zum Einsammeln von Fischeiern auf dem Seegrund.

Wie bereits in den früheren Jahren wurden wieder jene vier Stellen in unteren Seeteil beprobt, welche als Felchenlaichplatz bekannt waren (Abb. 3). Für die Probenahme wurde die Schlittendredge mit dem Motorboot mit einer Geschwindigkeit von etwa 30-50 cm/s über den Seegrund gezogen. Die Zugdistanz bei Stelle 1a und 1b betrug je ca. 100 m, bei Stelle 2 etwa 150 m, bei Stelle 3a und 3b je ca. 100 m und bei Stelle 4a und 4b je ca. 150 m. Anfangs- und Endwert der Sammelteufe wurde beim Setzen und Heben der Dredge an Markierungen des Zugseils abgelesen.

Der Kanton Aargau stellte wiederum das für die Seeprobenahme benötigte Motorboot „REDOX“ zur Verfügung. Die Mithilfe von Dr. Arno Stöckli und Fritz Zimmermann, Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Sektion Boden und Wasser des Kantons Aargau, bei der Probenahme wird bestens verdankt. Arno Stöckli stellte auch die Luftaufnahmen mit den darin eingetragenen Dredgezügen in Abb. 4 zur Verfügung.

Alle im Hallwilersee erhobenen Dredgenproben wurden wiederum innerhalb von 50 Stunden bei Lagerung um 1-4°C und unter dauernder Belüftung, aber ohne Konservierung, aufgearbeitet. Dies hat sich deshalb als wichtig erwiesen, weil die letzten Entwicklungsstadien vor dem Schlüpfbeginn nur anhand der Bewegung der Brustflossen (Entwicklungsstadium ES 12) und der Bewegung der Augen (ES 13) beurteilt werden können (vgl. Tabelle 1). Die Beurteilung des Entwicklungszustands ES der gefundenen Eier erfolgte somit am lebenden Objekt anhand der Tabelle von Luczynski & Kirklewska (1984) (Tabelle 1). Auf diese Weise kann beurteilt werden, ob und in welchem Ausmass die natürliche Fortpflanzung der Felchen im Hallwilersee heute stattfindet.

