

ENTWICKLUNG DER FELCHENEIER IM HALLWILERSEE

Ergebnisse der Untersuchung vom 23. Februar 2024



Impressum

Auftraggeber

Kanton Aargau
Departement Bau, Verkehr und Umwelt
Abteilung für Umwelt
CH-5001 Aarau

Auftragnehmer

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



In Zusammenarbeit mit Polli Natur + Dienste.

Autoren

Pascal Vonlanthen: p.vonlanthen@aquabios.ch
Antoine Roulin: antoine.roulin@aquabios.ch

Zitiervorschlag: Vonlanthen, P. 2024. Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee – Ergebnisse der Untersuchung vom 23. Februar 2024. Aquabios GmbH. Auftraggeber: Kanton Aargau, Departement Bau, Verkehr und Umwelt.

Foto Titelseite: Einsatz einer Dredge im Hallwilersee im Jahr 2024 (Foto © Anita Schmid).

Verdankungen

Wir danken dem Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt des Kantons Aargau für den Auftrag. Timon Polli, Rachel Kaeser, Richard Stadelmann, Lukas De Ventura, Corinne Schmid, Oliver Selz, Marcel Kalt, Marianne Kunz, Sybille Roos und Anita Schmid danken wir für die tatkräftige Unterstützung bei den Feldarbeiten. Ernst Fischer danken wir für die Räumlichkeiten und das feine Mittagessen. Ein besonders grosser Dank gebührt Dr. Rudolf Müller und seiner Frau Idalina Müller aus Horw, die uns die Materialien für die Probenahme geschenkt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	ZUSAMMENFASSUNG	4
2	AUSGANGSLAGE.....	4
3	PROBENAHE UND AUFARBEITUNG DER PROBEN	4
3.1	GERÄTSCHAFTEN.....	4
3.2	PROBENAHMESTELLEN	5
3.3	AUFARBEITUNG PROBEN.....	6
4	RESULTATE	7
4.1	AUFNAHMEN VON 2024	7
4.2	VERÄNDERUNG VON 1989 BIS 2024.....	9
5	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	10
6	LITERATURVERZEICHNIS	11

1 Zusammenfassung

Bei der Embryonalentwicklung der Felcheneier im Hallwilersee zeigt sich eine wenig erfreuliche Entwicklung. Die Anzahl Eier, die auf dem Seegrund gefunden wurde, ist zwar recht hoch, der Anteil überlebender Eier hat in den letzten Jahren jedoch abgenommen. Zudem konnten kaum lebende Eier in einem weit entwickelten Stadium festgestellt werden (kurz vor dem Schlupf). Dies war in den Jahren 2012-2015 noch anders. Die Situation für die natürliche Fortpflanzung der Felchen scheint sich in den letzten Jahren also verschlechtert zu haben. Die Gründe dafür sind bisher nicht bekannt.

Das Sanierungsziel, dass sich Felchen im Hallwilersee wieder natürlich fortpflanzen können, ist damit noch nicht erreicht. Die Untersuchung der in den kommenden Jahren im See abgelaichten Felcheneier stellt deshalb immer noch eine wichtige Beurteilungsgrundlage für den Erfolg der natürlichen Fortpflanzung der Felchen und damit generell der Sanierungsmassnahmen am Hallwilersee dar. Genauso wie die Beurteilung des Erfolges der Besatzmassnahmen.

2 Ausgangslage

Der Hallwilersee leidet schon länger unter den Auswirkungen der Eutrophierung, die im See im letzten Jahrhundert aufgetreten ist. In den letzten Jahren hat sich die Wasserqualität jedoch wesentlich verbessert [1, 2]. Der volumengewichtete Zirkulationswert (Ende März) des Phosphorgehaltes ist 2013 auf 13 µg/l gesunken und schwankt seit mehreren Jahren im Bereich von 10 bis 20 mg P /m³. 2023 wurde allerdings erstmals wieder eine leichte Zunahme des Phosphorgehaltes festgestellt. Insgesamt bewegt sich der See in der Nähe des für den Hallwilersee festgelegten Zielbereichs der Sanierung, der bei einer Phosphorkonzentration von 10 µg/l liegt [2, 3]. Wegen Sauerstoffmangels wird das Tiefenwasser des Sees jedoch nach wie vor belüftet und mit Sauerstoff versorgt [1, 2, 4].

Als Indikator für die Gesundheit des Sees wurde unter anderem die Wiederherstellung der natürlichen Fortpflanzung aller Fischarten definiert, insbesondere der Felchen [5]. Bisherige Untersuchungen zeigen jedoch, dass die natürliche Entwicklung der Felcheneier auf dem Seesediment wegen akutem Sauerstoffmangel bis und mit 2023 nach wie vor stark beeinträchtigt ist [6–9].

Die *Aquabios GmbH* wurde damit beauftragt, die Untersuchung von Felcheneiern zu wiederholen und die Ergebnisse von 2024 mit denen von 1989 - 2023 zu vergleichen. Unterstützt wurden die Arbeiten von den lokalen Netzfischern, Praktikanten/-innen und Fischereiaufseher/-innen.

3 Probenahme und Aufarbeitung der Proben

3.1 Gerätschaften

Die Probenahme von Felcheneiern im Hallwilersee fand am 23. Februar 2024, bei ruhigem, kühlem und

sonnigem Wetter, statt. Für die Probenahme wurde eine modifizierte kleine Schlittendredge verwendet,

die auf einem früheren Modell der Eawag Kastanienbaum basiert, aber ohne Kranausleger und Motorwinde eingesetzt werden kann. Die Dredge wiegt leer 12 kg, der Sammelkorb ist 80 cm lang und hat eine Sammelbreite von 31.3 cm (Abbildung 3-1). Die Maschenweite des Metallgitters im Sammelkorb beträgt 1.0 mm. Der Endverschluss ist für die Entnahme des Sammelgutes demontierbar.

Es handelt sich um dieselbe Dredge, die von R. Müller bereits 2014 und 2015 für die Untersuchungen der Felcheneientwicklung im Hallwilersee eingesetzt wurde [7, 8].

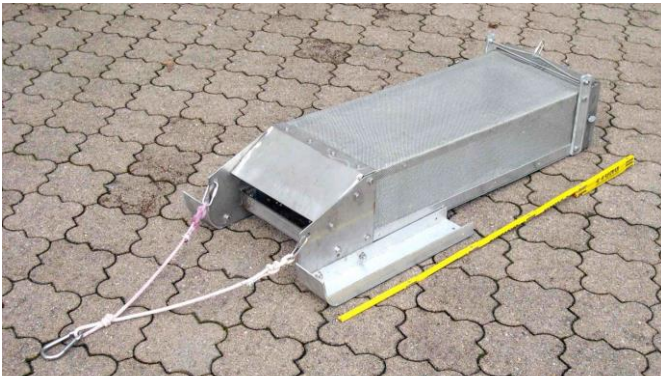


Abbildung 3-1. Kleine Schlittendredge zum Einsammeln von Fischeiern auf dem Seegrund (Foto R. Müller).

3.2 Probenahmestellen

Die Positionen der 16 Probestellen im Hallwilersee waren dieselben wie 2023 und sind in Abbildung 3-2 ersichtlich. Für die Lokalisierung der Probestellen wurde ein GPS und für die Feststellung der Sammeltiefe wurde ein Echolot verwendet. Richard Stadelmann stellte das Boot für den Untersuchungstag zur

Verfügung. Für die Entnahme der Proben wurde die Dredge vom Motorboot mit einer Geschwindigkeit von etwa 40-60 cm/s gezogen. Eine Videoaufnahme des Vorgangs zeigt, dass dieses Vorgehen gut funktioniert (Aufnahme T. Polli).