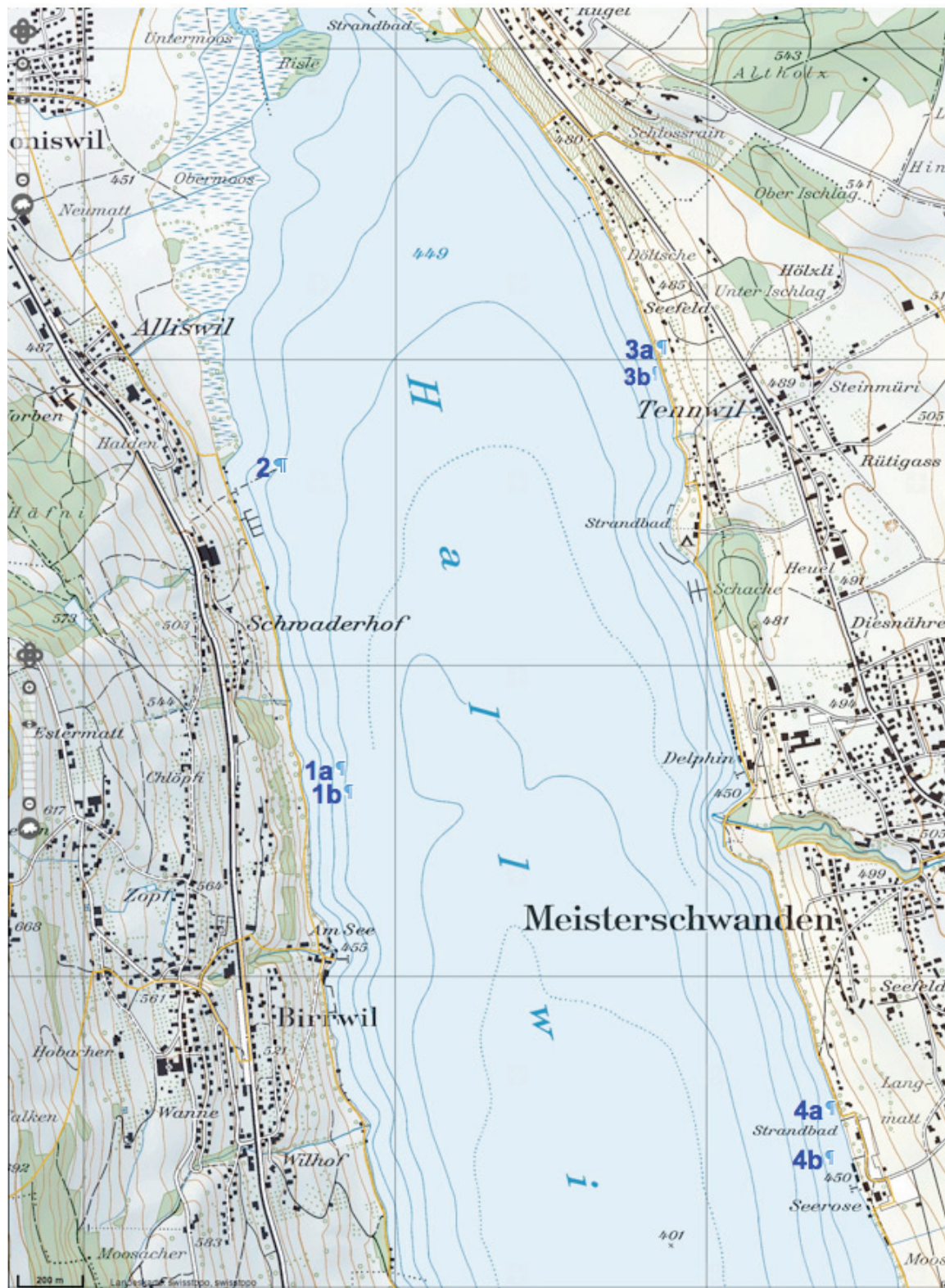


Abbildung 3: Lokalität der Dredgenzüge 1a, 1b, 2, 3a, 3b, 4a und 4b im Hallwilersee am 19. Februar 2013.



Abbildung 4a: Position der Dredgenzüge 1a und 1b (oben) und 2 (unten) im Hallwilersee am 19. Februar 2013.



Abbildung 4b: Position der Dredgenzüge 3a und 3b (oben) und 4a und 4b (unten) im Hallwilersee am 19. Februar 2013.

3. Ergebnisse und Interpretation

Der Hallwilersee war am Morgen des 19. Februar 2013 ruhig, das Wasser war recht klar. An der Oberfläche des Sees war nur eine schwache Ausbildung von Burgunderblutalgen festzustellen, welche die Probenahme nicht behinderte.

Die Resultate aller in den Jahren 1989 bis 2013 durchgeführten Untersuchungen über die natürliche Fortpflanzung der Felchen im Hallwilersee mit Hilfe von Dredgenzügen und Kicksampling im Hallwilersee sind wiederum in Tabelle 2 zusammengefasst. Bei den Dredgenzügen wird die Schlittendredge eine gewisse Strecke über den Seegrund gezogen, wobei die auf dem Seeboden liegenden Felcheneier aufgeschwemmt und im Drahtkorb der Dredge eingesammelt werden, zusammen mit dem oberflächlichen Sediment sowie den darin befindlichen Objekten. Die Methode des „Kicksampling“ in der Uferzone wurde im Bericht 2011 beschrieben. Das eingesammelte Sedimentmaterial mit den darin befindlichen Felcheneiern wird jeweils noch auf dem See in einer Kiste mit 1 mm-Siebboden ausgewaschen. Die Proben werden gekühlt und bis zu der Aufarbeitung durchgehend belüftet. Die Eier werden noch lebend, also spätestens innerhalb der zwei auf die Probenahme folgenden Tage, aussortiert und beurteilt.