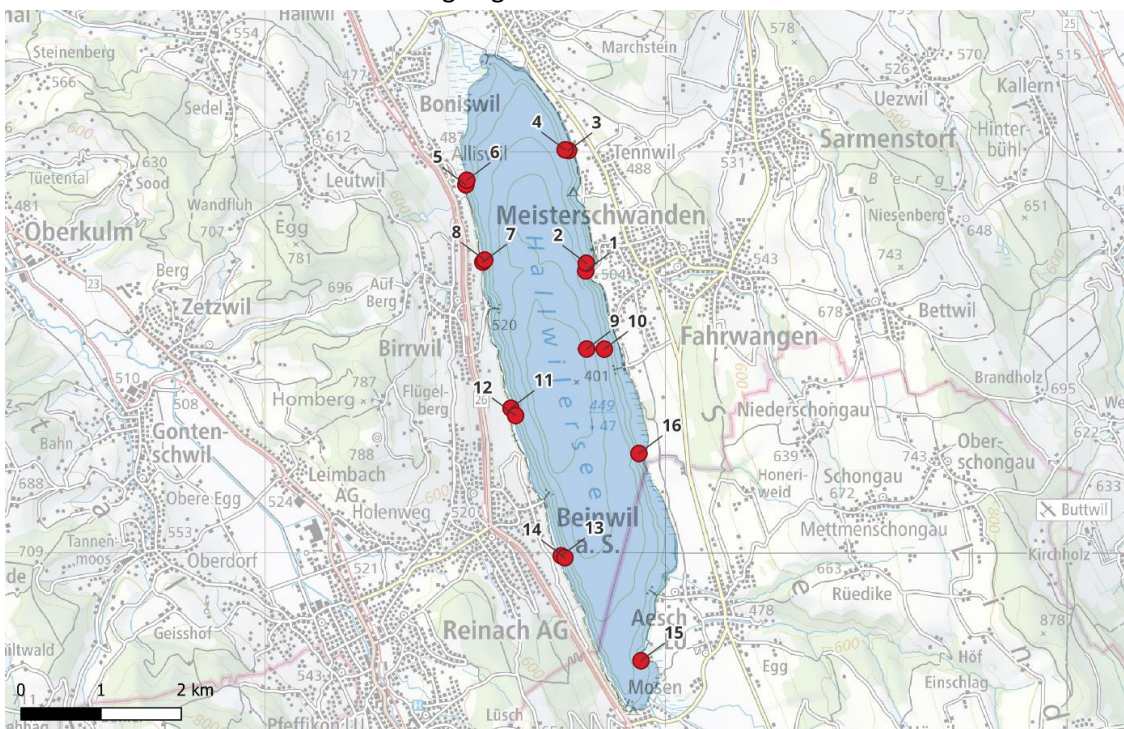


Abbildung 3-2. Standorte der Probenahmen vom 2. März 2020. Pro Stelle wurde ein Transekt von 20-50 m befahren.

3.3 Aufarbeitung Proben

Die Aufarbeitung der frischen Proben, also das Aus-sortieren der Felcheneier aus dem verbleibenden Se-diment und die Beurteilung der Eier, erfolgte am 23. Februar 2024 direkt vor Ort in der Fischzucht der Fi-

scherei Delphin. Die Beurteilung des Entwicklungszu-stands der gefundenen Eier (Tabelle 3-2) erfolgte am lebenden Objekt anhand der Einteilung aus der Lite-ratur [10].

Tabelle 3-1. Angaben zu den Probenahmen vom 23. Februar 2024. Die Standortnummern entsprechen den von R. Müller 2014 und 2015 untersuchten Stellen [7, 8]. Die Standorte waren dieselben, die bereits 2023 untersucht wurden.

Probe Nr.	Tiefe	Koordinaten Start		Koordinaten Ende		Standort Nr. [8]	Distanz [meter]	Fläche Dredge [m2]	Bemerkungen Feld
		X	Y	X	Y				
1	12m	2'659'003	1'238'516	2'659'003	1'238'516	7	40	12.4	
2	20m	2'659'009	1'238'613	2'658'987	1'238'550	7	50	15.5	
3	5m	2'658'789	1'240'017	2'658'809	1'239'977	3	40	12.4	
4	18m	2'658'746	1'240'026	2'658'769	1'239'945	3	40	12.4	
5	10m	2'657'507	1'239'590	2'657'532	1'239'638	2	40	12.4	
6	5m	2'657'519	1'239'647	2'657'537	1'239'660	2	20	6.2	
7	7m	2'657'719	1'238'626	2'657'725	1'238'593	1	20	6.2	
8	15m	2'657'742	1'238'652	2'657'742	1'238'612	1	30	9.3	Sehr viel Material, nicht quantitativ
9	2m	2'659'014	1'237'544	2'659'395	1'237'525	4	40	12.4	
10	10m	2'659'234	1'237'542	2'659'368	1'237'503	4	60	18.6	
11	2-3m	2'658'070	1'236'806	2'658'074	1'236'767	5	20	6.2	Sehr viel Material, nicht quantitativ
12	10m	2'658'128	1'236'714	2'658'132	1'236'672	5	30	9.3	
13	4m	2'658'697	1'234'967	2'658'705	1'234'934	6	20	6.2	
14	15m	2'658'743	1'234'943	2'658'755	1'234'899	6	20	6.2	
15	5m	2'659'692	1'233'659	2'659'721	1'233'669		30	9.3	
16	4-8m	2'659'666	1'236'242	2'659'671	1'236'216		50	15.5	Sehr viel Material, nicht quantitativ

Tabelle 3-2. Entwicklungsstadien von Felchenembryonen. Entwicklungsstadien [10] ergänzt mit den relativen Entwicklungszeiten von in Prozent bis 50% der Embryonen geschlüpft sind, berechnet für zwei Temperaturen [11].

Entwicklungsstadium	relative Entwicklungsdauer nach Luczynski & Kirklewska 1984		Beschreibung
	3.9°C	4.8°C	
0	0	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	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	Embryo dehnt sich über 2/3 der Dotterrundung aus
8	28.7	28	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	Brustflossenbewegungen sichtbar
13	70.2	74.4	Augenbewegungen sichtbar
14	90.4	87.8	10% der Embryonen geschlüpft
15	100	100	50% der Embryonen geschlüpft (94 Tage bei 3.9°C, 82 Tage bei 4.8°C)

4 Resultate

4.1 Aufnahmen von 2024

Die Tabelle 4-1 vermittelt einen detaillierten Überblick über die Ergebnisse der Dredgenzüge vom 23. Februar 2024. Im Vergleich zu 2023, als noch 345 Eier gefunden wurden, waren es 2024 noch 249.

Von den 249 gefundenen Eiern waren nur 16 lebend. 185 Eier wiesen Verpilzungen auf oder waren weiss, 37 Eier waren leer (Loch in der Eihülle) und 11 waren unbefruchtet (Eihülle ganz, aber keine Entwicklung eines Embryos).

Wie schon 2023 ist auch 2024 auffallend, dass fast nur lebendige Eier der Entwicklungsstadien 1 bis 7 beobachtet wurden (mit einer Ausnahme). Dies, obwohl die Felcheneier, die in den Zuchten erbrütet werden, bereits teilweise am Schlüpfen waren. 2023

wurde vermutet, dass die Eier in den Zuchten weiterentwickelt waren als diejenigen im See [9]. Deshalb wurden die Aufnahmen 2024 fast einen Monat später durchgeführt als 2023. Trotzdem lassen sich auch 2024 kaum entwickelte Eier mit einem Entwicklungsstadium > 6 nachweisen. In den Untersuchungen von 2013 bis 2015 wurden mehrheitlich lebendige Felchenembryos mit einem Entwicklungsstadium >7 beobachtet. Auch im Zugersee wurden hohe Entwicklungsstadien nachgewiesen [12].

Es ist daher davon auszugehen, dass sich derzeit die Felcheneier im Hallwilersee anfangs entwickeln, anschliessend aber grösstenteils absterben, bevor die Fischlarven schlüpfen können.

Tabelle 4-1. Anzahl lebendige Eier nach Entwicklungsstadium und tote Eier, die im Hallwilersee 2023 gefunden wurden.

Probe Nr.	Datum	Tiefe	Entwicklungsstadium / Anzahl normal entwickelte Embryonen													Abgestorbene			Total	Total	Anteil	Total				
			ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8	ES9	ES10	ES11	ES12	ES13	Brütling	Weiss/verpilzt	Leer	unbefr.	gefunden	lebendig	lebendig	[pro 1000 m ²]			
1	2024	12m														2				2	0	0%	161			
2	2024	20m			2											36		1		38	2	5%	2'452			
3	2024	5m																		0	0	-	0			
4	2024	18m			1		2	3								6			6	12	6	50%	968			
5	2024	10m														5	1	1		6	0	0%	484			
6	2024	5m			1											22	5			28	1	4%	4'516			
7	2024	7m			1											25	3			29	1	3%	4'677			
8	2024	15m			1											15	5			21	1	5%	2'258			
9	2024	2m														14	2			16	0	0%	1'290			
10	2024	10m														3	1			4	0	0%	215			
11	2024	2-3m				1										15	6			22	1	5%	3'548			
12	2024	10m														1	3	1		4	0	0%	430			
13	2024	4m														7	1			8	0	0%	1'290			
14	2024	15m				1										11	3	1		15	1	7%	2'419			
15	2024	5m			2									1		17	5	1		26	3	12%	2'796			
16	2024	4-8m														6	2			8	0	0%	516			
Total					0	0	8	2	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	185	37	11	239	16	7%	1'402

Die geografische Verteilung der Anzahl gefangener Eier zeigt, dass die Eidichte am Westufer etwas höher ist als am Ostufer des Sees (Abbildung 4-1).