Die Ergebnisse der Dredgenzüge vom 19. Februar 2013 sind in der Tabelle 3 nach Probenahmeort und Entwicklungsstadium der Eier detailliert wiedergegeben. Die an den einzelnen Probestellen erzielten Ergebnisse sind nachfolgend kurz beschrieben.

Die Stellen 1a und 1b ergaben einigermaßen vergleichbare Ergebnisse mit 2012. Sie fielen aber deutlich schlechter aus als im Frühjahr 2011. Der Grund hierfür ist nicht klar, da die Population der laichenden Felchen im Dezember 2012 eher grösser gewesen sein dürfte als im Dezember 2011 oder im Dezember 2010. Das Ergebnis an Stelle 1 war zwar dürrig, es lieferte aber einen doch relativ hohen Anteil entwickelter Eier bis zum hohen Entwicklungsstadium 12 (der Embryo bewegte die Brustflossen, zeigte aber noch keine Augenbewegungen). Es ist jedoch nicht sicher, ob sich hier – in dieser Laichperiode – einzelne Eier bis zum Schlüpfen entwickelt hätte. An Stelle 1 wurde ferner auch etwas pflanzliches Material gefunden, diesmal allerdings ohne darauf befindliche Felcheneier. Insgesamt zeigte sich die Stelle 1 auch im Winter 2012/2013 als frequentierter Laichplatz, wenn auch offenbar weniger intensiv als in anderen Jahren.

Stelle 2 ergab wiederum nur wenige Felcheneier, auch wenn das Ergebnis leicht besser ausfiel als bei den Erhebungen 2011 und 2012. Diese Lokalität wird von den Felchen offenbar nur sporadisch für die Fortpflanzung aufgesucht. Der Seegrund war schlammig und mit Schiffasern durchsetzt. Er eignet sich damit deutlich weniger gut für die Eientwicklung.

An Stelle 3a wurde kein einziges lebendes Ei gefunden, und an Stelle 3b nur deren zwei. Das Ergebnis liegt auch hier etwas hinter den Ergebnissen des Frühjahres 2012 zurück. Im Frühjahr 2011 wurde hier sogar das weitaus beste Ergebnis erzielt, mit Eiern, die kurz vor dem Schlüpfen standen und sich offenbar auf pflanzlichem Material entwickelt hatten (ES 13). Diese Stelle war jedoch im Dezember 2012 offenbar kein besonders bevorzugtes Laichareal. Stelle 3b ergab zwar auch diesmal etwas *Chara*-Fragmente, aber ohne darauf befindliche Felcheneier. Die Anzahl toter oder abgestorbener Eier war vergleichbar mit der entsprechenden Anzahl im Frühjahr 2012. Insgesamt ist das Ergebnis von Stelle 3 im Vergleich zu den zwei früheren Jahren eher enttäuschend. Das wiederholte Auftreten von *Chara* an Stelle 3 und teilweise auch an Stelle 1 ist aber als positives Zeichen der Besserung des Sees zu werten.

Stelle 4 war insgesamt ebenfalls recht enttäuschend. Sie zeigte sich etwa so ergiebig wie im Frühjahr 2011, aber schlechter als 2012. Die am weitesten entwickelten Eier befanden sich wiederum im Entwicklungsstadium ES 10. Ausserdem wurden auch hier wieder einige weisse Eier gefunden. Allerdings gelang auch an dieser Stelle kein Nachweis einer erfolgreichen natürlichen Fortpflanzung der Felchen.

Insgesamt war die Anzahl gefundener Eier etwa vergleichbar mit der Probenahme im Frühjahr 2012. Die Zahl der gefundenen Felcheneier korreliert einigermaßen mit der Grösse der Laichpopulation beziehungsweise mit der Menge gewonnenen Felchenlaichs in der Laichfischerei im Dezember 2011 und Dezember 2012. Dies ist jedoch nur als Hinweis zu werten und stellt keine gesicherte Tatsache dar.