Die höchste Eidichte wurde in der Probe 7 festgestellt, die bei Birrwil in einer Tiefe von 7 m entnommen wurde (4'677 Eier/1'000 m²). Die niedrigste Eidichte wurde in der Probe 3 festgestellt, die bei Tennwil in einer Tiefe von 5 m entnommen wurde (0 Eier/1'000 m²).

2023 nahm die Eidichte mit zunehmender Tiefe der Probenahmestelle ab [9]. 2024 kann dies nicht beobachtet werden: es scheint keinen Zusammenhang zwischen der Eimenge und der Probenahmetiefe zu bestehen (Abbildung 4-3).

Der Anteil überlebensfähiger Eier variiert je nach Probenahmestelle (Abbildung 4-2). Nur an zwei Standorten wurden relativ hohe Überlebensraten

der Eier festgestellt. Vielerorts wurden keine lebensfähigen Eier gefunden. Der grösste Anteil lebensfähiger Eier wurde bei Tennwil beobachtet (Probe 4, 18m Tiefe, Anteil entwickelte Embryonen = 50%). In-

teressanterweise wird 2024 ein leicht positiver Zusammenhang zwischen der Tiefe der Probe und dem Anteil überlebender Eier festgestellt, dies im Gegensatz zu 2023, als diesbezüglich kein Trend erkennbar war (Abbildung 4-3).

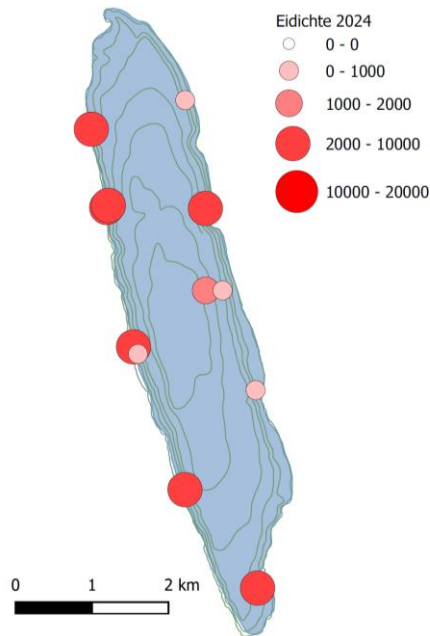


Abbildung 4-1. Anzahl pro Probenahmestelle gefundener Eier korrigiert für die beprobte Fläche.

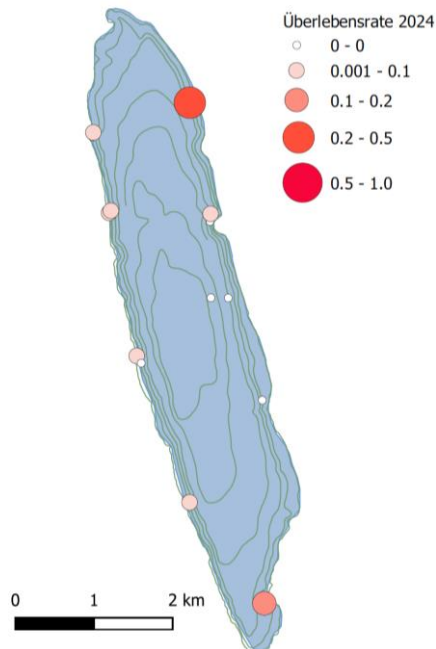


Abbildung 4-2. Anteil überlebender Eier in der Probenahme pro Stelle.

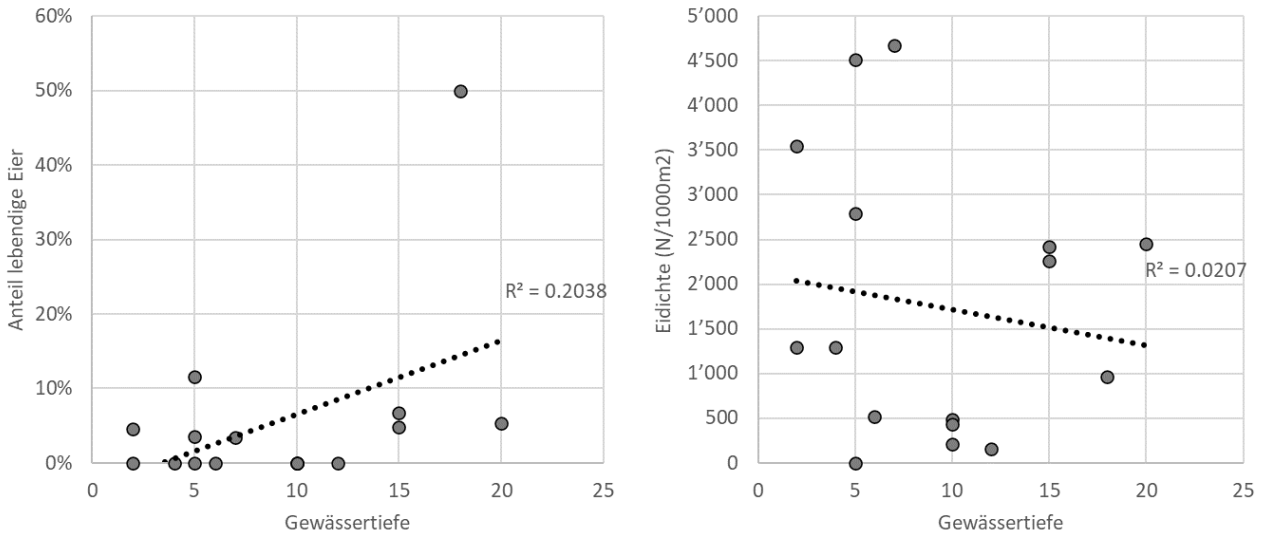


Abbildung 4-3. Links: Eidichte, die je nach Tiefe der Probenahmestelle beobachtet wurde. Rechts: Anteil lebendiger Eier, die je nach Tiefe der Probenahmestelle beobachtet wurden.

4.2 Veränderung von 1989 bis 2024

Die Ergebnisse aller in den Jahren 1989 bis 2024 durchgeführten Dredgezüge im Hallwilersee sind in der Abbildung 4-4 zusammengefasst. Sie zeigen, dass über alle Probenahmestellen gesehen, der Anteil überlebender Eier in den letzten Jahren bis 2010 deutlich zugenommen hat.

Nach 2010 hat der Trend aber gedreht und der Anteil überlebender Eier hat rapide abgenommen.

Im Vergleich mit anderen Seen ist der Erfolg der Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2024 als sehr gering einzustufen (Abbildung 4-5).

Jahr	Anzahl Eier Lebend	Anzahl Eier tot	Total	Lebende in %
1989	0	273	273	0.0%
1990	0	621	621	0.0%
1991	3	272	275	1.1%
1995	1	1201	1202	0.1%
1996	1	1101	1102	0.1%
1997	9	712	721	1.2%
1998	0	85	85	0.0%
1999	0	9	9	0.0%
2000	15	57	72	20.8%
2001	4	88	92	4.3%
2002	8	38	46	17.4%
2004	6	15	21	28.6%
2006	1	3	4	25.0%
2010	18	4	22	81.8%
2011	96	84	180	53.3%
2012	43	36	79	54.4%
2013	15	35	50	30.0%
2014	12	12	24	50.0%
2015	48	40	88	54.5%
2023	67	278	345	19.4%
2024	16	222	238	6.7%

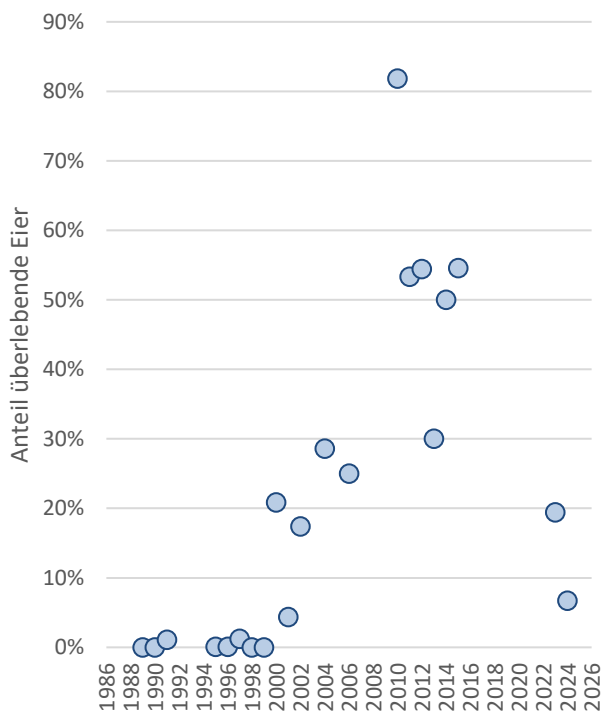


Abbildung 4-4. Anteil der im Hallwilersee überlebenden Felcheneier im Verlauf der letzten 35 Jahre.