Im Gegensatz zu den Erhebungen im Frühjahr 2011 konnten auch anlässlich der Probenahme im Frühjahr 2013 keine Eier nachgewiesen werden, welche kurz vor dem Schlüpfen standen (ES 13 oder ES 14). Der grösste Teil der Felcheneier befand sich wiederum im Stadium 8 bis 11. Das bedeutet, dass diese Eier erst ungefähr die Hälfte der Entwicklungsdauer bis zum Schlüpfen zurückgelegt hatten. Die Ergebnisse der Eiuntersuchungen im Frühjahr 2013 lassen deshalb zur Zeit keine erfolgreiche Fortpflanzung der Felchen im Hallwilersee erwarten. Der Seegrund des Hallwilersees ist immer noch zu stark mit organischen Stoffen aus früheren Jahren belastet, als dass sich an der Wasser-Sediment-Grenzfläche günstige Sauerstoffbedingungen einstellen, welche eine erfolgreiche Embryonalentwicklung ermöglichen. Die vollständige Entwicklung von Felcheneiern auf Wasserpflanzen ist im Hallwilersee heute zwar möglich, wie frühere Untersuchungen gezeigt haben. Der Beitrag dieser natürlicherweise aufgekomenen Brütlinge an den Felchenbestand dürfte aber immer noch äusserst unbedeutend sein.

Die Präsenz früher Eistadien in den Dredgenproben zeigt, dass die Felchen auch im Januar oder sogar im Februar immer noch im See laichen. Dies ist zwar positiv zu werten, weil dadurch die Wahrscheinlichkeit eines Totalverlusts eines Jahrgangs wegen ungünstigen Witterungsbedingungen reduziert wird. Allerdings kommt dieser Effekt erst dann zum Tragen, wenn die natürliche Fortpflanzung der Felchen im See wieder funktioniert.

Abschliessend muss festgestellt werden, dass die natürliche Fortpflanzung der Felchen im Hallwilersee heute weiterhin nicht funktioniert, mit ganz wenigen Ausnahmen an jenen Stellen, an denen Wasserpflanzen wie *Chara* oder *Elodea* vorkommen. An den Stellen, an welchen keine Wasserpflanzen vorhanden sind – dies ist der weitaus grösste Teil des Seegrundes –, kommen die Eier auf den schlammigen Seeboden zu liegen und sterben im Laufe der Embryonalentwicklung ab. Der Hallwilersee ist heute nur noch schwach überdüngt (mesotroph). Die auf dem Seeboden abgelagerten organischen Stoffe zehren aber immer noch viel Sauerstoff und lassen die darauf liegenden Felcheneier langsam absterben. Die Wiederherstellung der natürlichen Reproduktion der Felchen könnte aber in den nächsten Jahren trotzdem wieder langsam einsetzen. Die Aufnahmen der im See abgelegten Felcheneier in den kommenden Jahren stellen deshalb eine wichtige Beurteilungsgrundlage für den Erfolg der natürlichen Fortpflanzung der Felchen und damit generell der Sanierungsmassnahmen am Hallwilersee dar.

Tabelle 1: Entwicklungsstadien von Felchenembryonen

Entwicklungsstadien ES nach Luczynski, M. & Kirklewska, A. (1984):

«Dependence of *Coregonus albula* embryogenesis rate on the incubation temperature».

Aquaculture 42: 43-55,

ergänzt mit der relativen Entwicklungsdauer von Sempacherseefelchen in Prozent, bis 50% der Embryonen geschlüpft sind (ES 15), berechnet nach Tabelle 3.1 in der Inaugural-Dissertation von Andrea Ventling-Schwank (1992): «Reproduktion und larvale Entwicklungsphase der Felchen (*Coregonus* sp.) im eutrophen Sempachersee». Universität Zürich, 141 S.