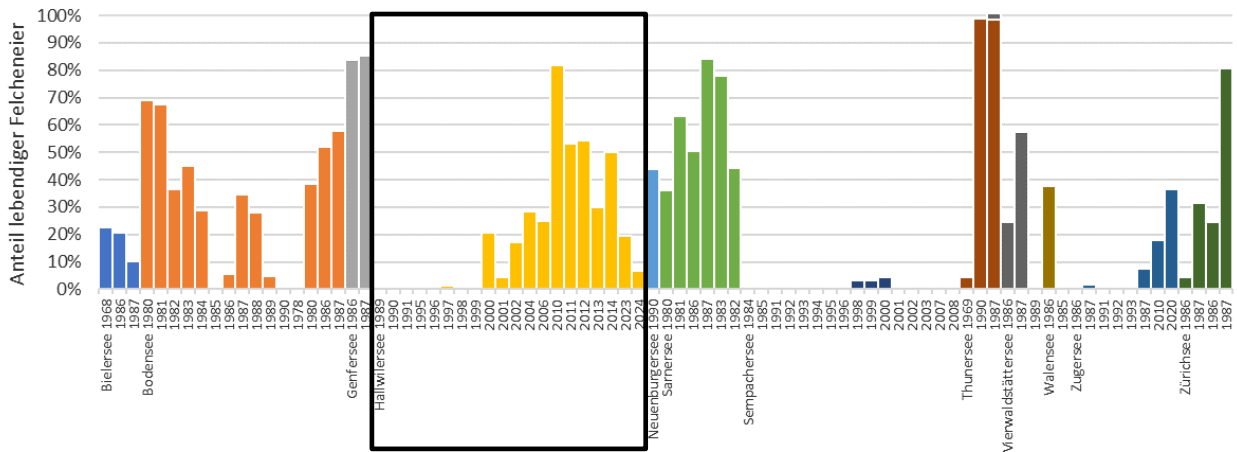


Abbildung 4-5. Anteil im Hallwilersee überlebender Eier im Vergleich mit anderen Felchenseen (Daten [13, 14]).

5 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Eiuntersuchungen im Frühjahr 2024 lassen aktuell nur eine sehr geringe natürliche Fortpflanzung der Felchen im Hallwilersee erwarten. Der Anteil überlebender Eier hat im Verlauf der letzten zehn Jahre wieder abgenommen, was eine bedenkliche Entwicklung darstellt. Ebenfalls fällt auf, dass kaum weit entwickelte Eier festgestellt wurden. Dies lässt vermuten, dass die Eier zwar im Anfangsstadium der Embryogenese überleben, anschliessend aber absterben.

Die Gründe für diese Abnahme der Überlebensrate und für das Absterben der Eier mit fortschreitender Entwicklung der Embryos sind nicht abschliessend bekannt. Bekannt ist, dass der Sauerstoffbedarf von Eiern mit fortschreitender Entwicklung des Embryos und mit höheren Wassertemperaturen und dem damit einhergehenden höheren Stoffwechsel zunimmt [15]. Im Herbst 2023 waren die Sauerstoffwerte im Seewasser lange nicht gut und der Winter 2023/24 war insgesamt sehr warm. Damit setzte die Winterzirkulation sehr spät ein. Dies könnte die Eientwicklung negativ beeinflusst haben.

Es ist anzunehmen, dass mit fortschreitendem Klimawandel der Sauerstoffmangel und höhere Temperaturen sich vermehrt auf die Eientwicklung auswirken werden. Dies, sofern die Sauerstoffwerte in der Tiefe

durch die Seesanieung nicht nachhaltig verbessert werden und die Sauerstoffzehrung damit insgesamt abnimmt.

Ob heute, bei Bedingungen wie sie 2023-24 im Hallwilersee vorherrschten, die Entwicklung von Felcheneiern bis zum Schlupf möglich ist, muss aufgrund der Aufnahmen von 2024 in Frage gestellt werden. Gegenüber den Daten aus den 2010er Jahren hat der Anteil entwickelter Eier merklich abgenommen. Daher ist davon auszugehen, dass der Beitrag dieser natürlicherweise aufgekommenen Brutlinge am Felchenbestand heute sehr gering sein dürfte. Dies belegen auch die Markierungen der besetzten Felchen von 2014, die zeigten, dass ca. 90 % der gefangenen Felchen von Besatzmassnahmen abstammen [16]. Aufnahmen aus einer Zeit, als sich die Felcheneier im See noch besser entwickeln konnten.