ES	relative Entwicklungsdauer in % bei		Beschreibung der Entwicklungsstadien ES nach Luczynski & Kirklewska (1984)
	3.9°C	4.8°C	
0			Befruchtung
1	8.5	7.3	Blastoderm bedeckt 1/3 des Dotters
2	10.6	9.8	Blastoderm bedeckt 1/2 des Dotters
3	11.7	11.0	Blastoderm bedeckt 2/3 des Dotters
4	12.8	13.4	Neuralleiste (embryonic streak) sichtbar, Dotterkugel gross
5	14.9	14.6	Augenanlagen sichtbar
6	18.1	18.3	Linsenanlagen sichtbar
7	21.3	22.0	Embryo dehnt sich über 2/3 der Dotterrundung aus
8	28.7	28.0	Knospen der Brustflossen vorhanden
9	42.6	43.9	Erythroblastenzirkulation (Blutzirkulation) sichtbar
10	46.8	48.8	Sternförmige Chromatophoren entlang des ganzen Körpers, ausser am Kopf
11	52.1	53.7	Sternförmige Chromatophoren am Kopf zwischen den Gehörbläschen
12	64.9	61.0	Brustflossenbewegungen sichtbar
13	70.2	74.4	Augenbewegungen sichtbar
14	90.4	87.8	10% der Embryonen geschlüpft
15	100.0	100.0	50% der Embryonen geschlüpft (94 Tage bei 3.9°C, 82 Tage bei 4.8°C)
16			90% der Embryonen geschlüpft

Tabelle 2: Entwicklungsstadien ES der im Hallwilersee gefundenen Felcheneier

Anzahl der normal entwickelten, lebenden Felcheneier mit ihrem Entwicklungsstadium gemäss Tabelle 1. Probnahme durch Dredgenzüge DZ an verschiedenen Stellen des Sees, bzw. Kicksampling KS in der Uferzone bis ca. 1 m Tiefe. Erhebungen gegen Ende der regulären Entwicklungsperiode, d.h. kurz vor Beginn des erwarteten Schlupfzeitpunkts.

Weiss = Zahl der gefundenen weissen, d.h. abgestorbenen und missgebildeten, nicht lebensfähigen Eier bzw. Embryonen.

Datum	≤ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9	ES10	ES11	ES12	ES13	ES14	weiss	Methode
16.2.1989													273	5DZ
31.1.1990													621	4DZ
12.2.1991								3					272	4DZ
14.2.1995							1						1201	4DZ
16.2.1996							1						1101	4DZ
4.2.1997							2	6	1				712	KS/4DZ
23.2.1998													85	KS/4DZ
26.2.1999													9	KS
22.2.2000							1	2	11	1			57	7DZ
8.2.2001							1	3					88	KS/11DZ
6.3.2002			1						2		1	4	38	6DZ
25.2.2004						1			5				15	5DZ
2.3.2006								1					3	4DZ
12.3.2010	3	11				1		1	2				4	5DZ*)
28.2.2011	7	8	2	3		5	18	19	19	12	2		84	6DZ*)
2.3.2012	2		8	4		3	9	8	8	1			36	7DZ*)
19.2.2013				1		5	2	3	3	1			35	7DZ*)
Total	12	19	11	8		15	35	46	51	15	3	4	4634	

*) Dredgenzüge mit modifizierter kleiner Dredge gemäss Abbildung 2.

Tabelle 3: Auswertung Dredgenzüge Hallwilersee

Probe Nr.	Tiefe ca. m	Fläche ca. m²	Entwicklungs-Stadium ES & Anzahl normal entwickelter Embryonen														abge- storb.	weiss ★	Total "befr." "gute"	%	unbe- fruchtet°)	aufge- sprengt	ange- bohrt +	Brüt- linge	
			ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9	ES10	ES11	ES12	ES13	ES14										
1a	4-12	31							2	1	1						1	5	80.0	1		1			
1b	10-18	31												1	1			3	9	66.7	8		3		
2	2-20	47												1				3	4	25.0			2		
3a	1.5-8	47																2	6	8	0.0	1		4	
3b	3-15	47													1			5	11	18	11.1	5			
4a	3-10	47													1			2	4	4	50.0				
4b	5-22	47																2	2	2	0.0			2	
Total		297				1						5	2	3	3	1		7	28	50	30.0	15		12	

* Weisse Eier werden als befruchtete gezählt. °) oder ES 1 !