Das Sanierungsziel, dass sich Felchen im Hallwilersee wieder natürlich fortpflanzen können [5], ist damit noch nicht erreicht. Die Untersuchung der Entwicklung der im See natürlich abgelaideten Felcheneier stellt deshalb auch in den kommenden Jahren eine wichtige Beurteilungsgrundlage dar. Auch die Beurteilung des Erfolges der Besatzmassnahmen sollte diesbezüglich nicht ausser Acht gelassen werden [16]. Dies weil der Anteil sich normal entwickelnder

Eier zu einem gewissen Zeitpunkt im Winter insgesamt keine Information darüber liefert, wie viele Felchen effektiv natürlich rekrutiert werden. Dazu müsste man die Entwicklung der Eier bis zum Schlupf

beurteilen können. Zudem ist auch entscheidend, wie viele Eier insgesamt im See abgelegt und wie viele künstlich erbrütet werden.

6 Literaturverzeichnis

1. Stöckli, A. 2015. Hallwilersee - nachhaltige Gesundheit sicherstellen. *Umwelt Aargau* 69: 23–28.
2. Kanton Aargau, and Kanton Luzern. 2022. *Jahresbericht Zustand der Mittellandseen 2021 - Zuhanden der ASSAN und des Geschäftsberichts der Gemeindeverbände*. Kantone Aargau und Luzern.
3. Aquaplus. 2005. *Kieselalgen im tieferen Sedimentkern des Hallwilersees zur Präzisierung der biologischen Sanierungsziele*. Zug: Aquaplus.
4. Stöckli, A. 2010. Dem Hallwilersee geht es immer besser. *Umwelt Aargau Nr. 49*.
5. Schmid, M., and A. Stöckli. 2007. Die Überdüngung des Hallwilersees- eine Krankheitsgeschichte. *Umwelt Aargau, Sondernummer 24*.
6. Müller, R. 2007. Warum können sich die Felchen noch nicht natürlich vermehren? *Umwelt Aargau, Sondernummer 24*.
7. Müller, Rudolf. 2014. *Untersuchung über die Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2014*. Horw: LIMNOS Fischuntersuchungen.
8. Müller, R. 2015. *Untersuchung über die Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee 2015*. Im Auftrag Des Kantons Aargau, Departement Bau, Verkehr Und Umwelt, CH-5001 Aarau. Kastanienbaum: LIMNOS Fischuntersuchungen.
9. Vonlanthen, P. 2023. *Entwicklung der Felcheneier im Hallwilersee - Ergebnisse der Untersuchungen vom 27. Januar 2023*.
10. Luczynski, M, and A. Kirklewska. 1984. Dependence of *Coregonus albula* embryogenesis rate on the incubation temperature. *Aquaculture* 42: 43–55.
11. Ventling-Schwank, A.R. 1992. Reproduktion und larvale Entwicklungsphase der Felchen (*Coregonus* sp.) im eutrophen Sempachersee. |Inaugural - Dissertation zur Erlangung der Philosophischen Doktorwürde vorgelegt der Philosophischen Fakultät II, Zürich: University of Zurich.
12. Vonlanthen, P. 2020. *Entwicklung der Felcheneier im Zugersee - Ergebnisse der Untersuchung vom 2 März 2020*. Amt Für Wald Und Wild Des Kantons Zug. Cordast: Aquabios GmbH.
13. 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.
14. Müller, R. 1992. Trophic state and its implications for natural reproduction of salmonid fish. *Hydrobiologia* 243/244: 261–268.
15. Czerkies, P., P. Brzuzan, K. Kordalski, and M. Luczynski. 2001. Critical partial pressures of oxygen causing precocious hatching in *Coregonus lavaretus* and *C. albula* embryos. *Aquaculture* 196: 151–158.
16. Aquabios. 2018. *Otolithenmarkierung der Felchen vom Hallwilersee - Markierung 2014 und Erfolgskontrollen 2014 - 2018 - Schlussbericht*. Auftraggeber: Departement Bau, Verkehr Und Umwelt, Abteilung Wald, Sektion Jagd Und Fischerei, Kanton Aargau. Cordast: Aquabios GmbH.